

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
ELÉTRICA E INFORMÁTICA INDUSTRIAL

Ayslan Trevizan Possebom

**Um modelo argumentativo computacional para
tomada de decisão consensual baseado na
formação de conhecimento comum**

TESE

Curitiba, Paraná, Brasil

2018

Ayslan Trevizan Possebom

**Um modelo argumentativo computacional para tomada
de decisão consensual baseado na formação de
conhecimento comum**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Ciências - Área de Concentração: Informática Industrial.

Orientador: Dr. Cesar Augusto Tacla

Curitiba, Paraná, Brasil

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

P856m
2018

Possebom, Ayslan Trevizan
Um modelo argumentativo computacional para tomada de decisão consensual baseado na formação de conhecimento comum / Ayslan Trevizan Possebom.-- 2018.
164 p. : il. ; 30 cm

Disponível também via World Wide Web
Texto em português com resumo em inglês
Tese (Doutorado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Curitiba, 2018
Bibliografia: p. 131-140

1. Processo decisório. 2. Processo decisório em grupo. 3. Processo decisório - Modelos matemáticos. 4. Sistemas de suporte de decisão. 5. Árvores de decisão. 6. Otimização combinatória. 7. Teoria dos grafos. 8. Agentes inteligentes (Software). 9. Sistemas multiagentes. 10. Representação do conhecimento (Teoria da informação). 11. Inteligência computacional. 12. Semântica. 13. Engenharia elétrica - Teses. I. Tacla, Cesar Augusto. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial. III. Título.

CDD: Ed. 23 – 621.3

Biblioteca Central da UTFPR, Câmpus Curitiba
Bibliotecário: Adriano Lopes CRB-9/1429

TERMO DE APROVAÇÃO DE TESE Nº 172

A Tese de Doutorado intitulada “**Um modelo argumentativo computacional para tomada de decisões consensual baseado na formação de conhecimento comum**”, defendida em sessão pública pelo(a) candidato(a) **Ayslan Trevizan Possebom**, no dia 15 de junho de 2018, foi julgada para a obtenção do título de Doutor em Ciências, área de concentração Engenharia da Computação, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial.

BANCA EXAMINADORA:

Prof(a). Dr(a). Cesar Augusto Tacla - Presidente – (UTFPR)

Prof(a). Dr(a). Leonelo dell Anhol Almeida – (UTFPR)

Prof(a). Dr(a). Fabiano Silva – (UFPR)

Prof(a). Dr(a). André Pinz Borges – (UTFPR)

Prof(a). Dr(a). Bráulio Coelho Ávila - (PUC-PR)

A via original deste documento encontra-se arquivada na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação após a entrega da versão corrigida do trabalho.

Curitiba, 15 de junho de 2018.

*Dedico este trabalho a você, Francisco Greggio Possebom,
meu filho, que veio ao mundo logo no início deste projeto de pesquisa, e a você,
Elisangela Aparecida Greggio Possebom, minha esposa: vocês, por excelência, desde
sempre têm sido fonte de inspiração e motivação para que concluída fosse esta obra.*

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, por ter-me acompanhado em todas as viagens a Curitiba, por ter-me dado forças, muito além dos meus limites, para superar obstáculos, para mim intransponíveis, prosseguir nesta difícil jornada, além de paciência, determinação e sabedoria para a aquisição de preciosos conhecimentos, por ter sempre atendido a todas as solicitações nos momentos de angústia.

Agradeço aos familiares, que sofreram comigo em todas as etapas desta obra: pais, irmã, sogro, sogra, cunhado, cunhadas, sobrinhos, tios e avós. Em especial, agradeço aos meus pais Oílio Possebom e Marlene Trevizan Possebom, sem cujo incentivo não teria atingido os objetivos eleitos.

Agradeço à minha esposa, Elisangela Aparecida Greggio Possebom, pela paciência, pela compreensão nos longos momentos de ausência minha para a realização deste trabalho, pelo incentivo ao enfrentamento e solução de tantos problemas, pelo zelo dedicado ao lar e à dádiva de Deus, nosso filho, Francisco Greggio Possebom, que nos tem proporcionado uma das mais incríveis e saudáveis experiências aguardadas por qualquer casal: ser pai, ser mãe. Cada sorriso seu, filho nosso, faz com que a vida bem vivida valha a pena.

Agradeço ao meu orientador, Dr. Cesar Augusto Tacla, pelos ensinamentos, paciência, orientação e constante motivação. É exemplo de orientador e professor, em quem tenho me inspirado e me inspirarei para todo o sempre.

Agradeço aos colegas e amigos da UTFPR que cruzaram o meu caminho durante esta caminhada, em especial à Mariela Morveli-Espinoza, que sempre esteve comigo por ocasião do desenvolvimento de trabalhos, pesquisas e estudos em grupo. Grande parceira de estudos e trabalho em equipe.

Agradeço aos amigos e colegas de trabalho do Instituto Federal do Paraná (IFPR), campus Paranavaí, em especial aos docentes do eixo Informação e Comunicação/Informática, por me permitirem o afastamento das atividades profissionais a fim de que pudesse me dedicar exclusivamente aos estudos do curso de doutorado.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que, embora não citadas, de alguma forma, sempre e incansavelmente, estiveram dispostas a colaborar para a realização desta obra.

Resumo

Sistemas Multiagentes são formados por um conjunto de agentes inteligentes, cada qual com os próprios conhecimentos e objetivos a serem satisfeitos. Tais agentes, trocando mensagens entre si, aprendem uns com os outros. Sistemas de argumentação permitem aos agentes interagir em um contexto social enviando e recebendo argumentos que representam o ponto de vista de cada um e que correspondam a justificativas ou explicações sobre alguma informação ou opinião. Argumentos são formados por um conjunto de premissas que levam a uma determinada conclusão por meio de mecanismos de inferência. Os modelos baseados em argumentação permitem que os agentes troquem argumentos entre si e, de forma coletiva, tomem decisões em grupo. Esta tese aborda a questão social de tomada de decisão consensual por meio de diálogos que permitem aos agentes construir conhecimento comum. Quando determinado argumento é apresentado ao grupo, calcula-se o nível de consenso sobre as fórmulas deste argumento, bem como a força intrínseca que representa o quanto este argumento em essência é conhecido e aceito pelo grupo de agentes. Em trabalhos correlatos ao tema, observa-se a inexistência de análise mais profunda quanto ao consenso sobre os argumentos, especialmente no que tange ao consentimento e à tomada de decisão consensual. Tais trabalhos tampouco apresentam meios para avaliação da aceitabilidade de argumentos consensualmente defendidos. A proposta da tese é baseada principalmente na identificação do nível de consenso do grupo de agentes a respeito das informações presentes em determinado argumento (premissa e conclusão) que pode produzir conhecimento comum. A força global dos argumentos indica o quanto tal argumento influencia na tomada de decisão. O objetivo da tese consiste em determinar, por meio do diálogo entre os agentes, os argumentos que melhor justificam determinada alternativa de decisão e a ordenação parcial das alternativas de acordo com a preferência do grupo. Com este objetivo, foi proposto um modelo para tomada de decisão consensual baseada em argumentação que considera: o conjunto de agentes com seus respectivos valores de *expertise*; o conjunto de possíveis alternativas de decisão; o conjunto de tabelas de diálogos e, por meio de um processo que mapeia as tabelas de diálogos para grafos de argumentação, a identificação da força global dos argumentos e a aplicação de semânticas de argumentação para que seja obtida a alternativa de decisão preferida pelo grupo. Dois casos de estudo demonstram a aproximação do conhecimento do grupo de agentes e o consenso do grupo sobre os argumentos que defendem cada alternativa de decisão. Apresenta-se ainda uma análise comparativa da proposta com trabalhos afins comparando-se ao uso de argumentação abstrata e estruturada, argumentos ponderados, mecanismos de diálogo, avaliação das alternativas de decisão e resultado de semânticas.

Palavras-chave: Consenso. Tomada de decisão em grupo. Argumentação. Diálogo. Agentes. Sistemas multi-agentes.

Abstract

Multiagent System consists of a set of intelligent agents, each one with its own knowledge and goals to be satisfied. Those agents interact with each other exchanging messages and reasoning from the information in the interactions. Argumentation systems allow the agents to interact in a social context by sending and receiving arguments. These arguments represent a particular agent's point of view, corresponding to a justification or explanation about any information or opinion. Arguments are built with a set of premises that lead to a given conclusion through a mechanism of logical inference. Argumentation-based models allow agents to exchange arguments among themselves and make collaborative group decisions. This thesis addresses the issue of social decision-making by means of dialogues allowing agents for building common-knowledge. When an argument is sent to the group, the level of consensus on its formulas is identified, as well as its intrinsic strength that represents the extent in which the argument as a whole is known and accepted by the group of agents. In related works, it is observed that there is a lack of deeper analysis of the consensus on the arguments, especially in the case of consent and consensual decision-making. Those works do not either show how to evaluate the acceptability of arguments that are consensually supported. The proposal of this thesis is based mainly on the calculation of the consensus level of the group of agents regarding the information present in an argument (premise and conclusion). The overall strength of the arguments indicates the extent an argument influences the decision making process. The objective of this thesis is to determine, by means of dialogues among the agents, which arguments best justify a given decision alternative and the partial ordering of these alternatives according to the preference of the group. With this objective, it was proposed a model for consensual decision-making based on argumentation that considers: a set of agents with their respective expertise values; a set of possible decision alternatives; a set of dialogue tables and, through a process that maps the dialogue tables to argumentation graphs, the identification of the overall strength of the arguments and the application of argumentation semantics so that the group's preferred decision alternative is obtained. Two case studies demonstrate the approximation of the knowledge of the agents and the consensus of the group on the arguments that defend each decision alternative. It also presents a comparative analysis with related works comparing the use of abstract and structured argumentation, weighted arguments, mechanisms of dialogue, evaluation of decision alternatives and semantic results.

Keywords: Consensus. Group decision-making. Argumentation. Dialogue. Agents. Multi-agent system.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Framework Abstrato de Argumentação (BESNARD; HUNTER, 2008).	31
Figura 2 – Abordagem baseada em rotulagem (<i>labelling-based</i>).	33
Figura 3 – Tipos de relações de ataque: <i>undercut</i> e <i>rebuttal</i> .	34
Figura 4 – Conhecimento individual e coletivo em um grupo de agentes.	36
Figura 5 – Exemplo de Estrutura Kripke com sistema S5.	38
Figura 6 – Ações envolvidas no Diálogo e Formação do Conhecimento Comum.	56
Figura 7 – Grafo de argumentos mapeado a partir da tabela de diálogo dt_x apresentada na Tabela 6. Vértice com linha tracejada representa o argumento inicial do diálogo. Arestas pontilhadas representam relações de ataque adicionais identificadas no mapeamento.	68
Figura 8 – Exemplo de framework abstrato de argumentação. Cada argumento possui uma força intrínseca relacionada. O vértice com linha tracejada representa o argumento inicial do diálogo.	69
Figura 9 – Grafo de argumentos para as alternativas de decisão $\mathcal{D} = \{d_1, d_2, d_3\}$, com AF_1 representado em (a), AF_2 representado em (b), e AF_3 representado em (c). Vértices com linhas tracejadas representam os argumentos iniciais para cada diálogo.	71
Figura 10 – Framework abstrato de argumentação AF_{jack} mapeado a partir de dt_{jack} . Vértice com linha tracejada representa a alternativa de decisão <i>jack</i> .	82
Figura 11 – Framework abstrato de argumentação AF_{king} mapeado a partir de dt_{king} . Vértice com linha tracejada representa a alternativa de decisão <i>king</i> .	82
Figura 12 – Framework abstrato de argumentação AF_{ace} mapeado a partir de dt_{ace} . Vértice com linha tracejada representa a alternativa de decisão <i>ace</i> .	83
Figura 13 – Grafo de argumentos mapeado a partir da tabela de diálogo dt_x (Tabela 13). Vértice com linha tracejada representa o argumento inicial.	88
Figura 14 – Grafo de argumentos mapeado a partir da tabela de diálogo dt_y (Tabela 14). Vértice com linha tracejada representa o argumento inicial.	88
Figura 15 – Caso de estudo: Game Design. Relações de acessibilidade entre os mundos possíveis para cada agente antes do início do diálogo.	100
Figura 16 – Caso de estudo: Game Design. Relações de acessibilidade entre os mundos possíveis para cada agente após o fim dos diálogos e formação do conhecimento comum.	101
Figura 17 – Caso de estudo: Robô. Relações de acessibilidade entre os mundos possíveis para cada agente antes do início do diálogo.	102

Figura 18 – Caso de estudo: Robô. Relações de acessibilidade entre os mundos possíveis para cada agente após o fim dos diálogos e formação do conhecimento comum.	102
Figura 19 – Isomorfismo entre dois grafos de argumentos. Vértice com linha tracejada representa o argumento inicial do diálogo.	105
Figura 20 – Framework abstrato de argumentos cíclico. Vértice com linha tracejada representa o argumento inicial do diálogo.	106
Figura 21 – Monotonicidade entre argumentos. (a) arg_i recebendo apenas um ataque. (b) arg_i recebendo dois ataques.	107
Figura 22 – Reforço entre argumentos. (a) arg_0 : argumento inicial é apresentado ao grupo. (b) arg_1 : argumento contra a alternativa de decisão. (c) arg_2 : ataque a arg_1 e apoio arg_0 . (d) arg_3 : ataque a arg_2 e arg_0 e apoio a arg_1	109
Figura 23 – Grafos de argumentos para o Cenário 1. (a) Argumentos sobre a . (b) Argumentos sobre b	113
Figura 24 – Grafos de argumentos para o Cenário 2. (a) Argumentos sobre a . (b) Argumentos sobre b	114
Figura 25 – Grafos de argumentos para o Cenário 3. (a) Argumentos sobre a . (b) Argumentos sobre b	115
Figura 26 – Grafos de argumentos para o Cenário 4. (a) Argumentos sobre $\neg a$. (b) Argumentos sobre $\neg b$	116
Figura 27 – Grafo de conexão entre fórmulas (EFSTATHIOU; HUNTER, 2008).	159
Figura 28 – Grafo de ataque entre fórmulas (EFSTATHIOU; HUNTER, 2008). Elipses pontilhadas representam as arestas removidas do grafo de conexão.	160
Figura 29 – Grafo fechado a partir do grafo de ataques (EFSTATHIOU; HUNTER, 2008).	160
Figura 30 – Grafo focal para epicentro $\neg l$ em um componente do grafo fechado (EFSTATHIOU; HUNTER, 2008).	161
Figura 31 – Grafo de consulta para a cláusula $\neg m$ (a) e $\neg c$ (b) (EFSTATHIOU; HUNTER, 2008).	161
Figura 32 – Árvores de pré-suporte para a conclusão do argumento $\neg c$ (EFSTATHIOU; HUNTER, 2008).	162
Figura 33 – Árvore de pré-suporte consistente (a) e não consistente (b) (EFSTATHIOU; HUNTER, 2008).	163
Figura 34 – Árvore consistente mínima (EFSTATHIOU; HUNTER, 2008)	164

Lista de tabelas

Tabela 1 – Custo computacional da argumentação abstrata	35
Tabela 2 – Custo computacional da argumentação estruturada	35
Tabela 3 – Tipos de diálogos aplicados à argumentação (WALTON; KRABBE, 1995)	39
Tabela 4 – Performativas utilizadas em diálogos argumentativos	39
Tabela 5 – Paradoxo doutrinal: julgamentos individuais e voto majoritário.	42
Tabela 6 – Exemplo de tabela de diálogo dt_x sobre a alternativa de decisão x	67
Tabela 7 – Cálculo da força global dos argumentos (Figura 8).	69
Tabela 8 – Iterações para a rotulagem dos argumentos conforme grafo de argumen- tos da Figura 9(b).	74
Tabela 9 – Bases de conhecimentos dos agentes após os diálogos.	80
Tabela 10 – Tabela de diálogo dt_{jack} representando o diálogo do grupo de agentes sobre a alternativa de decisão $jack$	81
Tabela 11 – Tabela de diálogo dt_{king} representando o diálogo do grupo de agentes sobre a alternativa de decisão $king$	81
Tabela 12 – Tabela de diálogo dt_{ace} representando o diálogo do grupo de agentes sobre a alternativa de decisão ace	82
Tabela 13 – Tabela de diálogo dt_x : argumentos, relações de apoio e rejeição e forças intrínsecas para a alternativa de decisão $x =$ recarregar a bateria.	87
Tabela 14 – Tabela de diálogo dt_y : argumentos, relações de apoio e rejeição e forças intrínsecas para a alternativa de decisão $y =$ resgatar o indivíduo.	87
Tabela 15 – Axiomas para semânticas de aceitabilidade de argumentos em grafo de ataques, grafo de suporte e \mathcal{FCC}	112
Tabela 16 – Tabela de diálogo dt_a do Cenário 1.	113
Tabela 17 – Tabela de diálogo dt_b do Cenário 1.	113
Tabela 18 – Tabela de diálogo dt_a do Cenário 2.	114
Tabela 19 – Tabela de diálogo dt_b do Cenário 2.	114
Tabela 20 – Tabela de diálogo dt_a do Cenário 3.	115
Tabela 21 – Tabela de diálogo dt_b do Cenário 3.	115
Tabela 22 – Tabela de diálogo dt_{-a} do Cenário 4.	116
Tabela 23 – Tabela de diálogo dt_{-b} do Cenário 4.	116
Tabela 24 – Recursos utilizados na tomada de decisão por consenso e suas aplicações nos trabalhos relacionados	123

Lista de símbolos

\mathcal{L}	Função total de rotulamento de argumentos
\mathcal{LP}	Linguagem lógica proposicional
\models	Operador lógico de indução
\vdash	Operador lógico de inferência clássica
\equiv	Operador lógico de equivalência
\perp	Operador lógico de contradição
\wedge	Operador lógico de conjunção
\vee	Operador lógico de disjunção
\rightarrow	Operador lógico de implicação
\leftrightarrow	Operador lógico bicondicional
\neg	Conectivo lógico de negação
Φ	Premissa do argumento
α	Conclusão do argumento
Σ	Base de conhecimentos
η, μ	Fórmulas de um argumento
π	Função que atribui um valor-verdade para uma fórmula em um mundo possível
Θ	Relação de equivalência entre mundos possíveis
\succ	Relação de preferência
\doteq	Relação de preferência igualitária
\mathcal{FCC}	Framework para Formação do Conhecimento Comum
\mathcal{AG}	Conjunto de agentes argumentativos
\mathcal{EX}	Conjunto de valores de expertise
\mathcal{D}	Conjunto de alternativas de decisão

med	Agente mediador
t	Tempo de espera
σ	Valor limiar
Ω	Semântica Pro e Con
Ψ	Semântica Position
Δ	Relação de Ordem entre as alternativas de decisão
\mathcal{AF}	Conjunto de Frameworks Abstratos de Argumentação
$\mathcal{A}(\Sigma)$	Conjunto de todos os argumentos que podem ser formados a partir de Σ
ϕ	$\phi \in \Phi$ cada fórmula na premissa de um argumento
\subseteq	relação de inclusão entre conjuntos (definição de subconjuntos)

Sumário

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	Motivação	21
1.2	Problema e Objetivos	23
1.3	Principais Contribuições	25
1.4	Escopo e Delimitações	26
1.5	Estrutura do trabalho	27
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	29
2.1	Argumentação	29
2.2	Representação do Conhecimento	35
2.3	Diálogos argumentativos	38
2.4	Decisões em Grupo	40
2.5	Conclusão	44
3	FORMAÇÃO DO CONHECIMENTO COMUM	45
3.1	Framework para formação do conhecimento comum	45
3.2	Estrutura dos agentes argumentativos	47
3.3	Estrutura do agente mediador	50
3.4	Cálculo do nível de consenso	53
3.5	Força intrínseca dos argumentos	54
3.6	Modelo de diálogos	55
3.7	Conclusão	63
4	MODELO PARA TOMADA DE DECISÃO CONSENSUAL	65
4.1	Grafo de argumentos	65
4.2	Força global dos argumentos	68
4.3	Estratégias para tomada de decisão	70
4.3.1	Semântica Pro e Con	70
4.3.2	Semântica Position	72
4.4	Conclusão	75
5	APLICAÇÃO DO MODELO	77
5.1	Caso 1: game design	77
5.2	Caso 2: robôs em situação de desastre	85
5.3	Conclusão	89
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	91

6.1	Conhecimento e Decisão por Consenso	91
6.1.1	Representação do Conhecimento	91
6.1.2	Força consensual e tomada de decisão por consenso	96
6.2	Caso 1: game design	98
6.3	Caso 2: robôs em situação de resgate	101
6.4	Comparação com o sistema S5	103
6.5	Características das semânticas	104
6.6	Situações de acordo e desacordo total no grupo	111
6.7	Limitações do modelo	116
6.8	Conclusão	118
7	TRABALHOS RELACIONADOS	119
7.1	Conclusão	124
8	CONCLUSÃO	125
8.1	Trabalhos Futuros	127
8.2	Trabalhos publicados	128
	REFERÊNCIAS	131
	APÊNDICES	141
	APÊNDICE A – MAPEAMENTO DE TABELA DE DIÁLOGO PARA GRAFO DE ARGUMENTOS	143
	APÊNDICE B – DIÁLOGOS: GAME DESIGN	145
	ANEXOS	155
	ANEXO A – GERAÇÃO DE ARGUMENTOS	157
A.1	Lógica Proposicional	157
A.2	Argumentos lógicos	158

1 Introdução

No campo da Inteligência Artificial, os agentes inteligentes são projetados para atingirem os objetivos propostos, desempenhando suas atividades de forma autônoma. Frequentemente o grupo de agentes deve tomar decisões em conjunto (de forma cooperativa), sem pretensões particulares. A decisão cooperativa ocorre, de modo especial, quando a escolha do grupo afeta os objetivos individuais e os compromissos a serem assumidos pelos agentes na realização de tarefas complexas (TONIOLO, 2013). Os agentes devem interagir para chegar a determinada conclusão, apresentando opiniões ou preferências sobre as alternativas de decisão, por meio de um conjunto de avaliações (CABRERIZO et al., 2015). A dificuldade encontrada na tomada de decisão em grupo ocorre devido ao fato de que cada agente possui seus próprios conhecimentos e motivações (HERRERA-VIEDMA et al., 2005).

Diversas abordagens na Inteligência Artificial para a tomada de decisão em grupo foram propostas utilizando critérios estatísticos, sócio-econômicos e computacionais (XIA, 2017). Os sistemas de argumentação têm sido utilizados na tomada de decisões em grupo, especialmente nos Sistemas Multiagentes. A teoria da argumentação fornece mecanismos para lidar com conflitos de interesse e conhecimentos inconsistentes, de forma que o grupo de agentes possa atingir acordos usando diálogos argumentativos sobre o problema de decisão (BARBERÁ, 2011).

Nesta tese, aborda-se a questão do modo como desenvolver mecanismos pelos quais agentes inteligentes possam atingir nível de acordo aceitável ao tomarem decisões consensuais, considerando todas as opiniões ou pontos de vista expostos por meio de diálogos argumentativos. Investiga-se como a teoria da argumentação pode ser aplicada em diálogos argumentativos para a formação de conhecimentos comuns entre os agentes. Adicionalmente, analisa-se as semânticas de argumentação cujos objetivos são a obtenção de soluções, de forma tal que as justificativas pela escolha da alternativa eleita sejam apoiadas pela maioria dos participantes. Neste capítulo, apresentam-se as motivações, objetivos, contribuições, delimitações e estrutura da tese.

1.1 Motivação

A palavra consenso refere-se ao princípio de tomada de decisão pelo qual um grupo de agentes chega a determinado acordo coletivo. Essa espécie de tomada de decisão requer unanimidade do grupo: todos os membros devem concordar com a alternativa de decisão escolhida, bem como com as justificativas para tal escolha. No entanto, a decisão por consenso não é uma tarefa trivial, uma vez que os agentes devem apresentar algum

objetivo comum, não devem competir pela prevalência dos próprios pontos de vista, devem participar ativamente da discussão enviando argumentos e contra-argumentos, além de disporem de tempo suficiente para as discussões (TUCKER, 2003).

Os métodos provenientes da Teoria de Jogos para a tomada de decisão em grupo, como sistemas de votação e eleições (NURMI, 1999) e variações, como Borda, Cordocet e Agregação de Julgamentos (GROSSI; PIGOZZI, 2014), não levam em consideração os diálogos entre os agentes: cada agente apresenta voto favorável ou contrário a determinada alternativa de decisão, ou fornece a ordem de preferência sobre algum conjunto de alternativas. O resultado é determinado pelo maior número de votos favoráveis à alternativa preferida. Tais métodos tampouco consideram o processo completo para a consecução do consenso do grupo, que também inclui a possibilidade dos participantes mudarem de opinião antes da votação, ou então de conhecerem as razões determinantes para os votos favoráveis ou contrários, conhecimento que permite o entendimento basilar sobre os motivos que levaram à escolha conclusiva do grupo. Assim, um protocolo de diálogos que permita que todos os participantes expressem opiniões e compartilhem conhecimentos se torna fase importante para que se atinja consenso.

Os diálogos permitem que os agentes troquem opiniões sobre as alternativas de decisão. Sistemas de argumentação permitem aos agentes exporem argumentos ao grupo, bem como estabelecem relações de ataque e defesa entre argumentos. Com base nas relações de ataque/defesa entre argumentos, os sistemas de argumentação são capazes de determinar o conjunto de argumentos aceitos que justifiquem alguma alternativa de decisão (BESNARD et al., 2014; CARSTENS et al., 2015).

Diversos trabalhos sobre tomada de decisão usando sistemas de argumentação foram propostos com diferentes aplicações, tais como: geração de argumentos pró ou contra determinada alternativa de decisão (AMGOUD; BELABBES; PRADE, 2006); tomada de decisão e explicação sobre a decisão com o uso de argumentos epistêmicos e práticos (AMGOUD; PRADE, 2009); estabelecimento de correlação entre atributos de decisão, alternativas de decisão e objetivos dos agentes (ZHONG et al., 2014); votação pró ou contra cada argumento fornecido sobre uma discussão (LEITE; MARTINS, 2011; CARSTENS et al., 2015); agregação de argumentos em configurações coletivas (BODANZA; TOHMÉ; AUDAY, 2017), entre outros. O que tais trabalhos têm em comum é que um só agente, baseado em algum princípio de decisão, escolhe o melhor argumento a ser enviado ao grupo em um diálogo, ou então calcula a ordem de preferência sobre os argumentos. Os trabalhos não lidam com o processo completo para a tomada de decisão consensual em grupos de agentes. Na decisão por consenso, o grupo deve dialogar sobre cada alternativa de decisão disponível e atingir um ponto que todos (ou a maioria) concordem com a alternativa preferida e com as justificativas para sua escolha.

Os agentes atingem consenso por meio da integração das próprias preferências com

as preferências da maioria dos membros do grupo (SUZUKI et al., 2015; HUANG; YANG; HSIEH, 2018), de modo a criar uma concepção comum do coletivo (SAVIO, 2015). Quando a decisão é consensual, apesar das preferências individuais, o grupo tende a ficar unido, e, conseqüentemente, cada agente pode auxiliar os demais para a satisfação da maioria dos objetivos. Portanto, a tomada de decisão por consenso apresenta algumas vantagens em relação aos demais métodos grupais: aproximação das opiniões dos agentes; garantia aos envolvidos do direito de exposição das opiniões; proclamação de resultado final que indique as preferências do grupo juntamente com as explicações que as motivaram, desde que os agentes incorporem as informações apoiadas pela maioria (CONRADT; ROPER, 2009).

Consenso nem sempre está diretamente ligado à qualidade, eficácia ou otimização da decisão. Entretanto, como o resultado envolve a participação do grupo de agentes que trabalharão em conjunto para a execução das ações, o consenso se torna condição necessária à bem-sucedida implementação (BERGMAN et al., 2012).

1.2 Problema e Objetivos

Cada argumento fornecido por um agente contém um conjunto de informações logicamente relacionadas que levam à conclusão do argumento. Considere, por exemplo, uma situação em que agentes discutem¹ sobre a escolha de uma linguagem de programação fictícia chamada *Jack* para a implementação de jogos eletrônicos. Determinado agente pode emitir o seguinte argumento favorável a *Jack*:

Temos muitas bibliotecas já codificadas em Jack, o que pode simplificar nosso trabalho.

O grupo de agentes pode concordar totalmente com o argumento, mas pode também concordar parcialmente com ele (ou rejeitar). Considere que o argumento possua duas informações: (i) temos muitas bibliotecas, e (ii) bibliotecas podem simplificar o trabalho. A maioria dos agentes pode concordar apenas com (i) e rejeitar (ii), apoiar (i) e (ii) ou rejeitar (i) e (ii). Os apoios e rejeições a cada uma das informações indicam o quanto o argumento é aceito pelo grupo.

Para que o grupo atinja um consenso, é importante analisar a estrutura dos argumentos e calcular o quanto cada informação é conhecida ou apoiada pelos agentes. A informação aceita pela maioria dos agentes deve ser também aceita pelos demais agentes, que não a ignoram ou a recusam. Portanto, informações apoiadas pela maioria dos agentes se tornam consensualmente aceitas pelo grupo (quando relacionadas ao assunto sendo discutido)². Argumentos que contenham informações de conhecimento comum dos agentes

¹ diálogo inspirado em Morveli-Espinoza et al. (2015).

² Em uma rede de sensores, uma informação nova só poderia ser aceita se a maioria dos agentes a recebessem antes de qualquer tomada de decisão

tendem a ser mais fortes que outros argumentos, de modo que sofrem menos ataques e apresentem melhor justificativa para a defesa de outros argumentos. De acordo com [Fagin et al. \(2004\)](#), conhecimento comum é “o estado de conhecimento onde todos sabem, todos sabem que todos sabem, todos sabem que todos sabem que todos sabem, etc.”. Existe importante relação entre conhecimento comum e consenso ([KUHN; OSHMAN; MOSES, 2011](#); [MCKELVEY; PAGE, 1986](#); [MÉNAGER, 2008](#)). O conhecimento comum é requisito para a tomada de decisão consensual porque o consenso é atingido quando as opiniões dos agentes são aceitas pelo grupo ([SQUAZZONI, 2012](#); [VOORNEVELD; TSAKAS, 2007](#)). Por outro lado, o consenso sobre determinada informação pode existir apenas no contexto da alternativa de decisão em discussão, sem que perdure em outros contextos.

Com relação aos principais mecanismos para a tomada de decisão consensual aplicados a Sistemas Multiagentes com a utilização de diálogos argumentativos, pode-se formular a pergunta de pesquisa desta tese:

1. Que critérios podem ser utilizados para identificar se há consenso do grupo sobre as informações do argumento e sobre o argumento de forma geral?

Adicionalmente, questiona-se:

2. Como o consenso sobre cada informação de um argumento pode influenciar na força do argumento e também na tomada de decisão?

O problema de pesquisa está no modo como tomar decisões consensuais que não sejam apenas baseadas em simples votação ou medidas de preferência sobre as alternativas de decisão. Desta forma, quer-se que os agentes sejam capazes de justificar as escolhas a partir do conhecimento que possuem e que às vezes trocam durante um diálogo para tomada de decisão consensual. Por meio desse diálogo, os agentes podem aproximar opiniões de modo a atingir consenso sobre o assunto em apreço.

Neste trabalho, propõe-se um modelo para a tomada de decisão consensual baseada em conhecimento comum construído por um grupo de agentes por meio de diálogos argumentativos. Iniciando um diálogo ao postar uma alternativa de decisão para ser debatida pelo grupo, os agentes podem interagir enviando argumentos favoráveis ou contrários à alternativa de decisão, bem como apoiando e rejeitando cada informação presente nos argumentos. As informações dos argumentos apoiadas pela maioria dos agentes se tornam, então, conhecimento comum.

Os objetivos desta tese são:

1. Elaborar um modelo de diálogos que permita aos agentes trocar argumentos favoráveis ou contrários a determinada alternativa de decisão e, também, que lhes permita

formar conhecimento comum a partir do que cada um conhece sobre as informações contidas nos argumentos;

2. Analisar o conjunto de argumentos emitidos nos diálogos sobre cada alternativa de decisão, de modo a calcular a força dos argumentos e fornecer como resultado a relação de preferência do grupo sobre o conjunto de alternativas disponíveis.

1.3 Principais Contribuições

Esta tese contribui com a proposição de um modelo para tomada de decisão consensual aplicado a grupos de agentes. Por meio de diálogos sobre alternativas de decisão e troca de argumentos, os agentes são capazes de identificar o nível de consenso do grupo sobre cada informação presente nos argumentos quando relacionados a uma alternativa de decisão. Também é possível identificar a força dos argumentos e aplicação de semânticas a fim de que se determine a ordem de preferência do grupo sobre as alternativas disponíveis.

De forma geral, as contribuições apresentadas nesta tese são as seguintes:

- *Diálogos argumentativos (Capítulo 3)*: propõe-se um modelo de diálogo deliberativo em que a troca de mensagens entre o grupo de agentes seja realizada por meio de argumentos logicamente estruturados. A partir da exposição de uma alternativa de decisão ao grupo, o processo de argumentação é iniciado com a utilização de relações de ataques (contra-argumentos) e avaliações de apoio ou rejeição às informações do argumento;
- *Formação do conhecimento comum (Capítulo 3)*: avaliam-se as informações de apoio e rejeição recebidos em cada informação presente em cada argumento. Com base em um certo valor limiar, determina-se quando uma informação deve ser considerada conhecimento comum no grupo de agentes. A informação considerada conhecimento comum torna-se consenso no grupo de agentes e pode ser utilizada para criar novos argumentos. No modelo de diálogos proposto, juntamente com a formação do conhecimento comum, é possível identificar quais informações são aceitas pelo grupo. Adicionalmente, pode-se calcular a força intrínseca dos argumentos usando o nível de consenso do grupo sobre cada fórmula de um argumento;
- *Semânticas para grafo de argumentação ponderados por consenso (Capítulo 4)*: mapeia-se os diálogos para grafos de argumentação ponderados. Cada nó deste grafo representa um argumento e cada aresta representa uma relação de ataque. Aplica-se semânticas de argumentação para determinar o nível de preferência do grupo sobre as alternativas de decisão disponíveis. O nível de preferência é obtido pela análise dos argumentos mais aceitos pelo grupo;

- *Avaliação dos resultados (Capítulo 6)*: é empírica a avaliação do modelo de diálogos argumentativos, das semânticas propostas e da discussão dos resultados. Apresenta-se um conjunto de propriedades que demonstram a aproximação de opiniões dos agentes e a obtenção do consenso do grupo.

A formação do conhecimento comum pode ser útil em diversos domínios de aplicações em que os Sistemas Multiagentes são usados, tais como chatbot, redes de sensores, classificação da importância de páginas web, identificação de ações que possam ser executadas simultaneamente pelos agentes, ou quaisquer domínios em que haja necessidade de formação de opinião do grupo.

1.4 Escopo e Delimitações

Este trabalho estuda e define um modelo de diálogos aplicado a sistemas multiagentes onde as mensagens trocadas entre os agentes são constituídas por argumentos criados a partir de uma base de conhecimentos contendo crenças representadas por fórmulas em linguagem lógica proposicional na forma normal conjuntiva. Por meio da argumentação e das relações de apoio e rejeição nas crenças de um argumento, identifica-se o nível de consenso do grupo sobre cada crença e, com base em um valor limiar, determina-se qual das crenças é apoiada pela maioria dos agentes, tornando-as conhecimento comum.

Durante o diálogo, somente é permitido a um agente emitir argumentos por vez (em cada *round* de fala). Caso um determinado agente possua um ou mais argumentos a serem emitidos ao grupo, este agente deve aguardar pela sua vez de falar e, quando habilitado, envia todos os seus argumentos para serem discutidos pelo grupo. Existe um diálogo para cada alternativa de decisão. Em cada diálogo, não é permitido a emissão de argumentos repetidos (argumentos que já foram apresentados anteriormente no diálogo atual) e argumentos que possuam crenças em sua premissa que foram rejeitadas pelo grupo no diálogo atual. Os argumentos também não podem citar alternativas de decisão que não àquela em discussão.

Não ocorre a inclusão de novas crenças na base de conhecimentos de um agente considerando as bases de conhecimento do grupo de agentes. Um agente pode modificar sua base de conhecimentos durante a formação do conhecimento comum (i) rotulando suas crenças para indicar a aceitação ou rejeição do grupo sobre elas, ou (ii) incluindo novas crenças que foram apoiadas pela maioria dos agentes durante um diálogo. Desta forma, as crenças iniciais dos agentes permanecem as mesmas durante todos os diálogos, apenas possibilitando aos agentes adquirirem novas crenças aceitas como conhecimento comum.

Ao final do diálogo, cada alternativa de decisão recebe um valor indicando seu nível de preferência do grupo. Quando este valor é negativo, tem-se que, por meio da avaliação

do conjunto de argumentos emitidos no diálogo correspondente, a maioria dos agentes rejeita sua escolha.

1.5 Estrutura do trabalho

Este capítulo introduz a proposta da tese, delineando a motivação, problema de pesquisa, objetivos, contribuições e delimitações. O restante do documento está estruturado da seguinte maneira.

Capítulo 2. Fundamentação Teórica: apresenta introdução sobre os conceitos teóricos utilizados no restante do trabalho, envolvendo as teorias da argumentação abstrata e argumentação estruturada usadas na Inteligência Artificial. O capítulo introduz também a estrutura de Kripke a fim de representar os mundos possíveis (estados do conhecimento) que são aceitos pelos agentes na tomada de decisão. Adicionalmente, os tipos de diálogos aplicados na argumentação e as características necessárias à decisão por consenso são apresentados.

Capítulo 3. Formação do Conhecimento Comum: este capítulo especifica o modelo de diálogos proposto para a identificação do nível de consenso e a formação do conhecimento comum no grupo de agentes. Apresenta também o modo como é realizado o cálculo da força consensual dos argumentos.

Capítulo 4. Modelo para tomada de decisão consensual: apresenta o mapeamento dos diálogos sobre cada alternativa de decisão para os respectivos grafos de argumentos. A partir dos grafos, pode-se calcular a força dos argumentos, aplicar semânticas de argumentação para determinar o conjunto de argumentos aceitos em cada diálogo, e também podemos obter o resultado do problema de decisão, que consiste na ordem de preferência do grupo sobre o conjunto de alternativas de decisão disponíveis.

Capítulo 5. Aplicação do modelo: apresenta um exemplo prático do modelo. Dois cenários são utilizados: tomada de decisão por consenso sobre qual linguagem de programação deveria ser utilizada no desenvolvimento de um jogo, e tomada de decisão por consenso sobre qual ação um robô deveria executar em uma situação de desastre.

Capítulo 6. Resultados e Discussões: este capítulo trata das características e limitações deste trabalho, apresentando um conjunto de propriedades e discutindo o modelo de diálogos argumentativos e a formação do conhecimento comum para a tomada de decisões consensuais.

Capítulo 7. Trabalhos relacionados: este capítulo apresenta o resumo dos principais trabalhos relacionados e a comparação deles com o modelo proposto nesta tese.

Capítulo 8. Conclusão: apresenta as principais contribuições da tese e propõe trabalhos futuros mais relevantes para aprimoramento do modelo proposto.

2 Fundamentação Teórica

No presente capítulo são introduzidos os conceitos fundamentais, envolvidos no desenvolvimento da tese, relacionados aos sistemas de argumentação e representação do conhecimento em Sistemas Multiagentes. Inicialmente, desenvolve-se uma compreensão geral sobre a argumentação abstrata e a argumentação estruturada. A argumentação estruturada é utilizada no diálogo entre os agentes e na formação do conhecimento comum, enquanto a argumentação abstrata é utilizada na avaliação dos argumentos e na tomada de decisões consensual. Em seguida, são apresentados os conceitos acerca dos “mundos possíveis” e da estrutura de Kripke utilizados para a representação do conhecimento dos agentes. Os conceitos são utilizados na avaliação do modelo proposto para formação do conhecimento comum e na tomada de decisão. O capítulo também apresenta os tipos de diálogos aplicados aos sistemas de argumentação e os conceitos básicos sobre a tomada de decisão consensual.

2.1 Argumentação

O ato de argumentar consiste em fazer reivindicações, que são acompanhadas de uma série de declarações que o emissor do argumento acredita que lhe justificará os interesses ou pontos de vista. Com certa frequência, a argumentação é vista como algo rude ou desagradável, especialmente quando faz referência a uma disputa (SINNOTT-ARMSTRONG; FOGELIN, 2009; WESTON, 2008; ZAREFSKY, 2005). No entanto, os argumentos são apresentados para que o grupo entenda as justificativas sobre as opiniões fornecidas pelo emissor do argumento.

Para Sinnott-Armstrong e Fogelin (2009), um argumento “consiste em uma série de sentenças, declarações ou proposições (chamadas de premissas) que se destinam a dar algum tipo de razão para uma sentença, declaração ou proposição (chamada de conclusão)”. A argumentação é um processo de raciocínio racional no qual as razões para o argumento fornecem o suporte para a conclusão. Além da possibilidade de emitir argumentos e contra-argumentos, a argumentação também possibilita a avaliação dos argumentos, de modo a aumentar ou diminuir a aceitabilidade de um determinado ponto de vista de acordo com algum tipo de critério (VESIC, 2011; BESNARD; HUNTER, 2008).

De acordo com Dung (1995), a discussão entre os humanos ocorre de forma simples em que “o último a rir é o que ri melhor”. Ele apresenta um exemplo hipotético de diálogo entre duas pessoas de nacionalidades diferentes p_1 e p_2 cujos países estão em guerra. O diálogo é sobre a culpa pelo bloqueio de uma negociação em região de interesse comum:

- p_1 : O meu governo não pode negociar com o seu já que seu governo nem sequer reconhece meu governo.
- p_2 : Seu governo também não reconhece o meu governo.
- p_1 : Mas seu governo é um governo terrorista.

A pessoa p_1 afirma que quem bloqueia a negociação é o governo de p_2 . Então p_2 usa o mesmo argumento para contra-atacar p_1 . Neste momento, não existe conclusão sobre a discussão. Encerrando-se a discussão no momento em que p_1 apresenta o terceiro argumento atacando p_2 , p_1 teve a última palavra; portanto, venceu o diálogo. O framework proposto por [Dung](#) explora este tipo de diálogo na teoria da argumentação e sua aplicação na Inteligência Artificial, e assim fornece um conjunto de semânticas para a análise dos argumentos e a escolha dos argumentos justificáveis. Este framework é chamado de *abstrato*, pois, os argumentos e as relações entre eles (tipos de ataques entre argumentos), não possuem estrutura definida. O framework é representado por um grafo onde os vértices se referem aos argumentos e as arestas às relações de ataque.

Definição 1. (*Framework de argumentação abstrata (DUNG, 1995)*) Um framework de argumentação é um par $AF = \langle AR, R \rangle$ onde AR é um conjunto de argumentos e R é uma relação binária sobre AR com $R \subseteq AR \times AR$.

Dados dois argumentos arg_i e arg_j , a relação binária $R(arg_i, arg_j)$ indica que o argumento arg_i representa um ataque ao argumento arg_j . O framework de argumentação abstrata pode ser representado como um grafo direcionado de argumentos onde cada vértice do grafo consiste em um argumento e cada aresta representa uma relação de ataque entre os argumentos.

[Dung](#) trabalha com o conceito de conjunto admissível de argumentos ([EEMEREN et al., 2014](#)). Um conjunto de argumentos é admissível se ele for *livre de conflitos* (não contém um argumento que ataca outro argumento no mesmo conjunto) e se todos os argumentos forem *aceitáveis* para este conjunto (quando um argumento no conjunto de argumentos sendo atacado é defendido por outro argumento no conjunto de argumentos, ou seja, o conjunto contém um argumento que ataca o argumento atacante). Tem-se que um conjunto de argumentos é *admissível* se ele não possuir conflitos (*livre de conflitos*) e puder se defender dos ataques recebidos (*aceitável*).

Definição 2. (*Ataque e Defesa (DUNG, 1995)*) No framework de argumentação abstrata $AF = \langle AR, R \rangle$, diz-se que um conjunto de argumentos $B \subseteq AR$ ataca um argumento $arg_j \notin B$ se arg_j é atacado por um argumento $arg_i \in B$ tal que $\exists R(arg_i, arg_j) \in R$. Um conjunto de argumentos $B \subseteq AR$ defende um argumento arg_i se $\exists R(arg_j, arg_i) \in R$ e $\exists R(arg_k, arg_j)$ com $arg_k \in B$.

Exemplo 1. (Framework de argumentação abstrata) Seja $AF = \langle AR, R \rangle$ um framework de argumentação abstrata com $AR = \{arg_1, arg_2, arg_3, arg_4, arg_5\}$ e $R = \{(arg_1, arg_2), (arg_3, arg_2), (arg_3, arg_4), (arg_4, arg_3), (arg_4, arg_5), (arg_5, arg_5)\}$ conforme Figura 1. Os conjuntos de argumentos livre de conflitos são: $\emptyset, \{arg_1\}, \{arg_2\}, \{arg_3\}, \{arg_4\}, \{arg_1, arg_3\}, \{arg_1, arg_4\}, \{arg_4, arg_2\}$. Os conjuntos de argumentos admissíveis são: $\emptyset, \{arg_1\}, \{arg_3\}, \{arg_4\}, \{arg_1, arg_3\}, \{arg_1, arg_4\}$.

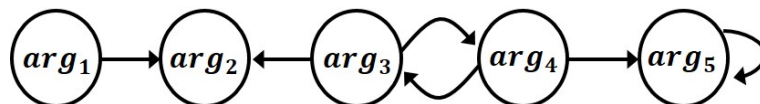


Figura 1 – Framework Abstrato de Argumentação (BESNARD; HUNTER, 2008).

Exemplo 2. (Ataque e Defesa. (cont. Exemplo 1)) No conjunto $B = \{arg_1, arg_4\}$ tem-se que B ataca o argumento arg_2 ($\exists R(arg_1, arg_2)$ e $arg_1 \in B$). Para $B = \{arg_2, arg_4\}$, tem-se que o conjunto B defende arg_2 ($\exists R(arg_3, arg_2)$ e $\exists R(arg_4, arg_3)$ com $arg_2, arg_4 \in B$).

Um agente racional deve aceitar apenas argumentos que ele possa defender de todos os ataques possíveis. Portanto, a partir dos conjuntos admissíveis, é possível examiná-los para identificar quais deles podem ser unidos e permanecerem aceitáveis. Para isso, DUNG definiu um conjunto de *semânticas* de argumentação (DUNG, 1995; BARONI; CAMINADA; GIACOMIN, 2011; DOUTRE; MENGIN, 2004), tais como completa, estável, preferida, fundamentada, ideal, entre outras, que definem critérios a serem aplicados a um conjunto de argumentos. No Exemplo 1, o conjunto $\{arg_1\}$ é admissível, mas não contém os argumentos arg_3 ou arg_4 que não representam relações de ataque ou anulam arg_1 . Neste sentido, ao aceitar-se arg_1 , pode-se também aceitar arg_3 ou arg_4 . Este tipo de raciocínio é a base para a semântica *complete* e pode ser estendido para outras semânticas (CAMINADA, 2006; THIMM, 2012).

Para o cálculo das semânticas de argumentação, duas abordagens foram propostas: (1) abordagem baseada em extensão (*extension-based*), e (2) abordagem baseada em rotulamento (*labelling-based*). O primeiro tipo de abordagem visa a encontrar conjuntos de argumentos, ou extensões, que, juntos, podem sobreviver aos ataques recebidos, representando, assim, posição coletiva¹ sobre o conjunto de argumentos (DUNG, 1995). O segundo tipo é uma forma mais expressiva de identificação da aceitabilidade de argumentos, pois define o estado de cada argumento. O rotulamento consiste em atribuir um rótulo para cada argumento, tais como *in* (argumento é aceito), *out* (argumento é rejeitado) e *undec* (abstenção de opinião sobre a aceitabilidade do argumento) (CAMINADA, 2006). Nesta tese, foca-se na abordagem baseada em rotulamento, em que o estado de justificação consiste na atribuição de um rótulo ao argumento que responde se “é possível aceitar o

¹ Aqui, o termo posição coletiva se refere a um conjunto de argumentos que podem ser aceitos, não tendo relação com o grupo de agentes tomadores de decisão.

argumento, é possível rejeitar o argumento e se é possível não ter uma posição sobre o argumento”.

Definição 3. (*Rotulamento de argumentos (CAMINADA, 2006; WU; CAMINADA; PODLASZEWSKI, 2010)*) Seja $AF = \langle AR, R \rangle$ um framework de argumentação abstrata. Um rotulamento é uma função total $\mathcal{L} : AR \rightarrow \{in, out, undec\}$. Temos $in(\mathcal{L})$ para $\{arg_i \in AR \mid \mathcal{L}(arg_i) = in\}$, $out(\mathcal{L})$ para $\{arg_i \in AR \mid \mathcal{L}(arg_i) = out\}$ e $undec(\mathcal{L})$ para $\{arg_i \in AR \mid \mathcal{L}(arg_i) = undec\}$.

No rotulamento dos argumentos, um argumento recebe o rótulo *in* se, e somente se, todos os seus atacantes forem rotulados como *out*, enquanto que um argumento recebe o rótulo *out* se, e somente se, existir no mínimo um atacante rotulado como *in* (CAMINADA, 2008). Formalmente, o rotulamento completo coincide com a extensão da semântica completa (WU; CAMINADA; PODLASZEWSKI, 2010) e é definido como:

Definição 4. (*Rotulamento completo de argumentos (CAMINADA; SÁ; ALCÂNTARA, 2013; WU; CAMINADA; PODLASZEWSKI, 2010; CAMINADA; GABBAY, 2009)*) O rotulamento de argumento em um framework de argumentação abstrata é chamado de rotulamento completo se, e somente se, para cada $arg_i \in AR$, tem-se que:

- Se $\mathcal{L}(arg_i) = in$ então para todo $arg_j \in AR$ que ataca arg_i tem-se que $\mathcal{L}(arg_j) = out$;
- Se $\mathcal{L}(arg_i) = out$ então existe ao menos um $arg_j \in AR$ que ataca arg_i tal que $\mathcal{L}(arg_j) = in$;
- Se $\mathcal{L}(arg_i) = undec$ então (i) nem todo $arg_j \in AR$ que ataca arg_i tem $\mathcal{L}(arg_j) = out$ e (ii) nenhum $arg_j \in AR$ que ataca arg_i tem $\mathcal{L}(arg_j) = in$;

O processo de rotular os argumentos geralmente é iniciado pelos argumentos que não recebem nenhum ataque. Assim, eles são automaticamente aceitos (*in*).

Exemplo 3. (*Rotulamento de argumentos (cont. Exemplo 1)*) A Figura 2 apresenta alguns rótulos possíveis:

- $\mathcal{L}(arg_1) = in, \mathcal{L}(arg_2) = out, \mathcal{L}(arg_3) = undec, \mathcal{L}(arg_4) = undec, \mathcal{L}(arg_5) = undec$;
- $\mathcal{L}'(arg_1) = in, \mathcal{L}'(arg_2) = out, \mathcal{L}'(arg_3) = in, \mathcal{L}'(arg_4) = out, \mathcal{L}'(arg_5) = undec$;
- $\mathcal{L}''(arg_1) = in, \mathcal{L}''(arg_2) = out, \mathcal{L}''(arg_3) = out, \mathcal{L}''(arg_4) = in, \mathcal{L}''(arg_5) = out$.

A partir da rotulagem dos argumentos, pode-se calcular as semânticas de argumentação propostas por Dung, onde (CAMINADA, 2006; THIMM, 2012):

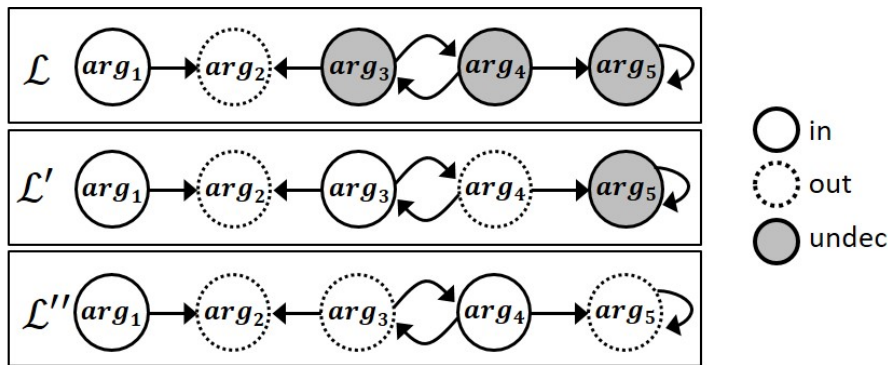


Figura 2 – Abordagem baseada em rotulagem (*labelling-based*).

- Semântica *completa*: formada por todos os rótulos *in*. Exemplo: $\mathcal{L} = \{arg_1\}$, $\mathcal{L}' = \{arg_1, arg_3\}$, $\mathcal{L}'' = \{arg_1, arg_4\}$, formando $\{\{arg_1\}, \{arg_1, arg_3\}, \{arg_1, arg_4\}\}$;
- Semântica *fundamentada*: é *completa* e $in(\mathcal{L})$ é mínimo. Exemplo: $\{arg_1\}$ em \mathcal{L} ;
- Semântica *preferida*: é *completa* e $in(\mathcal{L})$ é máximo. Exemplo: $\{\{arg_1, arg_3\}, \{arg_1, arg_4\}\}$;
- Semântica *semi-estável*: é *completa* e $undec(\mathcal{L})$ é mínimo. Exemplo: $\{arg_1, arg_4\}$ em \mathcal{L}'' ;
- Semântica *estável*: é *completa* e $undec(\mathcal{L}) = \emptyset$. Exemplo: $\{arg_1, arg_4\}$ em \mathcal{L}'' .

Enquanto a argumentação abstrata é representada por um grafo e não considera a estrutura interna dos argumentos e a natureza dos ataques entre os argumentos, a argumentação estruturada surge como uma abordagem que representa a estrutura interna e as relações de ataques entre os argumentos utilizando uma linguagem lógica (por exemplo, lógica revogável (NUTE; ERK, 1998; GARCÍA; SIMARI, 2004; PANISSON et al., 2014; PRAKKNEN; SARTOR, 1996) e lógica baseada em assunções (FAN; TONI, 2012; CRAVEN; TONI, 2016), entre outras (KRAUSE et al., 1995; AMGOUD; PRADE, 2012; BESNARD; HUNTER, 2001; MODGIL; PRAKKNEN, 2014)).

Considerando uma linguagem lógica proposicional \mathcal{LP} ; uma base de conhecimentos Σ sem fechamento dedutivo contendo fórmulas em \mathcal{LP} ; \vdash , \equiv e \perp representando inferência clássica, equivalência e contradição; \wedge , \vee , \rightarrow , \leftrightarrow e \neg para conectivos lógicos de conjunção, disjunção, implicação, bicondição e negação; pode-se definir o conceito de argumento.

Definição 5. (*Argumento (AMGOUD; PRADE, 2004; BESNARD; HUNTER, 2014)*)

Um argumento é um par $\langle \Phi, \alpha \rangle$ tal que

1. α é uma fórmula na linguagem \mathcal{LP} ;
2. $\Phi \subseteq \Sigma$;
3. $\Phi \vdash \alpha$;

4. Não existe $\Phi' \subseteq \Phi$ tal que $\Phi' \vdash \alpha$. O conjunto Φ é minimal (em relação de inclusão).

O par $\langle \Phi, \alpha \rangle$ é um argumento para α onde Φ é o suporte do argumento (premissas) e α é a conclusão do argumento. $\mathcal{A}(\Sigma)$ é o conjunto de todos os argumentos que podem ser formados a partir de Σ .

Quando Σ apresenta fórmulas inconsistentes, argumentos conflitantes podem ser construídos. Estes conflitos (contra-argumentos) são representados na forma de ataques: *undercut* e *rebuttal* (PARSONS; MCBURNEY, 2003; BESNARD et al., 2014).

Definição 6. (Relações de ataques) Seja $\mathcal{A}(\Sigma)$ o conjunto de todos os argumentos que podem ser formados a partir de Σ . Seja $arg_i = \langle \Phi_i, \alpha_i \rangle$ e $arg_j = \langle \Phi_j, \alpha_j \rangle$ dois argumentos distintos em $\mathcal{A}(\Sigma)$. Considera-se os seguintes tipos simples de ataques:

- arg_i faz um ataque por *undercut* em arg_j se e somente se $\exists \phi \in \Phi_j$ tal que $\alpha_i \equiv \neg \phi$.
- arg_i faz um ataque por *rebuttal* em arg_j se e somente se $\alpha_i \equiv \neg \alpha_j$.

Exemplo 4. (Argumentos e Contra-argumentos) Seja $\Sigma = \{a, \neg b, a \rightarrow \neg b, d \rightarrow b, a \rightarrow b\}$ a base de conhecimentos de um agente. Alguns argumentos que podem ser formados são: $arg_1 = \langle \{a, a \rightarrow \neg b\}, \neg b \rangle$, $arg_2 = \langle \{\neg b, d \rightarrow b, a \rightarrow d\}, \neg a \rangle$ e $arg_3 = \langle \{a, a \rightarrow d, d \rightarrow b\}, b \rangle$. O argumento arg_2 faz um ataque por *undercut* em arg_1 , o argumento arg_2 faz um ataque por *undercut* em arg_3 , o argumento arg_3 faz um ataque por *undercut* em arg_2 e o argumento arg_3 faz um ataque por *rebuttal* em arg_1 . A Figura 3 ilustra as relações de ataque.

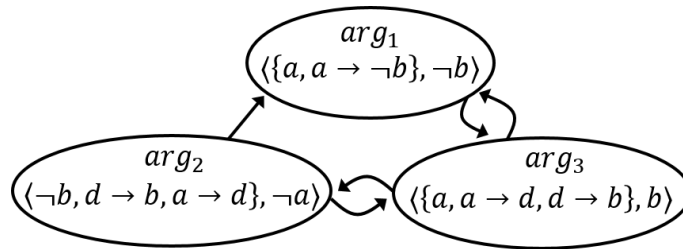


Figura 3 – Tipos de relações de ataque: *undercut* e *rebuttal*.

As fórmulas na base de conhecimentos Σ são representadas na Forma Normal Conjuntiva. Com isto, caso $\Sigma = \{a, b, \neg b, a \rightarrow c\}$, tem-se $\Sigma = \{a, b, \neg b, \neg a \wedge c\}$. Como a premissa de um argumento é minimal, não é possível a geração de argumentos tais como $\langle \{a, b, a \rightarrow c\}, c \rangle$ ou $\langle \{b, \neg b, a \rightarrow c\}, c \rangle$. Algoritmos para a geração de argumentos baseado em lógica proposicional foram propostos por Efstathiou e Hunter (2011) e Efstathiou e Hunter (2008) que utilizam a geração de grafo de conexão entre as fórmulas de uma base de conhecimentos. Este grafo é então refinado para grafo de ataques, grafo fechado, grafo focal e grafo de consulta. A partir do grafo de consulta, os autores constroem árvores

de pre-suporte para determinar quais fórmulas justificam a conclusão de um argumento, conforme apresentado no Anexo A.

O custo computacional envolvido na argumentação abstrata e nas semânticas de argumentação é apresentada por Dunne e Wooldridge (2009), Wallner (2014), Wallner, Niskanen e Järvisalo (2017), Fazzinga, Flesca e Parisi (2015) e resumido na Tabela 1. Em relação à argumentação estruturada, o custo computacional é apresentado por Efstathiou e Hunter (2008), Parsons, Wooldridge e Amgoud (2003), Creignou, Egly e Schmidt (2014), Hirsch e Gorogiannis (2010) e resumido na Tabela 2.

Tabela 1 – Custo computacional da argumentação abstrata

Semântica	Custo Computacional
Livre de conflitos	Polinomial
Admissível	NP-completo
Completa	NP-completo
Estável	NP-completo
Preferida	NP-completo
Fundamentada	Polinomial
Ideal	coNP-completo

Tabela 2 – Custo computacional da argumentação estruturada

Atividade	Custo Computacional
Geração de Argumentos	\sum_2^P completo
Busca por contra-argumentos	\sum_2^P completo

2.2 Representação do Conhecimento

O modelo clássico de raciocínio sobre o conhecimento usado por um agente é conhecido como modelo de mundos possíveis (HALPERN, 1986). Os mundos possíveis representam os estados em que as informações² podem estar, portanto, pode haver situações em que uma informação seja conhecida e aplicável a uma questão em discussão, mas não seja conhecida ou aplicável a outro problema (FAGIN et al., 2004). Um agente ag_i conhece um fato φ se φ é necessariamente verdadeiro, ou seja, o valor de φ é verdadeiro em todos os mundos possíveis. Por exemplo, um agente pode pensar que existem dois estados no mundo: um mundo possível onde faz calor em Curitiba e calor em Maringá, e outro mundo possível onde está frio em Curitiba e calor em Maringá. Dessa forma, o agente sabe que faz calor em Maringá, mas não sabe exatamente se faz calor ou frio em Curitiba. A partir da utilização de um conjunto de valores para as informações em um dado momento, tem-se

² Usa-se o termo informação para se referir ao conhecimento de um agente. Nesta tese, uma informação se refere a uma fórmula na linguagem lógica proposicional que representa a crença de um agente.

o mundo atual, que faz parte do conjunto de mundos possíveis (GIRLE, 2012; FAGIN; HALPERN, 1994).

A Figura 4 demonstra o conhecimento individual e coletivo em um grupo de agentes. Os agentes ag_1 , ag_2 e ag_3 possuem um conjunto de informações (crenças) sobre o mundo atual. Para ag_1 , as crenças do conjunto $\{a, b, a \rightarrow c, h\}$ são aceitas; para ag_2 , as crenças do conjunto $\{a, b, b \rightarrow d, h\}$ são aceitas; e para ag_3 , as crenças do conjunto $\{g, b, h\}$ são aceitas. Todos os agentes sabem que h é conhecimento comum, ou seja, todos os agentes conhecem a crença h e todos os agentes sabem que todos os agentes conhecem h . Neste mundo atual, todos os agentes conhecem a crença b , mas eles não sabem que os outros agentes também a conhecem.

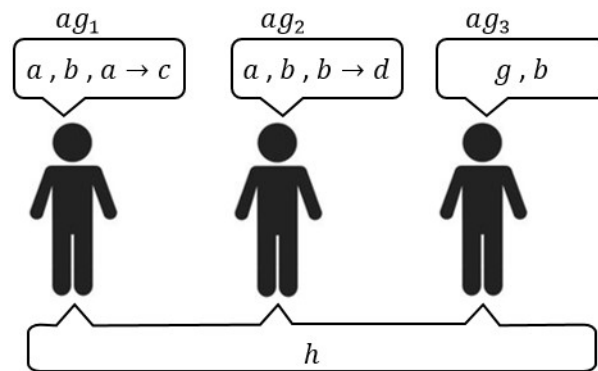


Figura 4 – Conhecimento individual e coletivo em um grupo de agentes.

A estrutura de Kripke pode ser usada para formalizar os mundos possíveis e dar semântica às fórmulas de uma linguagem lógica quando relacionadas a estes mundos. São usadas na verificação de modelos com o intuito de representar o comportamento de um sistema (CLARKE, 2008). A estrutura é formada por um grafo onde os vértices representam os estados alcançáveis do sistema (os mundos possíveis) e as arestas representam as possíveis transições entre os estados.

Definição 7. (Estrutura Kripke (KRIPKE, 1963; FAGIN; HALPERN, 1994; FAGIN et al., 2004)) A estrutura Kripke é formada por uma tupla $(W, \pi, \Theta_1, \dots, \Theta_n)$, onde:

1. W é um conjunto de estados (ou mundos possíveis);
2. $\pi(w)$ é uma atribuição de valor-verdade para uma fórmula em cada estado $w \in W$;
3. Θ_i com $i = 1, \dots, n$ é uma relação de acessibilidade entre os estados de W .

Pode-se atribuir valores-verdade em cada estado da estrutura Kripke. O valor-verdade de uma fórmula é dependente do mundo, bem como da estrutura, de modo a fazer com que esta fórmula possa ser verdadeira em um mundo e falso em outro (FAGIN et al., 2004). A notação $(M, w) \models \varphi$ indica que a fórmula φ é verdadeira no estado w de

uma estrutura Kripke M . Sejam φ e ψ duas fórmulas na base de conhecimentos de um agente e a relação \models uma indução na estrutura de φ ou ψ . As seguintes cláusulas definem a atribuição do valor-verdade:

1. $(M, w) \models \varphi$ se e somente se $\pi(w)(\varphi) = true$;
2. $(M, w) \models \varphi \wedge \psi$ se e somente se $(M, w) \models \varphi$ e $(M, w) \models \psi$;
3. $(M, w) \models \neg\varphi$ se e somente se $(M, w) \not\models \varphi$;
4. $(M, w) \models \varphi$ é válida se e somente se $(M, t) \models \varphi$ para todo $t \in \Theta_i(w)$.

Na primeira cláusula, o componente π fornece o valor-verdade para uma determinada fórmula quando relacionada a um mundo possível. A segunda cláusula trata da conjunção onde o valor-verdade é *true* se ambas as conjunções são verdadeiras. A terceira cláusula trata da negação onde uma fórmula negada $\neg\varphi$ será verdadeira exatamente se φ não for verdadeira, garantindo, assim, que a lógica apresente apenas dois valores (*true/false*). Por fim, a última cláusula trata do conhecimento do agente, onde o agente ag_i conhece a fórmula φ no mundo w se, e apenas se, φ for verdadeira em todos os mundos que o agente considera possível. Em uma estrutura Kripke, uma fórmula φ é denominada *válida* se seu valor-verdade for *true* para todos os mundos possíveis, ou é denominada *satisfazível* se o valor-verdade for *true* em algum mundo possível.

A estrutura de Kripke pode, portanto, ser utilizada para descrever o conhecimento de um agente em cada mundo possível. Diferentes lógicas modais podem ser aplicadas à estrutura de Kripke para definir o formato das relações de acessibilidade entre os estados, tais como S4, S5, KD45, entre outras (GIRLE, 2012). Nesta tese, para representar o conhecimento dos agentes durante o diálogo argumentativo e formação do conhecimento comum, considera-se que as relações de acessibilidade entre os mundos possíveis sejam transitivas, simétricas e reflexivas.

Exemplo 5. (*Estrutura de Kripke*) Considerem-se três mundos possíveis n , k e j e duas fórmulas φ e ψ em uma linguagem lógica. Uma estrutura de Kripke pode ser definida por $M = (W, \pi, \Theta_1, \dots, \Theta_9)$ com:

$$W = \{n, k, j\}$$

$$\pi = \{(n, \varphi), (n, \psi), (k, \varphi), (k, \neg\psi), (j, \neg\varphi), (j, \psi)\}$$

$$\Theta_1 = (n, n), \Theta_2 = (n, k), \Theta_3 = (k, n), \Theta_4 = (n, j), \Theta_5 = (j, n), \Theta_6 = (k, k), \Theta_7 = (k, j), \Theta_8 = (j, k), \Theta_9 = (j, j).$$

A Figura 5 demonstra os mundos possíveis, suas relações de acessibilidade e o estado das fórmulas em cada mundo possível.

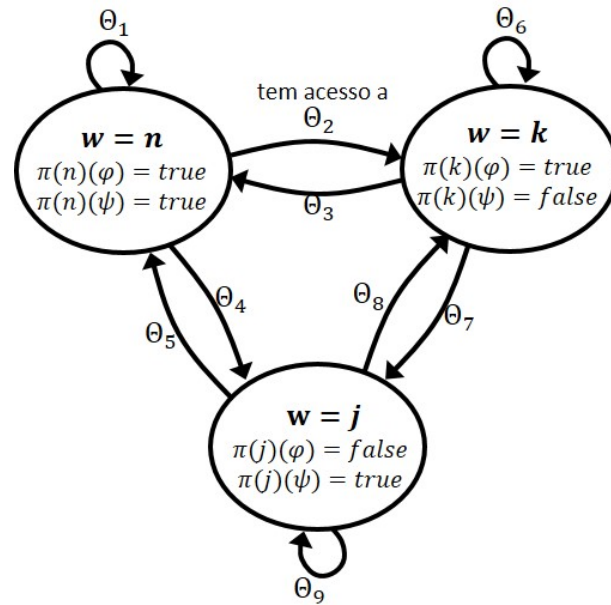


Figura 5 – Exemplo de Estrutura Kripke com sistema S5.

2.3 Diálogos argumentativos

Os agentes devem ser dotados de capacidades comunicativas para que mensagens possam ser enviadas e novos conhecimentos possam ser adquiridos. Algumas linguagens artificiais para a comunicação entre agentes foram propostas, tais como *Knowledge Query and Manipulation Language* (KQML) (FININ et al., 1994) e *Agent Communication Language* (FIPA ACL) (FIPA, 2002). De acordo com McBurney e Parsons (2009), estas linguagens foram projetadas para serem amplamente aplicáveis, de modo que podem ser utilizadas nos mais diferentes tipos de aplicações que envolvem agentes. Entretanto, os agentes que pertencem a um diálogo possuem muitas escolhas sobre o que dizer (diferentes tipos de ato de fala) em cada turno de falas, de sorte que podem perdurar neste diálogo por algum tempo até sua conclusão. Neste sentido, a comunicação entre agentes permite o estudo de diálogos onde regras para a interação entre os agentes são estabelecidas.

Walton e Krabbe (1995) apresentam uma categorização dos tipos de diálogos que podem ser aplicados na argumentação. Esta categorização se baseia nas informações que os agentes possuem no início de um diálogo (relevância do tema em discussão, objetivos individuais e coletivos). A Tabela 3 apresenta os diferentes tipos de diálogos que podem ser aplicados em um sistema de argumentação.

Cada ato de fala contém uma performativa que é responsável pelo significado da mensagem enviada ou recebida, de modo a fornecer sequência coerente na troca de mensagens durante o diálogo. Amgoud, Maudet e Parsons (2002) definem um conjunto de performativas que capturam os diferentes tipos de diálogos aplicáveis em sistemas de argumentação. Estas performativas são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 3 – Tipos de diálogos aplicados à argumentação (WALTON; KRABBE, 1995)

Tipo de Diálogo	Quando ocorre	Usado para	Objetivo
Busca de informações	Um agente busca por respostas para alguma questão	Adquirir novas informações	Troca de informações entre os agentes
Interrogatório	Agentes colaboram para fornecer respostas sobre alguma questão cuja resposta não é conhecida por nenhum agente do grupo	Localizar e verificar provas sobre algum assunto	Aprovação sobre o que foi questionado
Persuasão	Agente tenta convencer outros agentes a aceitar uma informação que não é aprovada/aceita	Persuadir os agentes quando existe conflito de opiniões	Esclarecimento de um problema
Negociação	Agentes negociam sobre a divisão de algum recurso (item negociável) para que seja benéfico a todos os participantes	Dividir um recurso de maneira aceitável para ambas as partes	Estabelecimento de acordos
Deliberação	Agentes compartilham a responsabilidade na escolha de ação adotável em determinada situação	Determinar acordos em tomada de decisões	Decisão sobre as melhores ações a serem executadas
Erística	Agentes “brigam” em uma discussão expondo suas queixas	Tentar ganhar a argumentação a qualquer custo	Revelação de conflitos individuais

Tabela 4 – Performativas utilizadas em diálogos argumentativos

Performativa	Significado
<i>question</i>	A veracidade de determinado fato é questionada ao grupo de agentes
<i>challenge</i>	O emissor do fato deve justificar os motivos para ele
<i>assert</i>	O agente afirma determinado fato ao grupo
<i>accept</i>	O agente informa que o fato foi aceito
<i>refuse</i>	O agente informa que o fato foi recusado
<i>request</i>	O agente solicita ao grupo apoio para a consecução de alguma intenção
<i>promise</i>	Requisitando auxílio, o agente pode oferecer ajuda utilizando-se também das intenções do agente que o socorreu
<i>retract</i>	O agente pode retratar uma afirmação ou promessa
<i>argue</i>	Permite a troca de argumentos entre os agentes

2.4 Decisões em Grupo

A tomada de decisão em grupo consiste em um processo em que um grupo de indivíduos (eleitores, juízes, tomadores de decisão) deve escolher uma opção candidata entre um conjunto de opções disponíveis. Diversos mecanismos são propostos para o atingimento de tais decisões, o que torna mais democrática a escolha da opção. Cada mecanismo define: (i) as entradas para a tomada de decisão (formas dos votos ou julgamentos) e as mensagens usadas pelos eleitores para apresentar suas justificativas dos votos ou julgamentos; e (ii) a saída ou resultado da decisão em grupo (o procedimento executa função de decisão social em que as entradas são transformadas em decisão final ou escolha social) (BALINSKI; LARAKI, 2010).

Os dois mecanismos mais comuns para a tomada de decisões em grupo de pessoas são: votação e consenso. Na votação, cada eleitor fornece a escolha preferida dentre as opções disponíveis. Este tipo de tomada de decisão resulta em uma dinâmica competitiva (maioria *versus* minoria) (HERTZBERG; SMITH; WESTPHAL, 2013; SCOTT; FLANIGAN, 1996), causando ressentimentos aos eleitores cujas preferências tenham sido ignoradas (NOVAK, 2014; GEHRLEIN; LEPELLEY, 2017). Diversos sistemas de votação foram propostos, tais como votação simples, votação pela regra de Borda, votação pela regra de Condorcet e agregação de julgamentos, entre outros sistemas e variações.

A votação simples, tal como em eleições, é o mecanismo mais simples para a tomada de decisão em grupo. A opção que recebe o maior número de votos é a escolhida pelo grupo. No caso de haver apenas duas alternativas de decisão, os eleitores certamente encontrarão a alternativa preferida pelo grupo. No entanto, quando mais de duas alternativas estão disponíveis, a solução pode não representar a escolha da maioria. Considere como exemplo três alternativas de decisão $\{d_1, d_2, d_3\}$ e um grupo formado por 15 eleitores. Com votos distribuídos em $d_1 = 7$, $d_2 = 5$ e $d_3 = 3$, tem-se que a maioria dos votos elegeu a alternativa d_1 . No entanto, a maioria dos eleitores não concorda com o resultado ($d_2 + d_3 = 8$ votos). Este efeito é conhecido como Paradoxo do Voto (FELSENTHAL; NURMI, 2018), em que a vontade da maioria dos votantes não é clara, caso em que o ato de votar pode ser considerado duvidoso (sem sentido).

A votação pela regra de Borda (MCLEAN, 1990; GROSSI; PIGOZZI, 2014) surge como possível solução ao problema da votação simples. As opções disponíveis para votação são formadas por ordem de preferência às alternativas de decisão candidatas. O eleitor vota escolhendo a opção que lhe representa as preferências e o mecanismo de decisão compara as preferências do grupo (voto na maioria dos pares). Por exemplo, seja $>$ uma relação de preferência em que $\alpha > \beta$ indica que a alternativa α seja preferível a β . Os votos de 15 eleitores em três alternativas de decisão podem ser assim distribuídos: $d_1 > d_2 > d_3 = 5$ votos, $d_1 > d_3 > d_2 = 2$ votos, $d_2 > d_3 > d_1 = 5$ votos e $d_3 > d_2 > d_1 = 3$ votos. Se existem n alternativas, a alternativa preferida receberá n pontos, seguida de $n - 1$ até 1

ponto. Nas relações de preferência, a alternativa vitoriosa d_1 foi a preferida por 7 eleitores (7 votos * 3 = 21 pontos); em segundo lugar d_1 não foi escolhido por nenhum eleitor (0 votos * 2 = 0 pontos); em terceiro lugar d_1 foi escolhida por 8 eleitores (8 votos * 1 = 8 pontos). Tem-se que $d_1 = 29$ pontos, $d_2 = 33$ pontos e $d_3 = 28$ pontos, o que torna a alternativa d_2 a preferida pelo grupo.

A votação pela regra de Condorcet (GROSSI; PIGOZZI, 2014; YOUNG, 1988) difere da votação simples e da regra de Borda, de forma que as alternativas de decisão são comparadas par a par e a decisão indicará vitoriosa a alternativa que apresentar a maior preferência entre os pares. No exemplo com três alternativas de decisão e 15 eleitores: comparando-se $d_1 > d_2 = 7$ votos e $d_2 > d_1 = 8$ votos, conclui-se que d_2 é preferível a d_1 ; no par $d_1 > d_3 = 8$ votos e $d_3 > d_1 = 7$ votos, conclui-se que d_1 é preferível a d_3 ; e no par $d_2 > d_3 = 10$ votos e $d_3 > d_2 = 5$ votos, conclui-se que d_2 é preferível a d_3 . Como a alternativa d_2 é preferível em todos os pares em que está presente, então esta é a alternativa preferida pelo grupo. Um problema de preferência cíclica pode surgir neste método quando $d_1 > d_2$, $d_2 > d_3$ e $d_3 > d_1$, fazendo com que nenhuma das alternativas seja a preferida pelo grupo. Para solucionar este problema, podem-se inicialmente avaliar duas alternativas (ex.: d_1 e d_2 com $d_1 > d_2$). Apenas a alternativa vencedora seguirá para as próximas avaliações (ex.: d_1 com d_3).

Estes mecanismos de votação não permitem solucionar problemas de decisão em que um grupo deve decidir coletivamente com base em crenças ou julgamentos sobre proposições logicamente relacionadas. Como exemplo, considere três juizes analisando uma quebra de contrato entre dois agentes ag_1 e ag_2 . O contrato possui uma cláusula segundo a qual ag_1 pode cancelar o contrato (proposição $q =$ quebra de contrato) somente se ag_2 praticar determinada ação (proposição $a \rightarrow q$) e sabe-se que ag_2 praticou tal ação (proposição a). As proposições lógicas a e $a \rightarrow q$ são as premissas, enquanto q é a conclusão. De acordo com o argumento $\langle \{a, a \rightarrow q\}, q \rangle$ utilizado por ag_1 , as proposições a e $a \rightarrow q$ são necessárias e suficientes para afirmar q . Suponha-se que os juizes utilizem seus próprios julgamentos sobre cada proposição do argumento, conforme demonstrado na Tabela 5. Se os juizes usarem o voto majoritário em cada proposição, o resultado violará a premissa ou a conclusão do argumento, donde se conclui que $\{a, a \rightarrow q, \neg q\}$. A análise desse tipo de julgamento é realizada pelo mecanismo de agregação de julgamentos (LIST, 2012; PIGOZZI, 2006). O termo Dilema Discursivo é usado quando o voto majoritário pode gerar inconsistência nos julgamentos coletivos que derivam de regras de inferência lógica (LIST, 2012). Para resolver o problema de decisão, algumas regras foram propostas, tais como regra baseada em premissa ou regra baseada em conclusão, regras de cotas, regras baseadas em distância, entre outras (DIETRICH, 2016).

Tabela 5 – Paradoxo doutrinal: julgamentos individuais e voto majoritário.

	a	$a \rightarrow q$	q
Juiz 1	<i>true</i>	<i>true</i>	<i>true</i>
Juiz 2	<i>true</i>	<i>false</i>	<i>false</i>
Juiz 3	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>
Voto majoritário	<i>true</i>	<i>true</i>	<i>false</i>

Observa-se que na agregação de julgamentos, todas as proposições do argumento (na premissa e conclusão) são levadas em consideração. No entanto, todos os agentes votantes devem possuir, nas respectivas bases de conhecimento, informações sobre cada uma destas proposições para fornecer o voto. Caso o agente não possua informações sobre determinada proposição, fica ele impossibilitado de fornecer seu julgamento, violando assim os princípios de domínio universal e anonimato (LIST, 2012; MONGIN, 2011).

Com relação ao mecanismo de decisão por consenso, a ideia é atingir acordo total e unânime de todos os participantes da tomada de decisão (DAY; PARNELL, 2003). Entretanto, é muito difícil obter o tipo de consenso por unanimidade (GARCÍA et al., 2012). Para Avery et al. (1981), o consenso é um processo de tomada de decisão cooperativo em que, ausente a competição, o grupo de trabalho age em conjunto. Os participantes da decisão devem trabalhar juntos na busca da satisfação tanto dos objetivos, quanto do sistema como um todo (DUNIN-KEPLICZ; VERBRUGGE, 2010).

Para que a decisão seja consensual, algumas condições são necessárias ao grupo: (i) apresentação de unidade de propósito; (ii) acesso igual ao poder; e (iii) autonomia do grupo em relação às estruturas de decisão hierárquicas (AVERY et al., 1981). Com tais condições, o consenso representa não apenas a unanimidade do grupo sobre uma única alternativa de decisão, como também a disposição dos participantes da tomada de decisão em aceitar o resultado, caso tenha sido a decisão apoiada pela maior parte do grupo. Dessa forma, o consenso visa a atingir o *consentimento* sobre a decisão, permitindo que seja ela adotada pelo grupo e possa avançar sem que os participantes se oponham ao resultado (CABRERIZO et al., 2015). O consentimento não significa que a decisão seja a escolha preferida de todos os envolvidos na discussão, mas garante que os participantes não apresentem objeções sobre a escolha do grupo. Se a decisão escolhida pela maioria não impuser restrições ou limitações aos objetivos ou ações individuais, esta decisão pode ser consentida.

De acordo com Conradt e Roper (2009), além da resolução de possíveis conflitos, a decisão por consenso deve envolver a comunicação entre os participantes da tomada de decisão, de forma que todos eles tenham liberdade de expressão. Os participantes podem se comunicar diretamente (localmente) uns com os outros para a aquisição de novas informações, ou então podem se comunicar diretamente (globalmente) com todos

os participantes para exposição dos argumentos. Para conduzir o diálogo, geralmente é utilizado um indivíduo especial conhecido como líder ou moderador (CABRERIZO et al., 2015; HERRERA-VIEDMA et al., 2005; FORSYTH, 2006; GARCÍA et al., 2012). Este moderador é o responsável por coordenar o processo de tomada de decisão, resolver conflitos e, usando argumentos racionais, persuadir os indivíduos à mudança de opinião, além de controlar o período de tempo necessário para a discussão. São, entre outras, atividades do moderador: planejar o processo de decisão (regras sobre trabalho em grupo), criar uma agenda (definir o tempo necessário para o diálogo, alternativas de decisão, estratégias para a decisão, etc.) e monitorar a discussão (manter o foco no assunto que está sendo discutido).

Ponto essencial na decisão por consenso é o bloqueio, que pode ser visto como um veto, tornando determinada alternativa de decisão inviável ao grupo. Quando um participante da decisão identifica alguma restrição sobre o resultado da decisão, ele tem o poder de bloqueá-la, de modo que o grupo deve buscar por nova alternativa de decisão aceitável por todos (AVERY et al., 1981; BRESSEN, 2007). O bloqueio ocorre quando não são atendidas as condições estabelecidas para o consenso, tais como: não aprovação do resultado da decisão (não há consentimento) por um participante, ou existência de algum critério que invalide a aplicação do resultado escolhido.

Geralmente a tomada de decisão por consenso envolve duas etapas elementares: agregação de opiniões (ou preferências individuais) e exploração das preferências coletivas (GARCÍA et al., 2012; CABRERIZO et al., 2015; HERRERA-VIEDMA et al., 2005). Na primeira etapa ocorre o processo de agregação de todas as opiniões individuais (discussão). É realizada uma avaliação sobre a extensão do acordo do grupo relativamente às opiniões individuais. Na segunda etapa, é realizada uma avaliação sobre a concordância entre as opiniões individuais e a opinião do grupo (síntese), donde se obtém o conjunto de alternativas preferidas. Hertzberg, Smith e Westphal (2013) propõem uma etapa anterior: a abertura do processo, que, envolvendo a identificação de perspectivas e ideias para o grupo, fornece material para o início da discussão.

Alguns métodos não computacionais para tomada de decisão consensual foram propostos (FINK et al., 1984) na tentativa de definição do nível de concordância sobre assuntos controversos, tais como Delphi, Nominal Group, Brainstorming, NIH Consensus Development e Glaser. Em (MARTÍNEZ-PANERO, 2008) pode-se encontrar algumas abordagens formais propostas para tomada de decisões por consenso, tais como abordagem de escolha social (agregação de preferências individuais), agregação de julgamentos (agregação de julgamentos individuais sobre proposições) e modelos Fuzzy e linguísticos (relações de preferência e identificação da preferência majoritária).

2.5 Conclusão

Este capítulo apresentou os conceitos fundamentais que são utilizados no modelo de diálogos argumentativos, formação do conhecimento comum e tomada de decisão por consenso proposto nesta tese. Inicialmente foi apresentado a argumentação abstrata, que consiste em um grafo de argumentos e suas relações de ataque, e na argumentação estruturada, que consiste na geração de argumentos e contra-argumentos utilizando uma linguagem lógica. O grafo de argumentos é utilizado no cálculo da força global dos argumentos e no processo de tomada de decisão (Capítulo 4), enquanto que a geração de argumentos e contra-argumentos é utilizada durante o processo de diálogo entre o grupo de agentes (Capítulo 3). Em seguida, foi apresentado os conceitos de mundos possíveis e estrutura de Kripke. Estes conceitos são utilizados para a verificação do estado das crenças dos agentes durante a formação do conhecimento comum (Capítulo 6). O capítulo também apresentou os tipos de diálogos aplicados à argumentação, bem como os possíveis atos de fala utilizados na troca de mensagens durante um diálogo argumentativo. O modelo de diálogo argumentativo proposto nesta tese utiliza alguns destes tipos de diálogos e atos de fala (Capítulo 6). Por fim, foi apresentado os conceitos básicos sobre a tomada de decisões em grupo, em especial a tomada de decisão por consenso. Estes conceitos são utilizados durante todo o processo de diálogo argumentativo, formação do conhecimento comum e tomada de decisão consensual.

O próximo capítulo apresenta a estrutura dos agentes argumentativos e do agente mediador, bem como o framework para a formação do conhecimento comum, que envolve o modelo de diálogos argumentativo, cálculo do nível de consenso do grupo sobre cada fórmula de um argumento e cálculo da força intrínseca dos argumentos apresentados ao grupo de agentes durante o diálogo.

3 Formação do Conhecimento Comum

Este capítulo aborda a questão de formação do conhecimento comum em um grupo de agentes. É apresentado o Framework para Formação do Conhecimento Comum (*FCC*) envolvendo a estrutura dos agentes argumentativos e agente mediador, bem como o modelo de diálogo proposto para conduzir a discussão sobre as alternativas de decisão. O estudo é motivado por diversas razões.

Primeiramente, é conveniente um diálogo entre os agentes a fim de identificar a quantia de apoios e rejeições a respeito das informações dos argumentos, bem como as razões (ou justificativas) dos agentes sobre esses apoios e rejeições. Os apoios e rejeições levam a um valor que representa o nível de consenso do grupo sobre as informações de um argumento. Desta forma, a aplicação de diálogos argumentativos se demonstra apropriada para o debate em grupo sobre os pontos positivos ou negativos relacionados ao conjunto de argumentos sobre as alternativas de decisão disponíveis.

Baseando-se no nível de consenso do grupo, pode-se estabelecer quais informações dos argumentos devem ser aceitas pelo grupo. Ao aceitar uma informação que é apoiada pela maioria dos agentes, esta torna-se conhecimento comum e pode ser utilizada pelos agentes na construção de novos argumentos.

Por fim, pode-se obter a força consensual destes argumentos. A força consensual de um argumento representa o quanto este argumento é aceito pelo grupo de agentes e se baseia no nível de consenso do grupo sobre cada informação do argumento.

Pelas razões apresentadas, o *FCC* define dois tipos de agentes (agente argumentativo e agente mediador) e um modelo de diálogo argumentativo capaz de identificar o nível de consenso do grupo sobre cada informação de um argumento, determinando quando estas informações serão usadas na formação do conhecimento comum.

3.1 Framework para formação do conhecimento comum

O modelo de diálogos proposto usando argumentos para a formação do conhecimento comum aplicados à tomada de decisão consensual envolve agentes desempenhando duas funções: agentes argumentativos e agente mediador. Os agentes argumentativos são os responsáveis por construir argumentos e informar apoios e rejeições usando as crenças em suas respectivas bases de conhecimento. Cada crença consiste em uma fórmula que representa um fato ou regra de inferência. Os agentes argumentativos fornecem opiniões por meio de argumentos e informações de apoio ou rejeição em cada fórmula dos argumentos emitidos por outros agentes argumentativos durante o diálogo. O agente mediador é o

responsável por conduzir o processo de diálogo, calcular o nível de consenso em cada fórmula de um argumento, informar o grupo de agentes argumentativos quais fórmulas devem ser aceitas como conhecimento comum durante o diálogo, computar a força de cada argumento e comunicar ao grupo de agentes argumentativos qual foi a decisão preferida com base nos argumentos apresentados durante os diálogo.

A partir dos agentes argumentativos e do agente mediador, podemos definir o Framework para formação do Conhecimento Comum (\mathcal{FCC}).

Definição 8. (\mathcal{FCC} - Framework para formação do Conhecimento Comum) Um Framework para formação do Conhecimento Comum é uma tupla com $\langle \mathcal{AG}, \mathcal{EX}, \mathcal{D}, med, t, \sigma \rangle$, onde:

- $\mathcal{AG} = \{ag_1, \dots, ag_n\}$ com $n > 1$ é o conjunto de agentes argumentativos;
- $\mathcal{EX} = \{ex_1, \dots, ex_n\}$ com $ex_i \in [0, 1]$ e $\sum_{i=1}^n ex_i = 1$ é o conjunto de valores de expertise para os agentes argumentativos, onde ag_i possui expertise ex_i e quanto maior o valor, maior é a expertise dos agentes;
- $\mathcal{D} = \{d_1, \dots, d_m\}$ com $m > 1$ é o conjunto de alternativas de decisão (ou assuntos) a serem discutidos pelo grupo;
- med é o agente mediador;
- t é um tempo de espera em segundos usado pelo mediador para sincronizar/coordenar as mensagens e informar apoios/rejeições durante o diálogo;
- σ é um valor limiar com $\sigma \in [0, 1]$ usado para determinar quando uma fórmula deve ser aceita pelo grupo como conhecimento comum.

O agente mediador utiliza o tempo t para que os agentes argumentativos possam buscar contra-argumentos e apoiar ou rejeitar as fórmulas dos argumentos. O valor limiar σ determina o quão cético ou crédulo o grupo de agentes deve ser durante a tomada de decisão, onde quanto maior o valor de σ , mais cético deve ser o grupo de agentes argumentativos.

Exemplo 6. Considere um problema em que três agentes dialogam para decidir qual é a melhor seguradora para o financiamento de um imóvel. O Framework para formação do Conhecimento Comum pode ser definido como $\mathcal{FCC} = \langle \{john, bob, lily\}, \{0.4, 0.3, 0.3\}, taylor, \{caixa, marine, pan\}, 10, 0.6 \rangle$ onde: john, bob e lily são os agentes argumentativos; os valores de expertise associados a cada agente argumentativo são $ex_{john} = 0.4$, $ex_{bob} = 0.3$ e $ex_{lily} = 0.3$; taylor é o agente mediador; as alternativas de decisão são caixa, marine e pan correspondente às possíveis seguradoras a serem contratadas; o agente taylor utiliza um tempo de espera de 10 segundos para então requisitar os argumentos aos agentes

argumentativos ou pelos apoios/rejeições sobre as fórmulas dos argumentos emitidos; sempre que o nível de consenso do grupo sobre uma fórmula do argumento for maior ou igual a 0.6, esta fórmula deve ser considerada aceita como conhecimento comum.

3.2 Estrutura dos agentes argumentativos

O agente que desempenha a função argumentativa é o responsável por dialogar, construir argumentos e compartilhar conhecimentos para que o consenso possa ser alcançado.

O conjunto de crenças (fórmulas) que os agentes mantêm em suas bases de conhecimentos podem diferenciar substancialmente de um agente a outro, especialmente quando estes agentes possuem objetivos conflitantes. Em um ambiente onde o consenso é o objetivo do processo de tomada de decisão, é necessário que exista um diálogo para atingir uma solução ao problema de decisão. Este diálogo deve contar com regras bem definidas para resolver situações em que haja conhecimento conflitante ou desconhecimento de informações no grupo de agentes.

Definição 9. (*Agente argumentativo*) *Seja $\mathcal{AG} = \{ag_1, \dots, ag_n\}$ com $n > 1$ o conjunto de agentes argumentativos. Um agente argumentativo $ag_i \in \mathcal{AG}$ é formado por uma tupla $\langle \Sigma_i, A_i, S_i \rangle$ onde:*

- $\Sigma_i = K_i \cup KO_i$ é a base de conhecimentos do agente com K_i representando o conhecimento do agente sobre o ambiente e KO_i representando o conhecimento do agente adquirido por meio da comunicação com o grupo de agentes ($\mathcal{AG} \setminus ag_i$);
- A_i é a base que armazena o argumento que será avaliado pelo grupo de agentes;
- S_i é a base que armazena a lista de contra-argumentos a serem enviados ao grupo.

Seja \mathcal{LP} uma Linguagem Proposicional: letras gregas minúsculas (η, μ, \dots) são fórmulas; átomos nas fórmulas são representados por letras romanas minúsculas (a, b, c, \dots); conectivos lógicos tais como conjunção, disjunção, negação, implicação e bicondicional são representados por $\wedge, \vee, \neg, \rightarrow$ e \leftrightarrow , respectivamente; relações de consequência lógica, equivalência e contradição são representadas por \vdash, \equiv e \perp , respectivamente.

A base Σ_i é formada por fórmulas em \mathcal{LP} e representam as crenças do agente. Estas fórmulas podem receber anotações, representadas por rótulos, que indicam em quais diálogos elas foram apresentadas, juntamente com os níveis de consenso do grupo para cada diálogo. Um diálogo consiste na discussão do grupo sobre uma alternativa de decisão. Desta forma, existe um diálogo para cada alternativa de decisão. A anotação em uma fórmula na base de conhecimentos é representada pelo rótulo $\eta[d(x)]$, onde η é uma fórmula, d

identifica uma alternativa de decisão (contexto do diálogo, opção ou assunto do diálogo) e $x \in [0, 1]$ é o nível de consenso do grupo sobre η quando relacionada ao assunto d . Deste modo, fórmulas com anotações representam informações que já foram apresentadas ao grupo previamente no diálogo atual ou em algum diálogo já concluído.

Os agentes argumentativos que possuem uma fórmula com o valor de consenso anotado em uma alternativa de decisão (ex.: $\eta[d(x)]$) sabem que esta fórmula possui um nível de aceitação definido pelo grupo para o assunto d . Uma fórmula é aceita quando a maioria dos agentes a apoiam, e não aceita no caso contrário. Valores de $x > 0$ representam em que medida essa fórmula foi aceita, isto é, se a fórmula é conhecimento comum no contexto dessa alternativa de decisão. Para $x = 0$, a fórmula não foi aceita pelo grupo e, portanto, não é considerada conhecimento comum. O nível de consenso de uma fórmula é influenciado pela *expertise* dos agentes que a apoiam ou a rejeitam.

Os agentes podem construir argumentos que contenham apenas fórmulas aceitas em sua premissa. A intuição por trás deste conceito é de que os agentes só possam enviar argumentos que contenham novas informações ou então informações que são conhecimento comum. Isso evita que os agentes enviem continuamente argumentos que contenham informações que já foram rejeitadas pelo grupo.

Sejam $GetRotulos : \Sigma_i \rightarrow Rotulos$ e $GetX : \Sigma_i \times Rotulos \rightarrow [0, 1]$ duas funções que retornam o conjunto de assuntos d anotados em uma dada fórmula ($Rotulos \subseteq \mathcal{D}$) e o nível de consenso do grupo (x) sobre uma fórmula relacionada a um assunto, respectivamente.

Definição 10. (*Fórmula aceita*) Uma fórmula η é aceita em um diálogo sobre o assunto d se (i) η não possuir rótulo sobre d ($d \notin GetRotulos(\eta)$), ou (ii) η possuir uma anotação sobre d ($d \in GetRotulos(\eta)$) e η é conhecimento comum sobre d ($getX(\eta, d) > 0$).

Um argumento enviado por um agente argumentativo representa sua opinião ou ponto de vista sobre a alternativa de decisão em discussão, ou então sobre algum argumento já apresentado ao grupo no diálogo atual. Um argumento construído por um agente argumentativo consiste em um par $\langle \Phi, \alpha \rangle$ onde Φ representa o conjunto de fórmulas em \mathcal{LP} formando a premissa do argumento e α é a conclusão do argumento, conforme Definição 5 (página 33) e Anexo A.

Quando um argumento é enviado em um diálogo, ele é armazenado na base A_i de todos os agentes em \mathcal{AG} . Os agentes buscam por contra-argumentos para atacar o argumento recebido usando as fórmulas armazenadas em suas respectivas bases de conhecimento Σ_i . Todos os contra-argumentos encontrados são então armazenados nas respectivas bases S_i . Considera-se dois tipos de ataques na busca por contra-argumentos: *undercut* e *rebuttal*, conforme Definição 6 (página 34). De todos os contra-argumentos encontrados por um agente, apenas os argumentos aprovados serão discutidos pelo grupo de agentes, evitando a criação de argumentos com fórmulas nas premissas que já foram

rejeitadas pelo grupo e garantindo que os argumentos estejam relacionados ao assunto do diálogo atual.

Definição 11. (*Argumento aprovado*) Um argumento é aprovado no diálogo atual se ele possuir em sua premissa apenas fórmulas que (i) são aceitas para o diálogo atual, e (ii) não mencione outras alternativas de decisão.

Além da construção de argumentos, os agentes que desempenham a função argumentativa também informam suas opiniões apoiando e rejeitando cada fórmula do argumento atual armazenado em A_i . Este processo de informação é a base para o cálculo do nível de consenso em cada fórmula do argumento. Seja $\mathcal{A}(\Sigma_i)$ o conjunto de todos os argumentos que podem ser construídos a partir de Σ_i , AR o conjunto de todos os argumentos enviados ao grupo de agentes em um diálogo e $arg \in AR$ um argumento.

As seguintes funções permitem aos agentes decompor os argumentos em suas fórmulas e átomos:

- $premise : AR \rightarrow \Phi$ é uma função que retorna o conjunto de fórmulas na premissa de um argumento arg ;
- $claim : AR \rightarrow \Upsilon$ é uma função que retorna a conclusão do argumento arg ;
- $split : AR \rightarrow H$ é uma função que retorna o conjunto de fórmulas no argumento arg com $H = premise(arg) \cup claim(arg)$;
- $atoms : H \rightarrow \Pi$ é uma função que retorna o conjunto de átomos de uma fórmula.

Cada fórmula η de um argumento pode receber informes¹ de apoio ou rejeição dos agentes argumentativos participantes de um diálogo.

Definição 12. (*Informe de apoio*) Uma fórmula η em um argumento emitido pelo agente ag_i é apoiada pelo agente ag_j , com $i \neq j$, se e somente se:

1. $\exists arg_2 \in \mathcal{A}(\Sigma_j) | claim(arg_2) \leftrightarrow \eta$ é uma tautologia, ou;
2. $\exists \mu \in \Sigma_j | atoms(\mu) = atoms(\eta)$ e $\mu \leftrightarrow \eta$ é uma tautologia.

Definição 13. (*Informe de rejeição*) Uma fórmula η em um argumento emitido pelo agente ag_i é rejeitada pelo agente ag_j , com $i \neq j$, se e somente se:

1. $\exists arg_2 \in \mathcal{A}(\Sigma_j) | claim(arg_2) \leftrightarrow \neg \eta$ é uma tautologia, ou;

¹ Os informes de apoio e rejeição ocorrem em cada fórmula do argumento, desde que as fórmulas conhecidas pelos agentes contenham os mesmos átomos das fórmulas sendo avaliadas. Cada fórmula é representada em forma normal conjuntiva.

2. $\exists \mu \in \Sigma_j | atoms(\mu) = atoms(\eta)$ e $\mu \leftrightarrow \eta$ não é uma tautologia.

Exemplo 7. (Agente argumentativo) Sejam y e z duas possíveis alternativas de decisão e ag_{Bob} um agente argumentativo formado por:

$$K_{Bob} = \{a[y(1)], a \rightarrow d, b[z(0)], b \rightarrow \neg z, c, \neg c, c \rightarrow d\}$$

$$KO_{Bob} = \{d \rightarrow y[y(0.5)]\}$$

$$A_{Bob} = \langle \{c, c \rightarrow \neg d\}, \neg d \rangle$$

$$S_{Bob} = \{ \langle \{a, a \rightarrow d\}, d \rangle, \langle \{\neg c\}, \neg c \rangle \}$$

Temos que no diálogo sobre y , as fórmulas a e $d \rightarrow y$ foram apresentadas ao grupo em algum argumento e foram consideradas conhecimento comum. No diálogo sobre z , a fórmula b não foi aceita pelo grupo (não existe consenso do grupo sobre b , ou b foi rejeitada). O argumento atual sendo discutido pelo grupo é o armazenado em A_{Bob} . O agente ag_{Bob} possui dois argumentos para serem enviados ao grupo (argumentos em S_{Bob}).

Exemplo 8. (Fórmula aceita, Cont. Exemplo 7) Todas as fórmulas em K_{Bob} e KO_{Bob} são aceitas no diálogo sobre y . Apenas a fórmula b não é aceita no diálogo sobre z .

Exemplo 9. (Argumento aprovado, Cont. Exemplo 7) O argumento $\langle \{a, a \rightarrow d\}, d \rangle$ é um argumento aprovado nos diálogos sobre y e z , já que a foi aceito pelo grupo quando relacionado a y e não possui rótulo contrário a z , e $a \rightarrow d$ não contém rótulos contrários a y e z . O argumento $\langle \{b, b \rightarrow \neg z\}, \neg z \rangle$ não é aprovado no diálogo sobre z , pois em sua premissa existe uma fórmula não aceita, $b[z(0)]$. O argumento $\langle \{a, a \rightarrow d, d \rightarrow y\}, y \rangle$ também não é aprovado no diálogo sobre z já que faz referência a uma outra alternativa de decisão, $d \rightarrow y$.

Exemplo 10. (Informe de apoio e rejeição, Cont. Exemplo 7) No argumento em A_{Bob} : fórmula c é apoiada e rejeitada pelo agente ag_{Bob} ($c, \neg c \in K_{Bob}$); a fórmula $c \rightarrow \neg d$ é rejeitada por ag_{Bob} ($c \rightarrow d \in K_{Bob}$ e $(\neg c \vee d) \leftrightarrow (\neg c \vee \neg d)$ não é tautologia); fórmula $\neg d$ é rejeitada por ag_{Bob} ($\exists arg = \langle \{c, c \rightarrow d\}, d \rangle \in \mathcal{A}(\Sigma_{Bob})$ com $claim(arg) = d$ e, com a negação da fórmula avaliada $\neg d$, tem-se que $d \leftrightarrow d$ é tautologia).

3.3 Estrutura do agente mediador

O consenso é alcançado por um processo de discussão em grupo dinâmico e interativo, geralmente coordenado por um moderador, que tenta ajudar o grupo a aproximar suas opiniões (SINGH; BENYOUCEF, 2013). O agente mediador é o responsável por coordenar e sincronizar a troca de mensagens no diálogo entre agentes argumentativos. O mediador solicita argumentos, verifica estes argumentos, informa os novos argumentos aos agentes argumentativos, solicita informes de apoio ou rejeição nas fórmulas dos argumentos, calcula o nível de consenso de cada fórmula do argumento, informa os agentes argumentativos sobre quais fórmulas foram aceitas pela maioria dos agentes, calcula a força destes argumentos e anuncia a decisão final, ou seja, a alternativa de decisão preferida pelo grupo.

Definição 14. (Agente mediador) Um agente mediador, *med*, é formado por uma tupla $\langle WB, AGENDA, DT, BEL \rangle$ onde:

- *WB* é um quadro branco representando uma lista de agentes argumentativos registrados para enviar novos argumentos;
- *AGENDA* é uma lista que armazena todos os argumentos enviados por um agente argumentativo em cada rodada de diálogo;
- $DT = \{dt_1, \dots, dt_m\}$ é o conjunto de tabelas de diálogos sendo uma tabela de diálogo para cada alternativa de decisão; e,
- *BEL* é a base de conhecimentos que armazena as fórmulas (crenças) contidas em todos os argumentos enviados durante um diálogo sobre uma alternativa de decisão juntamente com o rótulo contendo o nível de consenso do grupo.

O quadro branco *WB* é utilizado para emular o processo de reunião presencial onde um grupo de pessoas se reúne para discutir um problema de tomada de decisão. Quando uma pessoa possui algum argumento a ser fornecido, esta pessoa solicita sua inclusão (levanta a mão indicando que deseja expor seus argumentos) na listagem de pessoas que desejam falar e aguarda a sua vez na fila. Neste sentido, quando um agente ag_i possui algum argumento para ser enviado ao grupo, ou seja, $S_i \neq \emptyset$, ele requisita sua inscrição na listagem de agentes *WB* e aguarda a sua vez para enviar seus argumentos. A sequência dos agentes que emitirão seus argumentos ocorre de acordo com a ordem armazenada em *WB* onde o primeiro agente da lista será o requisitado para envio dos argumentos. Esta lista assegura que apenas um agente envie um conjunto de argumentos (todos os argumentos em S_i) em cada turno de falas. Um agente pode ocupar somente uma posição na *WB* em cada instante.

Quando o agente ag_i for requisitado a enviar seus argumentos, ele envia ao agente mediador *med* todos os argumentos em S_i e então S_i é esvaziada ($S_i = \emptyset$). O agente *med* verifica todos os argumentos recebidos e armazena-os na *AGENDA*. Estes argumentos precisam ser verificados pelas seguintes razões:

1. Assegurar que todos os argumentos estejam relacionados ao assunto da discussão atual (ex.: todos os argumentos possuam algum tipo de relação de ataque com algum argumento já enviado previamente no diálogo atual);
2. Assegurar que todos os argumentos sejam únicos em um diálogo (ex.: argumentos que ainda não foram apresentados na discussão atual, evitando repetições); e,
3. Assegurar que todos os argumentos sejam argumentos aprovados.

Existe uma tabela de diálogo $dt_p \in DT$ para cada alternativa de decisão. A primeira linha de cada tabela de diálogo é o ponto de partida para o diálogo, contendo uma estrutura que representa esta alternativa de decisão. As linhas subsequentes são preenchidas com os argumentos aprovados da *AGENDA*.

Definição 15. (*Argumento inicial*) *O argumento inicial de um diálogo é uma estrutura especial onde a premissa é sempre verdadeira e a conclusão representa uma alternativa de decisão a ser discutida. Sua estrutura interna é $\langle \{TRUE\}, d_p \rangle$ onde $d_p \in \mathcal{D}$. Esta estrutura é usada no início de um diálogo e é armazenada na primeira linha da tabela de diálogo dt_p . O argumento inicial não ataca outros argumentos, apenas recebe ataques.*

As tabelas de diálogo possuem os seguintes campos: número sequencial γ que identifica um argumento; agente ag_i emissor do argumento; o argumento arg emitido pelo agente; número δ que identifica qual argumento γ na tabela de diálogo está sendo atacado; lista de fórmulas do argumento com os apoios (*Support*) e rejeições (*Reject*), o nível de consenso cl para cada fórmula do argumento, e a força intrínseca fi do argumento. Sempre que o agente med adiciona um novo argumento arg_a na tabela de diálogo atual dt_p , arg_a é informado a todos os agentes argumentativos, ou seja, $\forall ag_i \in \mathcal{AG}, A_i = arg_a$. Quando o grupo de agentes argumentativos é requisitado a atacar arg_a , todos os contra-argumentos são armazenados em S_i e então A_i é esvaziado. Formalmente, $\forall S_i = S_i \cup \{\forall arg_b \in \mathcal{A}(\Sigma_i) | R(arg_b, arg_a)\}$ e então $A_i = null$.

Todas as fórmulas de um argumento passam por uma avaliação (conjunto de apoios e rejeições) para identificar o nível de consenso sobre elas, bem como quais fórmulas devem ser aceitas como conhecimento comum. Estas fórmulas, juntamente com seus rótulos contendo a alternativa de decisão sendo discutida com o nível de consenso, são armazenadas na base *BEL*. O agente med armazena o conjunto de fórmulas dos argumentos enviados pelos agentes argumentativos para que os novos argumentos a serem apresentados no diálogo possam ser verificados antes de serem comunicados ao grupo.

Exemplo 11. (*Agente mediador*) *Considere um Framework para formação do Conhecimento Comum $\mathcal{FCC} = \langle \{john, bob, lily\}, \{0.4, 0.3, 0.3\}, taylor, \{caixa, marine, pan\}, 10, 0.6 \rangle$ conforme Exemplo 6. O agente taylor, em um determinado instante durante o diálogo, pode conter a seguinte configuração:*

$WB = \langle john, lily \rangle$. *Existem dois agentes na lista de falas.*

$AGENDA = \{ \langle \{a, a \rightarrow b\}, b \rangle \}$. *O agente john enviou um argumento ao grupo.*

$DT = \{ dt_{caixa}, dt_{marine}, dt_{pan} \}$. *Existe uma tabela de diálogo para cada alternativa de decisão.*

$BEL = \{ a[caixa(0)], a \rightarrow b[caixa(0.7)], b[caixa(0)] \}$. *Após a informação de apoios/rejeições em cada fórmula do argumento no diálogo referente a caixa, todas as fórmulas são inseridas em BEL com seus respectivos rótulos anotados.*

3.4 Cálculo do nível de consenso

Sempre que um argumento é inserido na tabela de diálogo e divulgado ao grupo de agentes argumentativos, o agente mediador calcula o nível de consenso para cada fórmula deste argumento usando um processo de informação de apoio e rejeição. Após os apoios/rejeições, os agentes argumentativos atualizam suas respectivas bases de conhecimento Σ_i , caso necessário, para incluir as fórmulas apoiadas pela maioria dos agentes no grupo. O agente mediador usa a função $cl : H \rightarrow \mathbb{R}$ para calcular o nível de consenso do grupo e determinar quais fórmulas devem ser aceitas pelo grupo como conhecimento comum. A Equação 1 mostra como obter o nível de consenso de uma fórmula. Intuitivamente, cada apoio ou rejeição é ponderado pelo valor de *expertise* dos agentes. Refere-se a ag_i como o agente emissor do argumento, $Support[\eta]$ e $Reject[\eta]$ como o conjunto de agentes que apoiam e rejeitam a fórmula η , respectivamente. O nível de consenso de uma fórmula pertence ao intervalo $[-1, 1]^2$.

$$cl(\eta) = ex_i + \sum_{ag_j \in Support[\eta]} ex_j - \sum_{ag_j \in Reject[\eta]} ex_j \quad (1)$$

A função cl é usada para determinar se o grupo deve considerar a fórmula η como consensualmente aceita ou não. O valor limiar σ com $\sigma \in [0, 1]$ definido no \mathcal{FCC} representa o valor mínimo para que uma fórmula η seja considerada aceita pelo grupo.

Quando uma fórmula η é aceita pelo grupo de agentes, ou seja, quando $cl(\eta) \geq \sigma$, cada agente ag_i deve atualizar sua base de conhecimento Σ_i :

- Caso a fórmula η já faça parte da base K_i , então apenas a anotação deve ser atualizada para esta fórmula. Fórmulas em K_i representam informações que o agente já possui sobre as alternativas de decisão;
- Caso a fórmula η não esteja em K_i , então η é incluída na base KO_i juntamente com sua respectiva anotação. Fórmulas em KO_i representam informações adquiridas durante o diálogo.

Podem ocorrer situações onde K_i e KO_i sejam inconsistentes, por exemplo, contendo $\neg\eta[d_p(x)]$ e $\eta[d_p(x)]$. Neste caso, o conhecimento em Σ_i é revogável:

- Caso $\neg\eta[d_p(x), d_q(x)] \in K_i$ e $\eta[d_p(x)] \in KO_i$, com $x > 0$, o agente sabe que η foi aceita pelo grupo no diálogo d_p e que $\neg\eta$ foi aceita pelo grupo tanto no diálogo d_p quanto no d_q . Em diálogos sobre outras alternativas de decisão, por exemplo, d_r , o agente prefere $\neg\eta$, já que $\neg\eta \in K_i$;

² O nível de consenso de uma fórmula será -1 apenas se o agente ag_i emissor do argumento possuir $ex_i = 0$.

- Quando existe a falta de consenso do grupo sobre a fórmula η , ou seja, quando $cl(\eta) < \sigma$, apenas os agentes que conhecem esta fórmula devem atualizá-la a fim de incorporar a anotação indicando que não existe consenso do grupo sobre ela quando relacionada a alternativa de decisão d_p . Desta forma, a fórmula η será atualizada para $\eta[d_p(0)]$. Esta fórmula não poderá ser utilizada pelo agente no diálogo sobre d_p , pois os argumentos construídos serão não aprovados. No entanto, esta fórmula continua sendo aceita em outros diálogos.

Exemplo 12. (*Nível de Consenso*) Sejam $\mathcal{AG} = \{ag_1, ag_2, ag_3, ag_4, ag_5, ag_6\}$, $\mathcal{EX} = \{0.22, 0.39, 0.09, 0.09, 0.04, 0.17\}$ e $\mathcal{D} = \{d_1\}$ elementos de um FCC. Em algum momento durante o diálogo sobre a alternativa de decisão d_1 com $\sigma = 0.1$, o agente ag_5 envia o argumento $\langle \{a, a \rightarrow b\}, b \rangle$ atacando algum argumento já apresentado anteriormente no diálogo que afirma $\neg b$:

- Quando $Support[a] = \{ag_1, ag_3, ag_6\}$ e $Reject[a] = \{ag_2\}$, tem-se que $cl(a) = 0.13$ e $cl(a) \geq \sigma$ indicando que a fórmula $\eta = a$ foi consensualmente aceita pelo grupo. Os agentes que não conhecem esta fórmula (ex.: ag_4) e aqueles que a rejeitam (ex.: ag_2) devem aceitá-la. Desta forma, a fórmula $a[d_1(0.13)]$ será incluída nas bases de conhecimento KO_2 e KO_4 , e os agentes ag_1, ag_3, ag_5 e ag_6 que já a conhecem, devem atualizá-la em suas respectivas bases de conhecimento com $a[d_1(0.13)]$;
- Quando $Support[a \rightarrow b] = \{\}$ e $Reject[a \rightarrow b] = \{ag_3, ag_4\}$, tem-se que $cl(a \rightarrow b) = -0.14$ e $cl(a \rightarrow b) < \sigma$ indicando que não existe consenso no grupo sobre a fórmula $a \rightarrow b$. Os agentes que conhecem esta fórmula (ex.: ag_1, ag_2 e ag_6) devem atualizá-la com $a \rightarrow b[d_1(0)]$;
- Quando $Support[b] = \{\}$ e $Reject[b] = \{ag_3, ag_4\}$, tem-se que $cl(b) = 0.04$ e $cl(b) < \sigma$ indicando que não existe consenso do grupo sobre esta fórmula. Os agentes que a conhecem devem atualizá-la incorporando a anotação $b[d_1(0)]$.

3.5 Força intrínseca dos argumentos

Os valores que indicam o nível de consenso em cada fórmula de um argumento podem ser utilizados para calcular a força intrínseca deste argumento, também conhecida como valoração intrínseca (CAYROL; LAGASQUIE-SCHIEX, 2005).

Definição 16. (*Força intrínseca*) A força intrínseca de um argumento consiste em um valor que é baseado na média dos valores dos níveis de consenso sobre cada fórmula deste argumento, independentemente da sua interação com outros argumentos no diálogo.

A força intrínseca de um argumento diz respeito apenas à sua estrutura interna, sem considerar as relações de ataques recebidos. Seja $length : AR \rightarrow \mathbb{N}$ uma função que

retorna o tamanho de um argumento arg , ou seja, o número de fórmulas na premissa e na conclusão. A força intrínseca de um argumento é obtida de acordo com a função $is : AR \rightarrow [0, 1]$ conforme apresentado na Equação 2, sendo 1 o valor para um argumento com máxima força intrínseca e zero, mínima força.

$$is(arg) = \left(\frac{\sum_{\eta \in split(arg)} cl(\eta)}{length(arg)} + 1 \right) * 0.5 \quad (2)$$

Exemplo 13. (Cálculo da força intrínseca) Seja $arg = \langle \{a, a \rightarrow b\}, b \rangle$ um argumento onde o nível de consenso para cada fórmula seja: $cl(a) = 0.13$, $cl(a \rightarrow b) = -0.14$ e $cl(b) = -0.53$. A força intrínseca deste argumento é $is(arg) = 0.41$.

3.6 Modelo de diálogos

O agente mediador é o responsável por conduzir o processo de diálogo envolvendo o grupo de agentes argumentativos. Além de manipular as estruturas WB e $AGENDA$, o mediador cria uma tabela de diálogo para cada alternativa de decisão. A primeira linha de cada tabela de diálogo contém o argumento inicial que é utilizado como ponto de partida no diálogo. Ao informar este argumento inicial ao grupo de agentes, o diálogo é então efetivamente iniciado. Os agentes argumentativos informam seus apoios ou rejeições em cada fórmula de cada argumento na tabela de diálogo, além de buscar por contra-argumentos em suas bases de conhecimento.

O modelo de diálogos para a identificação do nível de consenso nas fórmulas dos argumentos e formação do conhecimento comum é resumido na Figura 6, onde retângulos com cantos arredondados indicam ações executadas pelo agente mediador e agentes argumentativos, retângulos indicam parâmetros necessários para a execução das ações, retângulos com linhas pontilhadas indicam iterações, losangos representam nós de decisão, círculo claro indica o estado inicial do diálogo e círculo escuro indica o estado final do diálogo.

Inicialmente é realizada a configuração para a execução de um diálogo argumentativo. Para este diálogo, é necessário que a $AGENDA$, WB e tabela de diálogo $dt_i \in DT$ para o assunto $d_i \in \mathcal{D}$ estejam criadas. A partir do argumento inicial, os agentes argumentativos informam seus apoios e rejeições sobre a alternativa de decisão sendo discutida pelo grupo. Os agentes argumentativos buscam por contra-argumentos, armazenando-os em suas respectivas bases S_i para serem emitidos ao grupo. Os agentes que possuem argumentos a serem emitidos são inscritos em WB e o processo de diálogo é inicializado. O agente que ocupa a primeira posição na lista WB emite seus argumentos e estes argumentos são armazenados na $AGENDA$. Cada argumento emitido será discutido pelo grupo e, para cada argumento, ocorre uma avaliação de cada fórmula pertencente a este argumento.

Nesta avaliação, os agentes argumentativos informam seus apoios e rejeições para a fórmula sendo avaliada e caso a fórmula seja aceita pela maioria dos agentes, ela se torna conhecimento comum. A força intrínseca do argumento discutido é então calculada e os agentes argumentativos buscam por contra-argumentos atacando o argumento atual. Após a discussão de todos os argumentos da *AGENDA*, os agentes que ainda possuem argumentos para serem emitidos ao grupo são incluídos em *WB* (os agentes podem ocupar apenas uma posição na lista em um determinado instante). O diálogo é finalizado quando todos os argumentos da *AGENDA* foram discutidos pelo grupo e não existam mais agentes inscritos em *WB*.

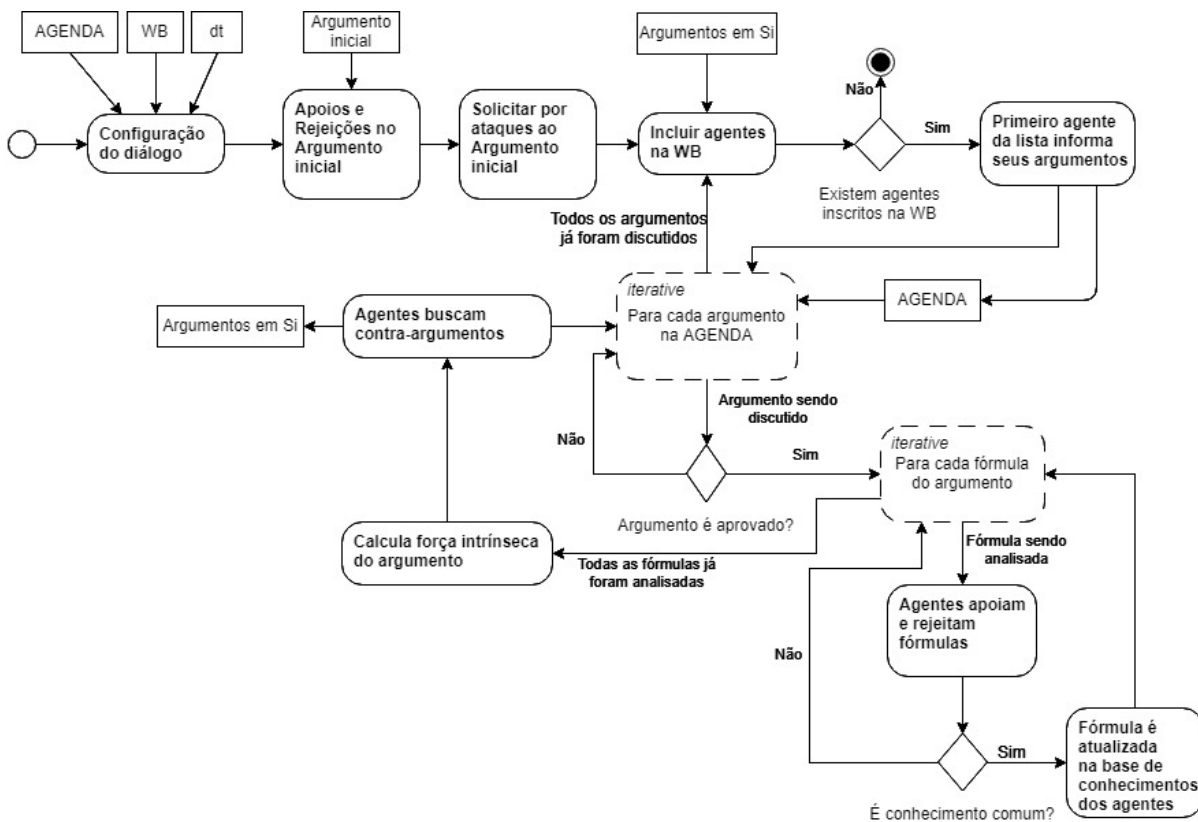


Figura 6 – Ações envolvidas no Diálogo e Formação do Conhecimento Comum.

O Algoritmo 1 apresenta o modelo de diálogos para a identificação do nível de consenso nas fórmulas dos argumentos e formação do conhecimento comum desempenhado pelo agente mediador. As ações desempenhadas pelo agente *med* são:

- **createWhiteboard()**: inicialização da estrutura *WB* que armazenará a lista de agentes argumentativos que possuem argumentos a serem emitidos ao grupo;
- **createAgenda()**: inicialização da estrutura *AGENDA* que armazenará os argumentos enviados por um agente argumentativo para serem discutidos pelo grupo;

Algoritmo 1 Modelo de Diálogo para Formação do Conhecimento Comum

```

1: procedure DIALOGUE( $d$ )
2:    $wb \leftarrow$  createWhiteboard()
3:    $dt \leftarrow$  createDialogueTable( $d$ )
4:    $agenda \leftarrow$  createAgenda()
5:    $stPoint \leftarrow$  createStartPoint( $d$ )
6:    $\gamma \leftarrow$  dtAddArgument( $dt, med, stPoint, null$ )
7:   broadcastArgument( $stPoint, \gamma$ )
8:    $support \leftarrow$  broadcastAskInfAgreement( $d, d$ )
9:    $reject \leftarrow$  broadcastAskInfRejection( $d, d$ )
10:  wait( $t, 1$ )
11:   $x \leftarrow$  cl( $null, support, reject$ )
12:  dtUpdate( $dt, \gamma, d, support, reject, x$ )
13:  dtUpdate( $dt, \gamma, is(stPoint)$ )
14:  broadcastAttack()
15:  wait( $t, 2$ )
16:  addWhiteboard( $wb, broadcastAskSpeak()$ )
17:  while not(emptyWhiteboard( $wb$ )) do
18:     $currentAgent \leftarrow$  getWhiteboard( $wb, 0$ )
19:     $listArgs \leftarrow$  askArguments( $currentAgent$ )
20:    fillAgenda( $agenda, listArgs$ )
21:    for all  $a \in agenda$  do
22:      if checkArguments( $a$ ) then
23:         $\gamma \leftarrow$  dtAddArgument( $dt, currentAgent, a, getAttack(a)$ )
24:        broadcastArgument( $a, \gamma$ )
25:         $formulasArgument \leftarrow$  split( $a$ )
26:        for all  $\eta \in formulasArgument$  do
27:           $support \leftarrow$  broadcastAskInfAgreement( $\eta$ )
28:           $reject \leftarrow$  broadcastAskInfRejection( $\eta$ )
29:          wait( $t, 1$ )
30:           $x \leftarrow$  cl( $currentAgent, support, reject$ )
31:          dtUpdate( $dt, \gamma, \eta, support, reject, x$ )
32:          if  $b \geq \sigma$  then
33:            broadcastLearn( $\eta, d, x$ )
34:          else
35:            broadcastInform( $\eta, d, 0$ )
36:          end if
37:        end for
38:        dtUpdate( $dt, \gamma, is(a)$ )
39:        broadcastAttack()
40:        wait( $t, 2$ )
41:      end if
42:    end for
43:    updateWhiteboard( $wb$ )
44:    addWhiteboard( $wb, broadcastAskSpeak()$ )
45:  end while
46: end procedure

```

- **createDialogueTable(d)**: criação da estrutura dt que representa uma tabela de diálogo sobre o assunto d . Esta tabela armazenará cada argumento aprovado presente na *AGENDA*;
- **createStartPoint(d)**: criação do argumento inicial que representa o ponto de partida para um diálogo cuja conclusão do argumento seja o assunto d ;
- **dtAddArgument(dt, ag, arg, δ)**: uma nova linha é inserida na tabela de diálogo dt contendo o agente emissor do argumento ag , o argumento emitido arg e a relação de ataque δ indicando qual a linha γ da tabela que contém o argumento sendo atacado;
- **addWhiteboard($wb, agents$)**: a estrutura que armazena a lista de agentes argumentativos WB é atualizada, registrando os agentes que possuem argumentos a serem emitidos ao grupo para discussão. Um agente pode ocupar apenas uma posição nesta lista em um dado instante;
- **getWhiteboard($wb, índice$)**: obtenção do agente que ocupa a posição *índice* na estrutura que armazena a lista de agentes argumentativos WB ;
- **updateWhiteboard(wb)**: a lista WB é atualizada, removendo o agente que ocupava a primeira posição nesta lista (o agente já emitiu todos os seus argumentos), habilitando o próximo agente a enviar seus argumentos na próxima rodada de falas;
- **dtUpdate($dt, \gamma, \eta, Support, Reject, cl(\eta)$)**: a tabela de diálogo dt é atualizada na linha γ , inserindo os agentes que apoiaram e rejeitaram a fórmula η , além do nível de consenso $cl(\eta)$ desta fórmula;
- **dtUpdate($dt, \gamma, is(arg)$)**: a tabela de diálogo dt é atualizada na linha γ inserindo a força intrínseca do argumento arg a que se refere esta linha;
- **fillAgenda($agenda, listArgs$)**: a *AGENDA* é preenchida com todos os argumentos enviados por um agente argumentativo;
- **checkArguments($agenda$)**: os argumentos na *AGENDA* são verificados a fim de garantir que apenas argumentos aprovados sejam inseridos na tabela de diálogo. Além de garantir que apenas argumentos aprovados sejam discutidos pelo grupo, a verificação também garante que todos os argumentos possuam algum tipo de relação com o diálogo atual (ex.: relação de ataque *undercut* ou *rebuttal* com outros argumentos já apresentados no diálogo anteriormente);

O Algoritmo 1 também define um conjunto de funções que representam as requisições e respostas usadas na comunicação entre os agentes argumentativos e o agente mediador, tais como:

- **broadcastArgument**(arg, γ): o agente *med* informa ao grupo de agentes argumentativos que existe um novo argumento a ser analisado. Cada agente $ag_i \in \mathcal{AG}$ armazena este argumento em sua base A_i . O parâmetro γ representa a linha na tabela de diálogo atual que contém o argumento informado ao grupo.
 - Mensagem transmitida: $\langle [lista_de_agentes], achieve, Argument(arg, \gamma) \rangle$.
 - Pré-condição: Uma nova linha na tabela de diálogo é inserida por *med* (função: $dtAddArgument(dt, ag, arg, \delta)$).
 - Efeito: $\forall ag_i \in \mathcal{AG}, A_i = arg + \gamma$ (função $Argument(arg, \gamma)$ é executada nos agentes argumentativos).

- **broadcastAttack**(\emptyset): o agente *med* solicita ao grupo de agentes argumentativos para que eles busquem por contra-argumentos. Os argumentos encontrados em $\mathcal{A}(\Sigma_i)$ são armazenados nas bases S_i de cada agente argumentativo. Após a busca por contra-argumentos, os agentes argumentativos removem o argumento armazenado na base A_i .
 - Mensagem transmitida: $\langle [lista_de_agentes], achieve, Attack(\emptyset) \rangle$.
 - Pré-condição: base A_i dos agentes argumentativos deve possuir algum argumento.
 - Efeito: a base S_i de cada agente argumentativo conterá os contra-argumentos encontrados e $A_i = \emptyset$.

- **wait**(t, x): o agente *med* faz uma pausa para que os agentes argumentativos possam buscar por contra-argumentos (valor $x = 2$) ou busca por informações de apoio ou rejeição (valor $x = 1$). O parâmetro t corresponde ao limite de tempo definido no *FCC*.
 - Mensagem transmitida: $\langle [lista_de_agentes], achieve, Timeout(2) \rangle$ ou $\langle [lista_de_agentes], achieve, Timeout(1) \rangle$.
 - Pré-condição: os agentes argumentativos estejam buscando por argumentos ou informações de apoio ou rejeições.
 - Efeito: (i) para $x = 2$, a base S_i de cada agente argumentativo conterá os contra-argumentos encontrados e $A_i = null$; ou (ii) para $x = 1$, a lista de agentes que apoiam e rejeitam uma determinada fórmula contém os agentes que forneceram respostas no tempo determinado.

- **broadcastAskSpeak**(\emptyset): o agente *med* solicita ao grupo quais agentes argumentativos possuem argumentos a serem emitidos. Agentes com $S_i \neq \emptyset$ respondem a esta requisição solicitando sua inscrição na lista de agentes *WB*.

- Mensagem transmitida: $\langle [lista_de_agentes], query-if, AskSpeak() \rangle$.
 - Pré-condição: a função $broadcastAttack()$ deve ter sido executada para que os agentes encontrem argumentos a serem emitidos.
 - Efeito: Agentes com a base $S_i \neq \emptyset$ respondem *true* e são inseridos em *WB*. Agentes com $S_i = \emptyset$ respondem *false* e não são inseridos em *WB*. Mensagens de resposta: $\langle med, confirm, true \rangle$ ou $\langle med, confirm, false \rangle$.
- **broadcastAskInfAgreement**(d, η): o agente *med* solicita ao grupo de agentes argumentativos quem apoia a fórmula η quando se referindo ao assunto d .
 - Mensagem transmitida: $\langle [lista_de_agentes], query-if, AskVotingAgreement(d, \eta) \rangle$.
 - Pré-condição: O argumento atual deve possuir a fórmula η .
 - Efeito: agente *med* recebe os informes dos agentes que apoiam η , armazenando-os em *support*. Agentes que apoiam η respondem *true*, os que não possuem informações sobre η respondem *false*. Mensagens de resposta: $\langle med, support, true \rangle$ ou $\langle med, support, false \rangle$.
 - **broadcastAskInfRejection**(d, η): o agente *med* solicita ao grupo de agentes argumentativos quem rejeita a fórmula η quando se referindo ao assunto d .
 - Mensagem transmitida: $\langle [lista_de_agentes], query-if, AskVotingRejection(d, \eta) \rangle$.
 - Pré-condição: O argumento atual deve possuir a fórmula η .
 - Efeito: agente *med* recebe os informes dos agentes que rejeitam η , armazenando-os em *reject*. Agentes que rejeitam η respondem *true*, os que não possuem informações sobre η respondem *false*. Mensagens de resposta: $\langle med, reject, true \rangle$ ou $\langle med, reject, false \rangle$.
 - **askArguments**(ag_i): o agente *med* solicita ao agente argumentativo ag_i (ocupante da primeira posição em *WB*) por seus argumentos. O agente ag_i envia a *med* todos os seus argumentos armazenados em S_i . Após o envio, a base S_i é esvaziada visto que todos os seus argumentos encontrados até o momento já foram encaminhados para discussão.
 - Mensagem transmitida: $\langle [lista_de_agentes], request, SendArguments() \rangle$.
 - Pré-condição: $WB \neq \emptyset$.
 - Efeito: agente *med* recebe a lista de argumentos de ag_i e armazena-os na *AGENDA*. Base $S_i = \emptyset$. Mensagens de resposta: $\langle med, response, [lista_de_argumentos] \rangle$.

- **broadcastLearn**($\eta, d, cl(\eta)$): o agente *med* informa ao grupo de agentes argumentativos que a fórmula η relacionada ao assunto d deve ser aceita como conhecimento comum (quando $cl(\eta) \geq \sigma$). Agentes que não conhecem η ($\eta \notin \Sigma_i$) devem incluí-la na base KO_i . Se a fórmula $\eta \in \Sigma_i$ e não possuir um rótulo para o diálogo atual, a anotação deverá ser incluída.
 - Mensagem transmitida: $\langle [lista_de_agentes], achieve, Learn(\eta, d, cl(\eta)) \rangle$.
 - Pré-condição: informações a favor e contra a fórmula η com $cl(\eta) \geq \sigma$.
 - Efeito: bases de conhecimentos Σ_i dos agentes argumentativos são atualizadas para incorporar a fórmula η que foi consensualmente aceita pelo grupo no diálogo sobre d com o nível de consenso $cl(\eta)$.
- **broadcastInform**($\eta, d, cl(\eta)$): o agente *med* informa ao grupo de agentes argumentativos que não existe consenso sobre a fórmula η quando relacionada ao assunto d (fórmula foi ignorada ou não aceita pelo grupo). Agentes com $\eta \in \Sigma_i$ deverão anotá-la, indicando que o valor de consenso para o assunto d é nulo ($\eta[d(0)]$).
 - Mensagem transmitida: $\langle [lista_de_agentes], achieve, Inform(\eta, d, 0) \rangle$.
 - Pré-condição: Informações a favor e contra a fórmula η com $cl(\eta) < \sigma$.
 - Efeito: apenas as bases de conhecimentos Σ_i dos agentes argumentativos que possuem $\eta \in \Sigma_i$ são atualizadas para incorporar a anotação de que esta fórmula não é conhecimento comum sobre d no grupo de agentes.

O Algoritmo 1 é executado pelo agente mediador. Após a configuração do diálogo (criação da WB , $AGENDA$, argumento inicial e informação de apoios e rejeições), o diálogo é iniciado. Todos os agentes argumentativos $arg_i \in \mathcal{AG}$ que possuem contra-argumentos a qualquer argumento apresentado anteriormente armazenam-os em suas respectivas bases S_i , solicitam sua inscrição em WB (quando requisitado), informam todos os argumentos em S_i (quando autorizados) e cada argumento informado é debatido pelo grupo (formação do conhecimento comum e cálculo da força intrínseca dos argumentos). O algoritmo é encerrado quando não existem mais agentes inscritos em WB ($WB = \emptyset$) e todos os argumentos apresentados ao grupo tenham sido discutidos pelo grupo ($AGENDA = \emptyset$).

As funções que os agentes argumentativos desempenham durante a comunicação com o agente mediador são apresentadas no Algoritmo 2. As funções definidas são:

- **hasAttack**(η): o agente verifica na base de conhecimentos Σ_i se existe algum argumento atacando a fórmula η ;
- **getAttack**(η): função usada para encontrar todos os argumentos que atacam η ;
- **addAttack**(S, att): todos os argumentos que atacam η são armazenados em S_i ;

Algoritmo 2 Ações desempenhadas pelos agentes argumentativos no diálogo com *med*

```

1: procedure ARGUMENT(arg, row)
2:   A ← arg
3:    $\gamma$  ← row
4: end procedure
5: procedure ATTACK(t)                                     ▷ Executado em Thread
6:   Thread(Attack){
7:     form ← split(A)
8:     for all  $\eta \in form$  do
9:       if hasAttack( $\eta$ ) then
10:        addAttack(S, getAttack( $\eta$ ))
11:       end if
12:     end for
13:   }
14: end procedure
15: function ASKSPEAK
16:   if S ≠ ∅ then
17:     return true
18:   end if
19:   return false
20: end function
21: function SENDARGUMENTS
22:   args ← S
23:   S ← ∅
24:   return args
25: end function
26: function ASKINFAGREEMENT( $\eta$ )                             ▷ Executado em uma Thread
27:   Thread(AskInfAgreement){
28:     if support( $\eta$ ) then
29:       return true
30:     end if
31:     return false
32:   }
33: end function
34: function ASKINFREJECTION( $\eta$ )                             ▷ Executado em uma Thread
35:   Thread(AskInfRejection){
36:     if reject( $\eta$ ) then
37:       return true
38:     end if
39:     return false
40:   }
41: end function
42: procedure LEARN( $\eta$ , d, x)
43:   if hasK( $\eta$ ) ∧ label(K,  $\eta$ , d) = null then
44:     updateK( $\eta$ , d, x)
45:   else if not(hasKO( $\eta$ )) then
46:     addKO( $\eta$ , d, x)
47:   else if hasKO( $\eta$ ) ∧ label(KO,  $\eta$ , d) = null then
48:     updateKO( $\eta$ , d, x)
49:   end if
50: end procedure
51: procedure INFORM( $\eta$ , d, x)
52:   if hasK( $\eta$ ) then
53:     updateK( $\eta$ , d, x)
54:   end if
55: end procedure
56: procedure TIMEOUT(x)
57:   if x = 1 then
58:     suspendThread(AskInfAgreement)
59:     suspendThread(AskInfRejection)
60:   else if x = 2 then
61:     suspendThread(Attack)
62:     A ← ∅
63:   end if
64: end procedure

```

- **support**(η): função usada para verificar se o agente apoia a fórmula η ;
- **reject**(η): função usada para verificar se o agente rejeita η ;
- **hasK**(η): função que busca pela fórmula η na base K_i ;
- **hasKO**(η): função que busca pela fórmula η na base KO_i ;
- **label**(Σ, η, d): função que busca se existe um rótulo para d na fórmula η ;
- **updateK**(η, d, b): função que atualiza a fórmula $\eta[d(b)]$ na base K_i ;
- **updateKO**(η, d, b): função que atualiza a fórmula $\eta[d(b)]$ na base KO_i ;
- **addKO**(η, d, b): função que atualiza a base KO_i adicionando uma nova fórmula $\eta[d(b)]$;
- **suspendThread**(x): função utilizada para encerrar a execução de um fluxo de instruções paralelo (thread), podendo ser: busca por contra-argumentos, informe de apoio ou rejeição a uma fórmula.

3.7 Conclusão

Propôs-se neste capítulo um framework para formação do conhecimento comum em que, por meio de diálogos com troca de mensagens contentoras de argumentos logicamente relacionados, um grupo de agentes argumentativos discute sobre um conjunto de alternativas de decisão. Cada agente possui uma base de conhecimentos composta por fórmulas que representam crenças (fatos e regras). Argumentos podem ser construídos com base em tais fórmulas, assim como a informação favorável ou contrária a determinada fórmula de argumento emitido por outros agentes. O agente mediador é o centralizador do diálogo, responsável por conduzir de forma organizada a troca de argumentos entre os agentes argumentativos, calcular a força intrínseca dos argumentos e, por meio de um valor limiar, determinar que fórmulas devem ser aceitas pelo grupo como conhecimento comum.

O próximo capítulo apresenta o modelo proposto para a tomada de decisão consensual. A partir de uma tabela de diálogo que contenha o conjunto de argumentos a respeito de uma alternativa de decisão, um grafo de argumentos é criado. Semânticas são propostas para identificar os argumentos mais fortes e influenciadores na tomada de decisão.

4 Modelo para tomada de decisão consensual

A partir de um conjunto de tabelas de diálogo, obtém-se um conjunto de frameworks de argumentação e efetua-se uma análise dos argumentos emitidos em cada diálogo para determinar o quanto cada alternativa de decisão é preferida pelo grupo. Neste capítulo, apresenta-se o modelo proposto para a tomada de decisão consensual que é motivado pelos pressupostos descritos a seguir.

Cada argumento emitido durante o diálogo possui um conjunto de fórmulas. Cada uma destas fórmulas recebe apoios e rejeições, resultando no nível de consenso do grupo sobre elas. Este nível de consenso, baseado na *expertise* dos agentes, é usado para determinar quando uma fórmula deve ser considerada conhecimento comum. Os níveis de consenso de cada fórmula de um argumento são utilizados para o cálculo da sua força intrínseca. A força intrínseca representa o quanto um argumento é tido como aceito pelo grupo de agentes. Entretanto, cada argumento também pode ser atacado por um conjunto de contra-argumentos, fazendo com que seja enfraquecido, e, portanto, tendo uma menor influência na tomada de decisão. Desta forma, é importante a análise da força global dos argumentos em um framework de argumentação considerando tanto a força intrínseca dos argumentos, como todas as relações de ataques recebidas.

Na teoria da decisão por consenso (DAY; MCMORRIS, 2003; DYER et al., 2009; SINGH; BENYOUCEF, 2013), todas as opiniões dos participantes devem ser apresentadas ao grupo e todas as alternativas de decisão devem ser debatidas. Assim, precisa-se analisar o conjunto de argumentos emitidos durante o diálogo para cada alternativa de decisão. Como estes argumentos possuem uma força intrínseca e uma global, são necessários mecanismos capazes de obter o conjunto de argumentos mais aceitos em um diálogo e determinar o nível de preferência do grupo sobre cada alternativa de decisão, ou seja, determinar uma medida que represente o quanto uma alternativa de decisão é preferida quando comparada às outras.

Pelos motivos elencados, apresenta-se (i) o procedimento de mapeamento das tabelas de diálogos para grafos de argumentos; (ii) a forma de calcular a força global dos argumentos; e (iii) a elaboração de semânticas para análise dos argumentos e determinação do nível de preferência do grupo sobre cada alternativa de decisão.

4.1 Grafo de argumentos

Durante o diálogo, os agentes podem enviar argumentos ou contra-argumentos (BESNARD et al., 2014). Após o diálogo, tem-se o conjunto de argumentos $AR =$

$\{arg_1, \dots, arg_z\}$ com $z > 0$. O conjunto AR pode ser mapeado em um framework abstrato de argumentos onde todas as possíveis relações de ataques são identificadas, já que durante o diálogo, cada argumento é construído e emitido para atacar apenas um argumento previamente apresentado ao grupo. Os frameworks abstratos de argumentação possuem dois papéis fundamentais: representar os argumentos de forma abstrata (onde os argumentos são os vértices no grafo e as arestas representam as relações de ataque) e a possibilidade de se obter o conjunto de extensões que são definidas por uma semântica de um framework de argumentação. Uma extensão é uma representação de uma posição de aceitabilidade em relação a um conjunto de argumentos (CRAVEN; TONI, 2016). Os frameworks abstratos de argumentação são representados conforme Definição 1.

Cada tabela de diálogo $dt_p \in DT$ é mapeada para exatamente um framework abstrato de argumentação AF . Seja $\mathcal{AF} = \{AF_1, \dots, AF_m\}$ o conjunto de todos os grafos de argumentação obtidos a partir das tabelas de diálogos em DT . O processo de mapeamento deve executar as seguintes atividades:

1. Cada linha em uma tabela de diálogo representa exatamente um argumento. Cada argumento é um vértice no grafo de argumentos;
2. O campo δ que indica qual argumento está sendo atacado na tabela de diálogo representa uma aresta direcionada que faz a ligação entre dois argumentos: o atacante (o argumento da linha γ sendo analisado) e o atacado (o argumento na linha δ com $\gamma > \delta$ que já foi analisado previamente);
3. Podem existir outras relações de ataque entre argumentos envolvendo diferentes linhas na tabela de diálogo devido ao dinamismo da argumentação. O agente *med* deve analisar cada argumento na tabela de diálogo para assegurar que o grafo contenha todas as possíveis relações de ataque (*undercut* e *rebuttal*);
4. Um ataque por *undercut* representa uma relação de ataque simples, onde a aresta tem origem no argumento atacante e destino no argumento atacado (ex.: $R(arg_1, arg_2)$), enquanto que o ataque por *rebuttal* é representado por duas relações simétricas (ex.: $R(arg_1, arg_2)$ e $R(arg_2, arg_1)$);
5. O primeiro argumento na tabela de diálogo (argumento inicial) representa uma alternativa de decisão e é um argumento construído pelo agente *med* apenas para iniciar um diálogo. Neste sentido, este argumento não ataca nenhum outro argumento, apenas recebe ataques.

O Algoritmo 3 no Apêndice A apresenta os passos necessários para o mapeamento de uma tabela de diálogo para seu grafo de argumentos correspondente. Tendo-se os grafos de argumentos, o processo de tomada de decisão consensual apresenta dois estágios adicionais

que são necessários para sugerir qual das alternativas de decisão é a mais preferida pelo grupo: cálculo da força dos argumentos e determinação do nível de preferência para cada alternativa de decisão.

Exemplo 14. A Tabela 6 apresenta o esboço de uma tabela de diálogo sobre a alternativa de decisão x que será mapeada para um grafo de argumentos. A Figura 7 apresenta o grafo de argumentos correspondente ao mapeamento:

- Inicialmente, o agente *med* insere o argumento inicial $arg_0 = \langle \{TRUE\}, x \rangle$;
- O agente ag_1 possui o contra-argumento $arg_1 = \langle \{a, a \rightarrow \neg x\}, \neg x \rangle$ atacando arg_0 ;
- O agente ag_2 possui dois contra-argumentos $arg_2 = \langle \{b, b \rightarrow x\}, x \rangle$ e $arg_3 = \langle \{c, c \rightarrow \neg a\}, \neg a \rangle$ atacando arg_1 ;
- Por fim, o agente ag_3 possui o contra-argumento $arg_4 = \langle \{a, a \rightarrow \neg c\}, \neg c \rangle$ atacando arg_3 .

No mapeamento:

- Os argumentos são $AR = \{arg_0, arg_1, arg_2, arg_3, arg_4\}$;
- Inicialmente, as relações de ataque são $R_{inicial} = \{(arg_1, arg_0), (arg_2, arg_1), (arg_3, arg_1), (arg_4, arg_3)\}$;
- As outras relações de ataque (*undercut* e *rebuttal*) encontradas são $R_{extras} = \{(arg_1, arg_2), (arg_3, arg_4)\}$;
- Temos que $R = R_{inicial} \cup R_{extras}$.

Tabela 6 – Exemplo de tabela de diálogo dt_x sobre a alternativa de decisão x .

γ	ag	arg	δ	SUPPORT	REJECT	cl	is
0	<i>med</i>	$\langle \{TRUE\}, x \rangle$	–	$x = \{\dots\}$	$x = \{\dots\}$	$x = \dots$...
1	ag_1	$\langle \{a, a \rightarrow \neg x\}, \neg x \rangle$	0	$a = \{\dots\}$ $a \rightarrow \neg x = \{\dots\}$ $\neg x = \{\dots\}$	$a = \{\dots\}$ $a \rightarrow \neg x = \{\dots\}$ $\neg x = \{\dots\}$	$a = \{\dots\}$ $a \rightarrow \neg x = \{\dots\}$ $\neg x = \{\dots\}$...
2	ag_2	$\langle \{b, b \rightarrow x\}, x \rangle$	1	$b = \{\dots\}$ $b \rightarrow x = \{\dots\}$ $x = \{\dots\}$	$b = \{\dots\}$ $b \rightarrow x = \{\dots\}$ $x = \{\dots\}$	$b = \{\dots\}$ $b \rightarrow x = \{\dots\}$ $x = \{\dots\}$...
3	ag_2	$\langle \{c, c \rightarrow \neg a\}, \neg a \rangle$	1	$c = \{\dots\}$ $c \rightarrow \neg a = \{\dots\}$ $\neg a = \{\dots\}$	$c = \{\dots\}$ $c \rightarrow \neg a = \{\dots\}$ $\neg a = \{\dots\}$	$c = \{\dots\}$ $c \rightarrow \neg a = \{\dots\}$ $\neg a = \{\dots\}$...
4	ag_3	$\langle \{a, a \rightarrow \neg c\}, \neg c \rangle$	3	$a = \{\dots\}$ $a \rightarrow \neg c = \{\dots\}$ $\neg c = \{\dots\}$	$a = \{\dots\}$ $a \rightarrow \neg c = \{\dots\}$ $\neg c = \{\dots\}$	$a = \{\dots\}$ $a \rightarrow \neg c = \{\dots\}$ $\neg c = \{\dots\}$...

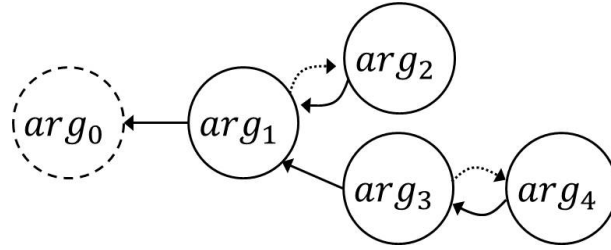


Figura 7 – Grafo de argumentos mapeado a partir da tabela de diálogo dt_x apresentada na Tabela 6. Vértice com linha tracejada representa o argumento inicial do diálogo. Arestas pontilhadas representam relações de ataque adicionais identificadas no mapeamento.

4.2 Força global dos argumentos

Enquanto a força intrínseca de um argumento (Seção 3.5) considera o conjunto dos níveis de consenso sobre as fórmulas deste argumento, a força global, também conhecida como avaliação baseada em interações (CAYROL; LAGASQUIE-SCHIEUX, 2005), lida com as relações de ataque entre os argumentos. Assim como as informações de rejeição nas fórmulas de um argumento, os contra-argumentos também representam um efeito negativo, enfraquecendo o argumento. A força global de um argumento leva em consideração seus atacantes (os contra-argumentos), os atacantes de seus atacantes (seus defensores), e assim por diante.

Definição 17. (Força global) *Seja $os : AR \rightarrow [0, 1]$ uma função que calcula a força global de um argumento. A força global de um argumento é uma medida que representa a sua importância quando comparado a outros argumentos em um grafo de argumentos.*

Seja $attack : AR \rightarrow AR^{\leftarrow}$ com $AR^{\leftarrow} \subseteq AR$ uma função que retorna o conjunto de todos os argumentos que atacam o argumento arg_i em R , ou seja, $attack(arg_i) = arg_j \in AR \mid R(arg_j, arg_i)$. Para o cálculo da força global de arg_i , são consideradas a força intrínseca do argumento arg_i juntamente com as forças globais de todos os argumentos $arg_j \in attack(arg_i)$, conforme apresentado na Equação 3, uma extensão da semântica h -categorizer proposta por Besnard e Hunter (2001) e Amgoud et al. (2017).

$$os(arg_i) = \frac{is(arg_i)}{1 + \sum_{arg_j \in attack(arg_i)} os(arg_j)} \quad (3)$$

Para calcular a força global de todos os argumentos, usa-se o método iterativo inspirado em Pereira, Tettamanzi e Villata (2011), pois permite o cálculo da força global dos argumentos em grafos cíclicos. Tem-se que $AR' = AR \setminus arg_0$ representa o conjunto de argumentos excluindo-se o argumento inicial; $time_0$ representa o valor inicial da força global de todos os argumentos em AR' ; e $time_z$ se refere ao cálculo da força global obtida

após a z -ésima iteração. O resultado é independente da ordem de processamento dos argumentos.

Definição 18. (*Método iterativo*) Seja $time_z$ o processo de atribuir a força global para todos os argumentos em AR' de um grafo de argumentos. Uma iteração no tempo $time_z$ é realizada através do cálculo de uma nova força global $time_{z+1}$ para todos os argumentos em AR' . Refere-se ao processo de cálculo da força global de um argumento arg_i na iteração z como $os(arg_i)^z$. A solução para o método iterativo é obtida quando $os(arg_i)^z = os(arg_i)^{z+1}$ para todos os argumentos em AR' , e sempre converge em tempo linear (conforme prova apresentada em (PEREIRA; TETTAMANZI; VILLATA, 2011)).

Exemplo 15. Seja um framework abstrato de argumentação $AF = \langle \{arg_0, arg_1, arg_2, arg_3, arg_4, arg_5, arg_6\}, \{(arg_1, arg_0), (arg_2, arg_1), (arg_3, arg_1), (arg_1, arg_3), (arg_4, arg_1), (arg_5, arg_4), (arg_5, arg_6), (arg_6, arg_5)\} \rangle$, onde cada argumento possui uma força intrínseca conforme Figura 8. As iterações necessárias para se obter a força global para cada argumento são apresentadas na Tabela 7. A ordem usada para o cálculo segue do argumento arg_1 ao argumento arg_6 e a força global inicial para todos os argumentos é 0 no tempo $time_0$. O cálculo das forças globais é encerrado quando as duas últimas linhas da tabela apresentam os mesmos valores para cada argumento ($os(arg_i)^z = os(arg_i)^{z+1}$).

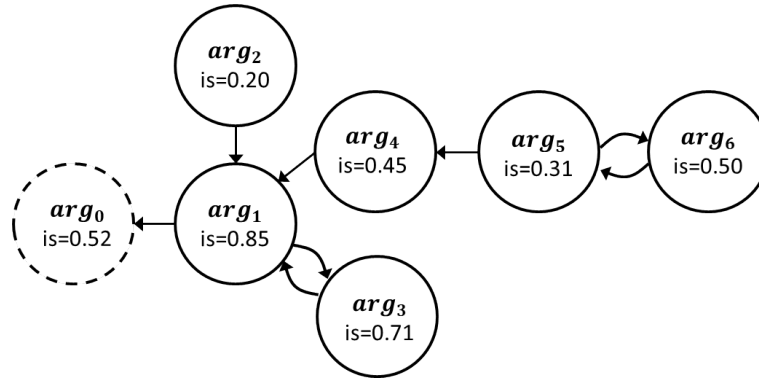


Figura 8 – Exemplo de framework abstrato de argumentação. Cada argumento possui uma força intrínseca relacionada. O vértice com linha tracejada representa o argumento inicial do diálogo.

Tabela 7 – Cálculo da força global dos argumentos (Figura 8).

$time_z$	arg_1	arg_2	arg_3	arg_4	arg_5	arg_6
0	0	0	0	0	0	0
1	0.85	0.20	0.38	0.45	0.31	0.38
2	0.42	0.20	0.50	0.34	0.22	0.41
3	0.42	0.20	0.50	0.37	0.22	0.41
4	0.41	0.20	0.50	0.37	0.22	0.41
5	0.41	0.20	0.50	0.37	0.22	0.41

4.3 Estratégias para tomada de decisão

Tomar decisões consensuais em uma sociedade de agentes implica em trabalho colaborativo, no qual todos os agentes trabalham para alcançarem seus próprios objetivos, mas ao mesmo tempo, devem agir cooperativamente em prol do sistema como um todo (DUNIN-KEPLICZ; VERBRUGGE, 2010). Como a tomada de decisão envolve o conhecimento e os objetivos individuais dos agentes, alguns conflitos de opiniões podem surgir (HUANG; YANG; HSIEH, 2018). Portanto, o consenso resultante de um processo de tomada de decisão não representa necessariamente um acordo total (unanimidade) sobre uma única alternativa de decisão (DYER et al., 2009; CONRADT; ROPER, 2009; CABRERIZO et al., 2015). Neste sentido, os agentes devem ser capazes de aceitar a decisão que for mais apoiada pelo grupo como um todo (BERGMAN et al., 2012). Para se estabelecer a ordem de preferência do grupo sobre as alternativas de decisão disponíveis, propõe-se duas semânticas: (i) semântica “Pro e Con” baseada na contagem dos argumentos favoráveis e contrários a alternativa em discussão; e (ii) semântica “Position” baseada em argumentos menos indecidíveis.

4.3.1 Semântica Pro e Con

Como em uma tomada de decisão consensual todos os argumentos ou opiniões devem ser considerados, é importante avaliá-los e identificar o nível de preferência do grupo para cada alternativa de decisão. A semântica “Pro e Con” é uma proposta para identificar o nível de preferência do grupo sobre as alternativas de decisão e ordená-las da mais preferida a menos preferida, levando em consideração o nível de consenso do grupo em cada argumento emitido em um diálogo.

Definição 19. (*Argumentos PRO*) Seja $PRO : \mathcal{D} \rightarrow 2^{AR^+}$ uma função que retorna todos os argumentos que defendem a alternativa de decisão candidata $d_p \in \mathcal{D}$ em um framework abstrato de argumentação. Argumentos que defendem uma alternativa de decisão são aqueles que possuem uma distância par ao longo do caminho simples mais curto até o vértice que representa o argumento inicial.

Definição 20. (*Argumentos CON*) Seja $CON : \mathcal{D} \rightarrow 2^{AR^-}$ uma função que retorna todos os argumentos que rejeitam a alternativa de decisão candidata $d_p \in \mathcal{D}$ em um framework abstrato de argumentação. Argumentos contrários a uma alternativa de decisão são aqueles que possuem uma distância ímpar ao longo do caminho simples mais curto até o vértice que representa o argumento inicial.

Para calcular o nível de preferência do grupo sobre uma alternativa de decisão, utiliza-se as funções $PRO(d_p)$ e $CON(d_p)$, conforme Equação 4. Quando $PRO(d_p) =$

$CON(d_p) = \emptyset$, o nível de preferência sobre uma alternativa de decisão será o valor da sua força intrínseca, visto que para este diálogo nenhum argumento foi fornecido.

$$pref(d_p) = \sum_{arg_i \in PRO(d_p)} os(arg_i) - \sum_{arg_i \in CON(d_p)} os(arg_i) \quad (4)$$

Dadas duas alternativas de decisão d_1 e d_2 com seus respectivos níveis de preferência $pref(d_1)$ e $pref(d_2)$, tem-se que:

- Se $pref(d_1) = pref(d_2)$, então d_1 é igualmente preferível a d_2 . Neste caso, a decisão entre d_1 e d_2 é aleatória;
- Se $pref(d_1) > pref(d_2)$, então d_1 é preferível a d_2 ;
- Se $pref(d_1) < pref(d_2)$, então d_2 é preferível a d_1 .

Definição 21. A semântica “Pro e Con” é uma função $\Omega = \mathcal{AF} \rightarrow \Delta$ onde Δ é um ordenamento parcial sobre \mathcal{D} computado por meio das funções PRO e CON que considera a preferência do grupo baseado no consenso dos argumentos apresentados em cada diálogo. A relação de ordem é denotada pelos símbolos $>$ e \doteq (preferível ou igualmente preferível, respectivamente). Sempre que $pref(d_1) > pref(d_2)$, tem-se que $d_1 > d_2$; para $pref(d_1) < pref(d_2)$, tem-se que $d_2 > d_1$; e para $pref(d_1) = pref(d_2)$, tem-se que $d_1 \doteq d_2$.

Exemplo 16. A Figura 9 apresenta três grafos de argumentos. Os argumentos são:

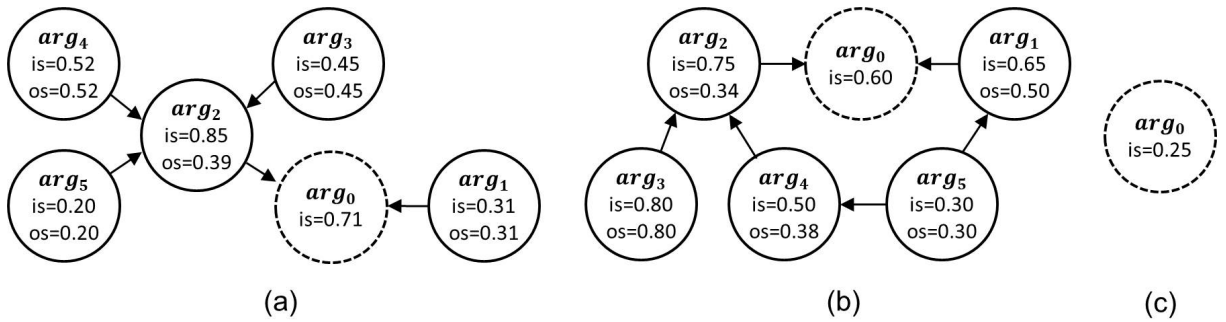


Figura 9 – Grafo de argumentos para as alternativas de decisão $\mathcal{D} = \{d_1, d_2, d_3\}$, com AF_1 representado em (a), AF_2 representado em (b), e AF_3 representado em (c). Vértices com linhas tracejadas representam os argumentos iniciais para cada diálogo.

- $PRO(d_1) = \{arg_3, arg_4, arg_5\}$, $CON(d_1) = \{arg_1, arg_2\}$, com $pref(d_1) = 0.47$;
- $PRO(d_2) = \{arg_3, arg_4, arg_5\}$, $CON(d_1) = \{arg_1, arg_2\}$, com $pref(d_2) = 0.64$;
- $PRO(d_3) = \emptyset$, $CON(d_1) = \emptyset$, com $pref(d_3) = 0.25$.

A semântica “Pro e Con” sugere que, como $\text{pref}(d_2) > \text{pref}(d_1)$ e $\text{pref}(d_1) > \text{pref}(d_3)$, a ordem de preferência do grupo sobre o conjunto de alternativas de decisão candidatas seja $\Omega(\mathcal{AF}) = \langle d_2, d_1, d_3 \rangle$.

4.3.2 Semântica Position

Inspirado no trabalho desenvolvido por Caminada (2006), esta semântica propõe o uso do rotulamento dos argumentos de forma que cada argumento do grafo de ataques receba um rótulo *in*, *out* ou *undec* (indeciso) de acordo com as suas interações com os outros argumentos. Estes rótulos são utilizados para especificar quais argumentos são aceitos (*in*) ou rejeitados (*out*), e quais argumentos não são aceitos nem rejeitados (*undec*) (RAHWAN; TOHMÉ, 2010). Seja $AF = \langle AR, R \rangle$ um framework abstrato de argumentação. Uma rotulagem de argumento é uma função total $\mathcal{L} : AR \rightarrow \{in, out, undec\}$ tal que (CAMINADA, 2006; CAMINADA, 2008):

- $\forall arg_i \in AR : (\mathcal{L}(arg_i) = out \equiv \exists arg_j \in AR \text{ tal que } (R(arg_j, arg_i) \text{ e } \mathcal{L}(arg_j) = in));$
- $\forall arg_i \in AR : (\mathcal{L}(arg_i) = in \equiv \forall arg_j \in AR : (\text{ se } R(arg_j, arg_i) \text{ então } \mathcal{L}(arg_j) = out));$
e,
- $\mathcal{L}(arg_i) = undec$ se nenhuma destas condições forem satisfeitas, já que \mathcal{L} é uma função total, ou seja, $\mathcal{L}(arg_i) = undec$ se nem todos arg_j de $R(arg_j, arg_i)$ tiverem $\mathcal{L}(arg_j) = out$ e não existir nenhum $\mathcal{L}(arg_j) = in$.

Nesta semântica, a rotulagem implica na percepção de que os argumentos com as forças globais mais altas (argumentos rotulados como *in*) são aceitáveis (ou parcialmente aceitáveis) e enfraquecem os argumentos que possuem uma força global menor (rotulados como *out*) que são atacados por eles. Com a rotulação, tem-se a situação em que um argumento mais fraco não é capaz de invalidar um argumento mais forte. Argumentos rotulados com *undec* são aqueles que possuem forças globais idênticas. Neste último caso, para decidir quais destes argumentos indecisos são preferíveis ao grupo, considera-se as forças intrínsecas destes argumentos. Os argumentos apenas são rotulados como *undec* quando ambas as forças intrínsecas e globais são as mesmas e não existem argumentos atacando-os que possuam rótulo *in*.

Seja $arg_i \in AR'$ um argumento onde i representa uma linha γ em alguma tabela de diálogo; seja $getAllNeighbors : AR' \rightarrow Neighbor$ uma função em que $Neighbor$ representa todos os vizinhos do argumento arg_i incluindo seus argumentos atacantes e seus argumentos atacados, ou seja, $Neighbor = arg_j \in AR' | R(arg_j, arg_i) \cup R(arg_i, arg_j)$; seja $getLabeledNeighbors : Neighbor \rightarrow LNeighbor$ uma função que retorna todos os vizinhos que possuem algum rótulo atribuído (*in*, *out* ou *undec*); e seja $ACC = AF \rightarrow INARGS$ uma função que retorna o conjunto de todos os argumentos rotulados como *in*

em um determinado framework abstrato de argumentação. Considere $MAX = \forall arg_j \in LNeighbor | os(arg_j) > os(arg_i)$ (todos os argumentos vizinhos com força global máxima) e $EQ = \forall arg_k \in LNeighbor | os(arg_k) = os(arg_i)$ (todos os argumentos vizinhos que possuam a mesma força global).

Definição 22. (Rotulamento de argumentos) Seja $AF_p = \langle AR, R \rangle$ um framework abstrato de argumentação mapeado a partir de uma tabela de diálogo $dt_p \in DT$. Uma rotulagem é uma função total $\mathcal{L} : AR' \rightarrow \{in, out, undec\}$ tal que:

1. $\nexists arg_j \in MAX \wedge \nexists arg_k \in EQ$, então $L(arg_i) = in$;
2. $\nexists arg_j \in MAX \wedge \exists arg_k \in EQ \wedge is(arg_i) = is(arg_k)$, então $L(arg_i) = undec$;
3. $\nexists arg_j \in MAX \wedge \exists arg_k \in EQ \wedge is(arg_i) > is(arg_k)$, então $L(arg_i) = in$;
4. $\nexists arg_j \in MAX \wedge \exists arg_k \in EQ \wedge is(arg_i) < is(arg_k)$, então $L(arg_i) = out$;
5. $\exists arg_j \in MAX | L(arg_j) = in$, então $L(arg_i) = out$;
6. $\forall arg_j \in MAX | L(arg_j) \in \{out, undec\}$, então $L(arg_i) = in$.

A rotulagem dos argumentos no conjunto AR' também faz uso do método iterativo semelhante ao cálculo da força global destes argumentos. Isso ocorre porque os argumentos possuem ligações entre eles e, quando um argumento é rotulado, seus vizinhos (ataques realizados e recebidos) precisam ser revisados. Seja $time_w$ o processo de rotular cada argumento $arg_i \in AR'$. O processo de rotular um argumento arg_i na iteração w é representado por $\mathcal{L}(arg_i)^w$. A última iteração ocorre quando $\mathcal{L}(arg_i)^w = \mathcal{L}(arg_i)^{w+1}$ para todos os argumentos em AR' .

Definição 23. Seja $POS : ACC \rightarrow \{-1, 1\}$ uma função que retorna 1 caso $arg_i \in ACC$ seja um argumento de apoio, ou -1 caso o argumento seja de rejeição. Argumentos de apoio são aqueles que possuem uma distância par ao longo do caminho simples mais curto até o vértice que representa o argumento inicial, enquanto que os argumentos de rejeição são aqueles que possuem distância ímpar ao longo do caminho simples mais curto até o vértice que representa o argumento inicial.

Para calcular o nível de preferência do grupo sobre uma alternativa de decisão d_p , é necessário calcular a posição do argumento aceito e descobrir se este argumento é de apoio ou rejeição, conforme Equação 5. Em um caso especial onde $AR' = \emptyset$, o nível de preferência do grupo corresponde à força intrínseca do argumento inicial do diálogo.

$$pref(d_p) = \sum_{arg_i \in ACC(AF_p)} POS(arg_i) * os(arg_i) \quad (5)$$

Para duas alternativas de decisão d_1 e d_2 com seus respectivos níveis de preferência $pref(d_1)$ e $pref(d_2)$, tem-se que:

- Se $pref(d_1) = pref(d_2)$, então d_1 é igualmente preferível a d_2 . Neste caso, a decisão entre d_1 e d_2 é aleatória;
- Se $pref(d_1) > pref(d_2)$, então d_1 é preferível a d_2 ;
- Se $pref(d_1) < pref(d_2)$, então d_2 é preferível a d_1 .

Definição 24. A semântica *Position* é uma função $\Psi : \mathcal{AF} \rightarrow \Delta$ onde Δ é uma relação de ordem parcial sobre \mathcal{D} calculada por meio da função *POS* que leva em consideração a ordem de preferência do grupo baseado no consenso sobre os argumentos apresentados. A relação de ordem é representada pelos símbolos $>$ e \doteq (preferível ou igualmente preferível, respectivamente). Sempre que $pref(d_1) > pref(d_2)$, tem-se que $d_1 > d_2$; para $pref(d_1) < pref(d_2)$, tem-se que $d_2 > d_1$; e para $pref(d_1) = pref(d_2)$, tem-se que $d_1 \doteq d_2$.

Exemplo 17. Considere o grafo de argumentos na Figura 9(b). As iterações para a rotulagem dos argumentos são apresentadas na Tabela 8. Tem-se que:

- $\mathcal{L}(arg_1) = in$, $\mathcal{L}(arg_2) = out$, $\mathcal{L}(arg_3) = in$, $\mathcal{L}(arg_4) = in$, $\mathcal{L}(arg_5) = out$;
- $ACC = \{arg_1, arg_3, arg_4\}$;
- $POS(arg_1) = -1$, $POS(arg_3) = 1$ e $POS(arg_4) = 1$.

O nível de preferência para a alternativa de decisão d_2 é $pref(d_2) = 0.68$. Para as outras alternativas de decisão tem-se $pref(d_1) = 0.86$ e $pref(d_3) = 0.25$, indicando que a alternativa de decisão mais preferida pelo grupo foi d_1 , com $\Psi = \langle d_1, d_2, d_3 \rangle$.

Tabela 8 – Iterações para a rotulagem dos argumentos conforme grafo de argumentos da Figura 9(b).

$time_w$	arg_1	arg_2	arg_3	arg_4	arg_5
0	$Neighbor = \{arg_5\}$ $LNeighbor = \emptyset$ $MAX = \emptyset$ $EQ = \emptyset$ $\mathcal{L}(arg_1) = in$	$Neighbor = \{arg_3, ag_4\}$ $LNeighbor = \emptyset$ $MAX = \emptyset$ $EQ = \emptyset$ $\mathcal{L}(arg_2) = in$	$Neighbor = \{arg_2\}$ $LNeighbor = \{arg_2\}$ $MAX = \emptyset$ $EQ = \emptyset$ $\mathcal{L}(arg_3) = in$	$Neighbor = \{arg_2, arg_5\}$ $LNeighbor = \{arg_2\}$ $MAX = \emptyset$ $EQ = \emptyset$ $\mathcal{L}(arg_4) = in$	$Neighbor = \{arg_2, arg_4\}$ $LNeighbor = \{arg_1, arg_4\}$ $MAX = \{arg_1, arg_4\}$ $EQ = \emptyset$ $\mathcal{L}(arg_5) = out$
1	$Neighbor = \{arg_5\}$ $LNeighbor = \{arg_5\}$ $MAX = \emptyset$ $EQ = \emptyset$ $\mathcal{L}(arg_1) = in$	$Neighbor = \{arg_3, ag_4\}$ $LNeighbor = \{arg_3, ag_4\}$ $MAX = \{arg_3, ag_4\}$ $EQ = \emptyset$ $\mathcal{L}(arg_2) = out$	$Neighbor = \{arg_2\}$ $LNeighbor = \{arg_2\}$ $MAX = \emptyset$ $EQ = \emptyset$ $\mathcal{L}(arg_3) = in$	$Neighbor = \{arg_2, arg_5\}$ $LNeighbor = \{arg_2, arg_5\}$ $MAX = \emptyset$ $EQ = \emptyset$ $\mathcal{L}(arg_4) = in$	$Neighbor = \{arg_1, arg_4\}$ $LNeighbor = \{arg_1, arg_4\}$ $MAX = \{arg_1, arg_4\}$ $EQ = \emptyset$ $\mathcal{L}(arg_5) = out$
2	$Neighbor = \{arg_5\}$ $LNeighbor = \{arg_5\}$ $MAX = \emptyset$ $EQ = \emptyset$ $\mathcal{L}(arg_1) = in$	$Neighbor = \{arg_3, ag_4\}$ $LNeighbor = \{arg_3, ag_4\}$ $MAX = \{arg_3, ag_4\}$ $EQ = \emptyset$ $\mathcal{L}(arg_2) = out$	$Neighbor = \{arg_2\}$ $LNeighbor = \{arg_2\}$ $MAX = \emptyset$ $EQ = \emptyset$ $\mathcal{L}(arg_3) = in$	$Neighbor = \{arg_2, arg_5\}$ $LNeighbor = \{arg_2, arg_5\}$ $MAX = \emptyset$ $EQ = \emptyset$ $\mathcal{L}(arg_4) = in$	$Neighbor = \{arg_1, arg_4\}$ $LNeighbor = \{arg_1, arg_4\}$ $MAX = \{arg_1, arg_4\}$ $EQ = \emptyset$ $\mathcal{L}(arg_5) = out$

4.4 Conclusão

Este capítulo apresentou o modelo proposto para tomada de decisão consensual que recebe como entrada um conjunto de tabelas de diálogo e fornece como saída uma relação de ordem parcial indicando a preferência do grupo sobre o conjunto de alternativas de decisão disponíveis para a tomada de decisão. O modelo proposto sugere que inicialmente seja realizado um mapeamento de cada tabela de diálogo para um grafo de argumentos representado como um framework abstrato de argumentação. Em seguida, foi apresentado o mecanismo para o cálculo da força global dos argumentos. A força global difere-se da força intrínseca, onde a força intrínseca está fundamentada na estrutura interna dos argumentos e no nível de consenso do grupo sobre as fórmulas destes argumentos, enquanto que a força global está fundamentada na aceitabilidade dos argumentos analisando todos os ataques realizados e recebidos. Duas semânticas para a análise do conjunto de argumentos foram propostas. A semântica “Pro e Con” considera todos os argumentos apresentados pelo grupo durante um diálogo ao calcular o nível de preferência do grupo sobre cada alternativa de decisão. Já a semântica “Position” considera apenas os argumentos com maior aceitabilidade, onde o nível de preferência de cada alternativa de decisão é calculado utilizando apenas os argumentos que foram mais aceitos pelo grupo.

O próximo capítulo apresenta dois casos de estudo aplicando o modelo para tomada de decisões consensual baseado na formação do conhecimento comum por meio de argumentação.

5 Aplicação do modelo

Este capítulo tem por objetivo apresentar a aplicação do modelo proposto para a tomada de decisão consensual por meio da formação do conhecimento comum com o uso de argumentação. Dois casos de estudo são detalhados: (i) tomada de decisão consensual em um grupo de agentes que dialoga trocando argumentos para escolher qual linguagem de programação deve ser usada em um projeto de desenvolvimento de jogos; e (ii) tomada de decisão consensual entre um grupo de agentes para a escolha de qual ação um determinado robô deve executar em uma situação de resgate.

5.1 Caso 1: game design

Este caso de estudo envolve um grupo formado por quatro agentes argumentativos que precisam escolher, por consenso, qual linguagem de programação¹ é a mais apropriada para o desenvolvimento de um jogo para celulares. Existem muitos assuntos a serem considerados, tais como a escolha do software para desenvolvimento, questões sobre o projeto, sons, músicas, cores, animações, entre outros. Como o objetivo dos agentes é agir de forma cooperativa, o consenso é um fator importante para o acordo entre os membros do grupo. O framework pode ser inicialmente definido como:

$$\mathcal{FCC} = \langle \{ag_1, ag_2, ag_3, ag_4\}, \{0.30, 0.20, 0.35, 0.15\}, \{jack, king, ace\}, med, 10, 0.3 \rangle$$

$$ag_1 = \{\{a, a \rightarrow jack, e \rightarrow \neg b, m, m \rightarrow king, h, n \rightarrow king, \neg c, d \rightarrow ace, \neg q, \neg q \rightarrow \neg ace\}, \{\}\}$$

$$ag_2 = \{\{b, b \rightarrow \neg jack, g, g \rightarrow \neg jack, i, i \rightarrow king, j, j \rightarrow \neg m, \neg k, \neg c, \neg l, o, o \rightarrow ace, d, d \rightarrow ace, \neg q, \neg q \rightarrow \neg ace\}, \{\}\}$$

$$ag_3 = \{\{p, p \rightarrow jack, a, d, \neg g \rightarrow jack, n, n \rightarrow \neg king, h, k, h \wedge k \rightarrow king, d \rightarrow ace, q\}, \{\}\}$$

$$ag_4 = \{\{e, e \rightarrow \neg b, \neg a, d, \neg a \rightarrow \neg jack, c, c \rightarrow \neg king, m \rightarrow king, h \wedge k \rightarrow king, \neg q\}, \{\}\}$$

Os átomos nas bases de conhecimentos dos agentes representam as seguintes sentenças:

a: Jack é uma linguagem de programação robusta;

b: Jack causa um impacto negativo na velocidade dos jogos;

c: O ambiente de desenvolvimento usado para programar na linguagem King é difícil de usar;

d: Ace é uma linguagem de programação robusta;

e: Existe uma nova versão da linguagem Jack;

q: A linguagem Ace possui um bom manual de usuário;

¹ As linguagens de programação citadas são fictícias, apenas usadas a fim de demonstração do diálogo e tomada de decisão no grupo de agentes.

- g*: A linguagem Jack apresenta problemas com gráficos;
h: A linguagem King é nova;
i: King é uma linguagem de programação robusta;
j: Precisa-se de muito código para produzir boas animações em King;
k: King é uma linguagem de programação moderna;
l: O ambiente de desenvolvimento usado para programar na linguagem Ace é difícil de usar;
m: A linguagem King produz animações realísticas;
n: A linguagem King possui alguns problemas com gráficos;
o: Ace é uma linguagem multi-plataforma;
p: Jack possui muitas bibliotecas de códigos já implementados.

O agente *med* cria o argumento inicial para o ponto de partida do diálogo sobre a primeira alternativa de decisão $arg_0 = \langle \{TRUE\}, jack \rangle$, insere-o na primeira linha da tabela de diálogo dt_{jack} , envia-o ao grupo de agentes \mathcal{AG} (o argumento é armazenado na base A_i de cada agente argumentativo) e solicita por apoios/rejeições sobre a fórmula *jack* (linhas 2–12 no Algoritmo 1). Os agentes ag_1 (com o argumento $\langle \{a, a \rightarrow jack\}, jack \rangle$) e ag_3 (com o argumento $\langle \{p, p \rightarrow jack\}, jack \rangle$) apoiam *jack*, enquanto que os agentes ag_2 (com os argumentos $\langle \{g, g \rightarrow \neg jack\}, \neg jack \rangle$ e $\langle \{b, b \rightarrow \neg jack\}, \neg jack \rangle$) e ag_4 (com o argumento $\langle \{-a, \neg a \rightarrow \neg jack\}, \neg jack \rangle$) rejeitam *jack*, produzindo $cl(jack) = 0.30$ e $is(arg_0) = 0.65$.

Os agentes ag_2 e ag_4 são inseridos na *WB*, pois eles possuem contra-argumentos a serem enviados ao grupo: $WB = \langle ag_2, ag_4 \rangle$. O primeiro agente na *WB*, agente ag_2 , envia seus argumentos $arg_1 = \langle \{g, g \rightarrow \neg jack\}, \neg jack \rangle$ e $arg_2 = \langle \{b, b \rightarrow \neg jack\}, \neg jack \rangle$ e eles são armazenados na *AGENDA* (linhas 14–18):

- Para arg_1 : nenhum agente argumentativo apoia ou rejeita *g* ($Support[g] = Reject[g] = \{\}$), ag_3 rejeita $g \rightarrow \neg jack$ ($Reject[g \rightarrow \neg jack] = \{ag_3\}$, $Support[g \rightarrow \neg jack] = \{\}$), ag_4 apoia $\neg jack$ ($Support[\neg jack] = \{ag_4\}$) e ag_1 e ag_3 rejeitam $\neg jack$ ($Reject[\neg jack] = \{ag_1, ag_3\}$), produzindo $is(arg_1) = 0.458$, com nenhuma fórmula sendo considerada como aceita pelo grupo;
- Para arg_2 : tem-se que $Support[b] = \{\}$, $Reject[b] = \{ag_4\}$, $Support[b \rightarrow \neg jack] = Reject[b \rightarrow \neg jack] = \{\}$, $Support[\neg jack] = \{ag_4\}$ e $Reject[\neg jack] = \{ag_1, ag_3\}$, produzindo $is(arg_2) = 0.492$. A lista de agentes é atualizada com $WB = \langle ag_4, ag_3, ag_1 \rangle$.

O próximo agente na *WB*, agente ag_4 , envia seus argumentos $arg_3 = \langle \{-a, \neg a \rightarrow \neg jack\}, \neg jack \rangle$ e $arg_4 = \langle \{e, e \rightarrow \neg b\}, \neg b \rangle$:

- Para arg_3 : tem-se que $Support[\neg a] = \{\}$, $Reject[\neg a] = \{ag_1, ag_3\}$, $Support[\neg a \rightarrow \neg jack] = \{\}$, $Reject[\neg a \rightarrow \neg jack] = \{ag_1\}$, $Support[\neg jack] = \{ag_2\}$ e $Reject$

$[\neg jack] = \{ag_1, ag_3\}$, com $is(arg_3) = 0.342$;

- Para arg_4 : tem-se que $Support[e] = Reject[e] = \{\}$, $Support[e \rightarrow \neg b] = \{ag_1\}$, $Reject[e \rightarrow \neg b] = \{\}$, $Support[\neg b] = \{\}$ e $Reject[\neg b] = \{ag_2\}$, com o grupo aceitando a fórmula $e \rightarrow \neg b[jack(0.45)]$ e produzindo $is(arg_4) = 0.592$. A lista de agentes é atualizada com $WB = \langle ag_3, ag_1 \rangle$. Neste ponto, ag_2 pode atacar arg_4 com o argumento $\langle \{b\}, b \rangle$; contudo, a fórmula b na premissa deste argumento já foi ignorada pelo grupo quando arg_2 foi enviado, tornando este argumento não aprovado no diálogo.

Agente ag_3 envia seus argumentos $arg_5 = \langle \{p, p \rightarrow jack\}, jack \rangle$ e $arg_6 = \langle \{a\}, a \rangle$:

- Para arg_5 : tem-se que $Support[p] = Reject[p] = \{\}$, $Support[p \rightarrow jack] = Reject[p \rightarrow jack] = \{\}$, $Support[jack] = \{ag_1\}$ e $Reject[jack] = \{ag_2, ag_4\}$, com $is(arg_5) = 0.667$. Como ex_3 produz um valor maior ou igual a σ , então as fórmulas $p[jack(0.35)]$, $p \rightarrow jack[jack(0.35)]$ e $jack[jack(0.30)]$ são aceitas pelo grupo;
- Para arg_6 : tem-se que $Support[a] = \{ag_1, ag_4\}$ e $Reject[a] = \{ag_4\}$, produzindo $cl(a) = 0.65$ fazendo com que o grupo aceite a fórmula $a[jack(0.65)]$ com $is(arg_6) = 0.825$. A lista de agentes é atualizada com $WB = \langle ag_1 \rangle$.

O agente ag_1 envia seus argumentos $arg_7 = \langle \{a, a \rightarrow jack\}, jack \rangle$ e $arg_8 = \langle \{a\}, a \rangle$:

- Para arg_7 : tem-se que $Support[a] = \{ag_2, ag_3, ag_4\}$, $Reject[a] = \{ag_4\}$, $Support[a \rightarrow jack] = \{\}$, $Reject[a \rightarrow jack] = \{ag_4\}$, $Support[jack] = \{ag_2, ag_3, ag_4\}$ e $Reject[jack] = \{ag_2, ag_4\}$, produzindo $is(arg_7) = 0.775$;
- Para arg_8 : Como este argumento já foi apresentado anteriormente no mesmo diálogo ($arg_8 = arg_6$), este argumento passa a ser não aprovado.

A lista de agentes é então atualizada fazendo com que $WB = \{\}$ e $AGENDA = \{\}$. Neste ponto, o diálogo sobre a alternativa de decisão $jack$ é concluído. O agente med pode iniciar o processo de diálogo para a próxima alternativa de decisão. A execução do diálogo passo a passo é apresentada no Apêndice B.

As bases de conhecimentos Σ_i de todos os agentes argumentativos após os três diálogos são apresentadas na Tabela 9. As tabelas de diálogo para todas as alternativas de decisão candidatas são apresentadas nas Tabelas 10, 11 e 12.

Após os diálogos sobre cada alternativa de decisão candidata, cada tabela de diálogo é então mapeada para um framework abstrato de argumentação. No grafo de argumentos, cada vértice representa um argumento e cada aresta representa uma relação de ataque possível. O primeiro argumento é o argumento inicial, construído pelo agente med para que

Tabela 9 – Bases de conhecimentos dos agentes após os diálogos.

ag_1		ag_2	
K_1	KO_1	K_2	KO_2
$a[jack(0.65)]$ $a \rightarrow jack[jack(0)]$ $e \rightarrow \neg b[jack(0.45)]$ $m[king(0.3)]$ $m \rightarrow king[king(0.45)]$ $h[king(0.65)]$ $n \rightarrow king$ $\neg c[king(0.5)]$ $d \rightarrow ace[ace(0.85)]$ $\neg q[ace(0)]$ $\neg q \rightarrow \neg ace[ace(0.5)]$	$p[jack(0.35)]$ $p \rightarrow jack[jack(0.35)]$ $jack[jack(0.65)]$ $n[king(0.35)]$ $king[king(0.35)]$ $h \wedge k \rightarrow king[king(0.5)]$ $\neg k[king(0.35)]$ $d[ace(0.4)]$ $ace[ace(0.55)]$	$b[jack(0)]$ $b \rightarrow \neg jack[jack(0)]$ $g[jack(0)]$ $g \rightarrow \neg jack[jack(0)]$ $i[king(0)]$ $i \rightarrow king[king(0)]$ $j[king(0)]$ $j \rightarrow \neg m[king(0)]$ $\neg k[king(0.35)]$ $\neg c[king(0.5)]$ $\neg l$ $o[ace(0)]$ $o \rightarrow ace[ace(0)]$ $d[ace(0.40)]$ $d \rightarrow ace[ace(0.85)]$ $\neg q[ace(0)]$ $\neg q \rightarrow \neg ace[ace(0.5)]$	$a[jack(0.65)]$ $e \rightarrow \neg b[jack(0.45)]$ $p[jack(0.35)]$ $p \rightarrow jack[jack(0.35)]$ $jack[jack(0.65)]$ $n[king(0.35)]$ $m[king(0.3)]$ $m \rightarrow king[king(0.45)]$ $king[king(0.35)]$ $h[king(0.65)]$ $h \wedge k \rightarrow king[king(0.5)]$ $ace[ace(0.55)]$
ag_3		ag_4	
K_3	KO_3	K_4	KO_4
$p[jack(0.35)]$ $p \rightarrow jack[jack(0.35)]$ $a[jack(0.65)]$ $d[ace(0.4)]$ $\neg g \rightarrow jack$ $n[king(0.35)]$ $n \rightarrow \neg king[king(0)]$ $h[king(0.65)]$ $k[king(0)]$ $h \wedge k \rightarrow king[king(0.5)]$ $d \rightarrow ace[ace(0.85)]$ $q[ace(0)]$	$e \rightarrow \neg b[jack(0.45)]$ $jack[jack(0.65)]$ $\neg c[king(0.5)]$ $king[king(0.35)]$ $\neg q \rightarrow \neg ace[ace(0.5)]$ $ace[ace(0.55)]$ $\neg k[king(0.35)]$ $m[king(0.3)]$ $m \rightarrow king[king(0.45)]$	$e[jack(0)]$ $e \rightarrow \neg b[jack(0.45)]$ $\neg a[jack(0)]$ $\neg a \rightarrow \neg jack[jack(0)]$ $c[king(0)]$ $c \rightarrow \neg king[king(0)]$ $m \rightarrow king[king(0.45)]$ $h \wedge k \rightarrow king[king(0.5)]$ $d[ace(0.4)]$ $\neg q[ace(0)]$	$a[jack(0.65)]$ $p[jack(0.35)]$ $p \rightarrow jack[jack(0.35)]$ $jack[jack(0.65)]$ $n[king(0.35)]$ $\neg c[king(0.5)]$ $king[king(0.35)]$ $h[king(0.65)]$ $\neg q \rightarrow \neg ace[ace(0.5)]$ $ace[ace(0.55)]$ $d \rightarrow ace[ace(0.85)]$ $\neg k[king(0.35)]$ $m[king(0.3)]$

sirva como um ponto de partida no diálogo. Este argumento não realiza ataques a outros argumentos. Durante o mapeamento, outras relações de ataque podem ser encontradas.

Por meio do grafo de argumentos, pode-se calcular a força global dos argumentos. As Figuras 10, 11 e 12 mostram os argumentos com suas respectivas forças globais relacionados às tabelas de diálogo dt_{jack} , dt_{king} e dt_{ace} , respectivamente.

Aplicando a semântica “Pro e Con” para calcular o nível de preferência do grupo, tem-se que:

- $PRO(jack) = \{arg_4, arg_5, arg_6, arg_7\}$ e $CON(jack) = \{arg_1, arg_2, arg_3\}$ com $pref(jack) = 1.786$;
- $PRO(king) = \{arg_3, arg_4, arg_5, arg_7, arg_8\}$ e $CON(king) = \{arg_1, arg_2, arg_6, arg_9\}$ com $pref(king) = 1.193$;
- $PRO(ace) = \{arg_2, arg_3, arg_4\}$ e $CON(ace) = \{arg_1\}$ com $pref(ace) = 2.075$.

Tabela 10 – Tabela de diálogo dt_{jack} representando o diálogo do grupo de agentes sobre a alternativa de decisão $jack$.

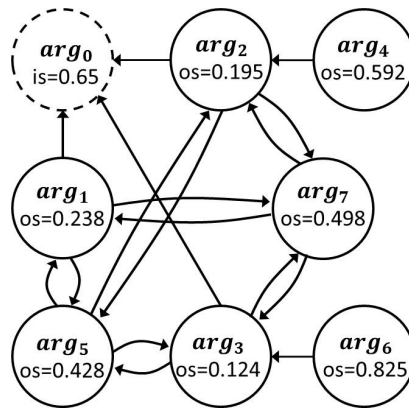
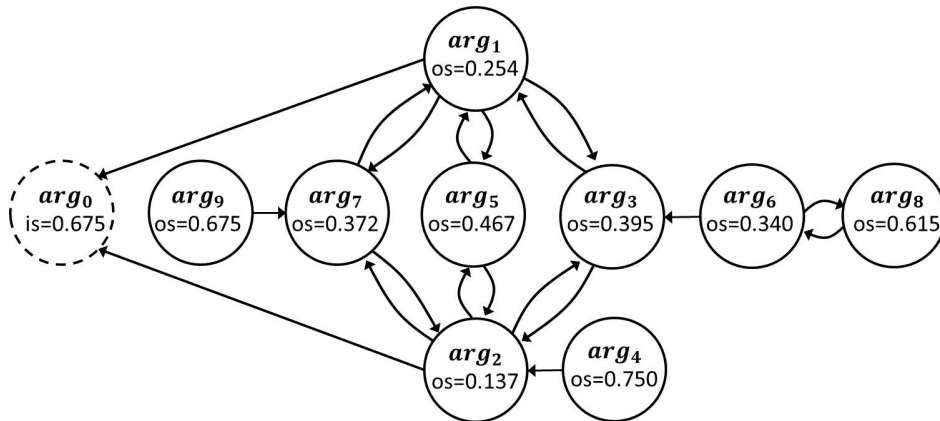
γ	ag	arg	δ	SUPPORT	REJECT	cl	is
0	med	$\langle \{TRUE\}, jack \rangle$	–	$jack[ag_1, ag_3]$	$jack[ag_2, ag_4]$	0.30	0.65
1	ag_2	$\langle \{g, g \rightarrow \neg jack\}, \neg jack \rangle$	0	$g[]$ $g \rightarrow \neg jack[]$ $\neg jack[ag_4]$	$g[]$ $g \rightarrow \neg jack[ag_3]$ $\neg jack[ag_1, ag_3]$	0.20 -0.15 -0.30	0.458
2	ag_2	$\langle \{b, b \rightarrow \neg jack\}, \neg jack \rangle$	0	$b[]$ $b \rightarrow \neg jack[]$ $\neg jack[ag_4]$	$b[ag_4]$ $b \rightarrow \neg jack[]$ $\neg jack[ag_1, ag_3]$	0.05 0.20 -0.30	0.492
3	ag_4	$\langle \{\neg a, \neg a \rightarrow \neg jack\}, \neg jack \rangle$	0	$\neg a[]$ $\neg a \rightarrow \neg jack[]$ $\neg jack[ag_2]$	$\neg a[ag_1, ag_3]$ $\neg a \rightarrow \neg jack[ag_1]$ $\neg jack[ag_1, ag_3]$	-0.50 -0.15 -0.30	0.342
4	ag_4	$\langle \{e, e \rightarrow \neg b\}, \neg b \rangle$	2	$e[]$ $e \rightarrow \neg b[ag_1]$ $\neg b[]$	$e[]$ $e \rightarrow \neg b[]$ $\neg b[ag_2]$	0.15 0.45 -0.15	0.592
5	ag_3	$\langle \{p, p \rightarrow jack\}, jack \rangle$	0	$p[]$ $p \rightarrow jack[]$ $jack[ag_1]$	$p[]$ $p \rightarrow jack[]$ $jack[ag_2, ag_4]$	0.35 0.35 0.30	0.667
6	ag_3	$\langle \{a\}, a \rangle$	3	$a[ag_1, ag_4]$	$a[ag_4]$	0.65	0.825
7	ag_1	$\langle \{a, a \rightarrow jack\}, jack \rangle$	1	$a[ag_2, ag_3, ag_4]$ $a \rightarrow jack[]$ $jack[ag_2, ag_3, ag_4]$	$a[ag_4]$ $a \rightarrow jack[ag_4]$ $jack[ag_2, ag_4]$	0.85 0.15 0.65	0.775

Tabela 11 – Tabela de diálogo dt_{king} representando o diálogo do grupo de agentes sobre a alternativa de decisão $king$.

γ	ag	arg	δ	SUPPORT	REJECT	cl	is
0	med	$\langle \{TRUE\}, king \rangle$	–	$king[ag_1, ag_2, ag_3]$	$king[ag_3, ag_4]$	0.35	0.675
1	ag_3	$\langle \{n, n \rightarrow \neg king\}, \neg king \rangle$	0	$n[]$ $n \rightarrow \neg king[]$ $\neg king[ag_4]$	$n[ag_1]$ $n \rightarrow \neg king[]$ $\neg king[ag_1, ag_2]$	0.35 0.05 0.00	0.567
2	ag_4	$\langle \{c, c \rightarrow \neg king\}, \neg king \rangle$	0	$c[]$ $c \rightarrow \neg king[]$ $\neg king[ag_3]$	$c[ag_1, ag_2]$ $c \rightarrow \neg king[]$ $\neg king[ag_1, ag_2, ag_3]$	-0.35 0.15 -0.35	0.408
3	ag_1	$\langle \{m, m \rightarrow king\}, king \rangle$	1	$m[]$ $m \rightarrow king[ag_4]$ $king[ag_2, ag_3]$	$m[]$ $m \rightarrow king[]$ $king[ag_3, ag_4]$	0.30 0.45 0.35	0.683
4	ag_1	$\langle \{\neg c\}, \neg c \rangle$	2	$\neg c[ag_2, ag_4]$	$\neg c[ag_4]$	0.50	0.75
5	ag_2	$\langle \{i, i \rightarrow king\}, king \rangle$	1	$i[]$ $i \rightarrow king[]$ $king[ag_1, ag_3, ag_4]$	$i[]$ $i \rightarrow king[]$ $king[ag_3, ag_4]$	0.20 0.20 0.50	0.65
6	ag_2	$\langle \{j, j \rightarrow \neg m\}, \neg m \rangle$	3	$j[]$ $j \rightarrow \neg m[]$ $\neg m[ag_3, ag_4]$	$j[]$ $j \rightarrow \neg m[]$ $\neg m[ag_1, ag_3, ag_4]$	0.20 0.20 -0.10	0.55
7	ag_3	$\langle \{h, k, h \wedge k \rightarrow king\}, king \rangle$	1	$h[ag_1]$ $k[]$ $h \wedge k \rightarrow king[ag_4]$ $king[ag_1, ag_2, ag_4]$	$h[]$ $k[ag_2]$ $h \wedge k \rightarrow king[]$ $king[ag_4]$	0.65 0.15 0.50 0.85	0.769
8	ag_3	$\langle \{m\}, m \rangle$	6	$m[ag_1, ag_2, ag_4]$	$m[ag_2, ag_4]$	0.65	0.825
9	ag_2	$\langle \{\neg k\}, \neg k \rangle$	7	$\neg k[ag_3, ag_4]$	$\neg k[ag_3]$	0.35	0.675

Tabela 12 – Tabela de diálogo dt_{ace} representando o diálogo do grupo de agentes sobre a alternativa de decisão ace .

γ	ag	arg	δ	SUPPORT	REJECT	cl	is
0	med	$\langle \{TRUE\}, ace \rangle$	-	$ace[ag_2, ag_3]$	$ace[ag_1, ag_2]$	0.05	0.525
1	ag_1	$\langle \{-q, -q \rightarrow \neg ace\}, \neg ace \rangle$	0	$\neg q[ag_2, ag_4]$ $\neg q \rightarrow \neg ace[ag_2]$ $\neg ace[ag_2]$	$\neg q[ag_2, ag_3]$ $\neg q \rightarrow \neg ace[]$ $\neg ace[ag_2, ag_3]$	0.10 0.50 -0.05	0.592
2	ag_2	$\langle \{d, d \rightarrow ace, \neg q \rightarrow \neg ace\}, q \rangle$	1	$d[ag_3, ag_4]$ $d \rightarrow ace[ag_1, ag_3]$ $\neg q \rightarrow \neg ace[ag_1, ag_3, ag_4]$ $q[ag_3]$	$d[ag_1]$ $d \rightarrow ace[]$ $\neg q \rightarrow \neg ace[]$ $q[ag_1, ag_4]$	0.40 0.85 1.00 0.10	0.794
3	ag_2	$\langle \{o, o \rightarrow ace, \neg q \rightarrow \neg ace\}, q \rangle$	1	$o[]$ $o \rightarrow ace[]$ $\neg q \rightarrow \neg ace[ag_1, ag_3, ag_4]$ $q[ag_1, ag_3, ag_4]$	$o[]$ $o \rightarrow ace[]$ $\neg q \rightarrow \neg ace[]$ $q[ag_1, ag_4]$	0.20 0.20 1.00 0.55	0.744
4	ag_2	$\langle \{d, d \rightarrow ace\}, ace \rangle$	1	$d[ag_1, ag_3, ag_4]$ $d \rightarrow ace[ag_1, ag_3, ag_4]$ $ace[ag_1, ag_3, ag_4]$	$d[ag_1, ag_4]$ $d \rightarrow ace[]$ $ace[ag_1, ag_4]$	0.55 1.00 0.55	0.85

Figura 10 – Framework abstrato de argumentação AF_{jack} mapeado a partir de dt_{jack} . Vértice com linha tracejada representa a alternativa de decisão $jack$.Figura 11 – Framework abstrato de argumentação AF_{king} mapeado a partir de dt_{king} . Vértice com linha tracejada representa a alternativa de decisão $king$.

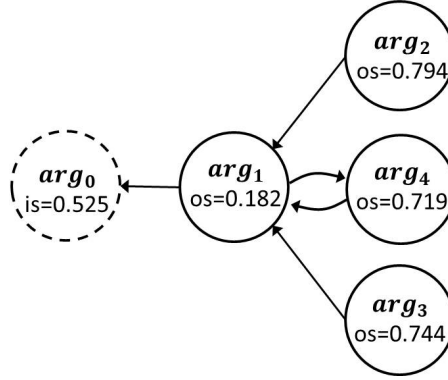


Figura 12 – Framework abstrato de argumentação AF_{ace} mapeado a partir de dt_{ace} . Vértice com linha tracejada representa a alternativa de decisão ace .

A semântica “Pro e Con” apresenta $\Omega = \langle ace, jack, king \rangle$ indicando que, por meio do consenso, a alternativa ace é a mais preferida pelo grupo, seguida por $jack$ e $king$. Esta relação de preferência é representada por $ace > jack > king$. A alternativa ace é justificada pelos argumentos arg_2 , arg_3 e arg_4 que afirmam: Ace é uma linguagem de programação robusta, possui um bom manual de usuário e é uma linguagem multi-plataforma. Além disso, arg_2 , arg_3 e arg_4 são apoiadores de ace e existe apenas um argumento contrário com força global inferior a todos os apoiadores.

Com relação à semântica “Position”, tem-se que:

- Para $jack$: $\mathcal{L}(arg_1) = out$, $\mathcal{L}(arg_2) = out$, $\mathcal{L}(arg_3) = out$, $\mathcal{L}(arg_4) = in$, $\mathcal{L}(arg_5) = in$, $\mathcal{L}(arg_6) = in$ e $\mathcal{L}(arg_7) = in$. O conjunto de argumentos aceitáveis é $acceptable(AF_{jack}) = \{arg_4, arg_5, arg_6, arg_7\}$ com $pref(jack) = 2.343$;
- Para $king$: $\mathcal{L}(arg_1) = out$, $\mathcal{L}(arg_2) = out$, $\mathcal{L}(arg_3) = in$, $\mathcal{L}(arg_4) = in$, $\mathcal{L}(arg_5) = in$, $\mathcal{L}(arg_6) = out$, $\mathcal{L}(arg_7) = out$, $\mathcal{L}(arg_8) = in$ e $\mathcal{L}(arg_9) = in$. O conjunto de argumentos aceitáveis é $acceptable(AF_{king}) = \{arg_3, arg_4, arg_5, arg_8, arg_9\}$ com $pref(king) = 1.552$;
- Para ace : $\mathcal{L}(arg_1) = out$, $\mathcal{L}(arg_2) = in$, $\mathcal{L}(arg_3) = in$ e $\mathcal{L}(arg_4) = in$. O conjunto de argumentos aceitáveis é $acceptable(AF_{ace}) = \{arg_2, arg_3, arg_4\}$ com $pref(ace) = 2.257$.

A semântica “Position” apresenta $\Psi = \langle jack, ace, king \rangle$ indicando que, por consenso, a alternativa $jack$ é a mais preferida pelo grupo de agentes, seguida por ace e $king$, representado por $jack > ace > king$. Nesta semântica, a alternativa $jack$ é a preferida pelo grupo, pois os argumentos com maior consenso (arg_4 , arg_5 , arg_6 e arg_7) são todos de apoio, afirmando que existe uma nova versão da linguagem, ela não causa impacto negativo na velocidade de jogos, é uma linguagem robusta e possui muitas bibliotecas já implementadas.

A diferença entre os resultados das semânticas “Pro e Con” e “Position” ocorre devido a primeira considerar o conjunto de todos os argumentos emitidos durante o diálogo no cálculo do nível de preferência de cada alternativa de decisão, enquanto que na segunda são considerados apenas os argumentos mais fortes emitidos durante o diálogo.

Para cada alternativa de decisão, existe um conjunto de valores associados a cada fórmula. Representa-se a escolha de uma alternativa de decisão como mundo possível, ou seja, no caso da escolha de uma alternativa, tem-se um conjunto de fórmulas que são aceitas. Desta forma, ao término dos diálogos, o status de cada fórmula está relacionada com cada mundo possível:

- A fórmula a foi consensualmente aceita para $jack$. Entretanto, como ag_4 conhece a fórmula $\neg a$, este agente prefere $\neg a$ para os outros mundos possíveis, já que $\neg a$ não possui nenhum rótulo para $king$ e ace que a invalide nestes mundos. A mesma situação ocorre para $\neg c$ e c no agente ag_4 para a alternativa $king$, e $\neg k$ e k no agente ag_3 para a alternativa $king$;
- Fórmulas contraditórias podem ser aceitas como conhecimento comum para a mesma alternativa de decisão (ex.: η e $\neg\eta$). Isto ocorre devido a possibilidade de se criar argumentos a favor ou contra determinada fórmula e, baseando-se na *expertise* dos agentes e no valor de limiar σ , os agentes acabam aceitando estas fórmulas. Neste caso, os agentes não possuem uma posição bem definida sobre estas fórmulas;
- Algumas fórmulas são conhecidas por apenas alguns agentes para um determinado mundo possível, tal como $\neg a$ (agente ag_4), b (agente ag_2), c (agente ag_4), e (agente ag_4), $\neg e$ (agente ag_2), g e $\neg g$ (agente ag_2), $\neg h$ (agente ag_3), i (agente ag_2), j e $\neg j$ (agente ag_2), k (agente ag_3), $\neg l$ (agente ag_2) e o (agente ag_2). Isto ocorre quando uma fórmula não é apresentada ao grupo de agentes durante um diálogo, ou quando estas fórmulas não foram consensualmente aceitas pelo grupo para um determinado mundo possível;
- Algumas fórmulas são apoiadas por unanimidade no grupo de agentes: d , h , m , n e p são aceitas para todos os mundos possíveis; a é aceita apenas para o mundo $jack$; $\neg c$ e $\neg k$ são aceitas apenas para $king$; e q é aceita apenas para ace . Os agentes podem conhecer estas fórmulas ou possuir algum argumento para elas;
- Neste caso de estudo, todos os agentes possuem argumentos aprovados para as alternativas ace , $jack$ e $king$. A alternativa de decisão escolhida pelo grupo é aquela que é apoiada mais fortemente (pelo nível de preferência do grupo) de acordo com a semântica usada.

5.2 Caso 2: robôs em situação de desastre

Este caso de estudo consiste em uma discussão envolvendo um grupo de três agentes que estão tentando decidir se um robô deve resgatar um ser humano em uma situação de desastre. O robô possui apenas uma maca que pode carregar apenas uma pessoa por vez. Duas alternativas de decisão estão disponíveis: recarregar a bateria (x), ou resgatar o indivíduo e levá-lo ao hospital (y).

Seja $\mathcal{FCC} = \langle \{ag_1, ag_2, ag_3\}, \{0.4, 0.3, 0.3\}, \{x, y\}, med, 10, 0.4 \rangle$. As fórmulas nas bases de conhecimentos destes agentes contém átomos que representam as seguintes sentenças:

a : a bateria do robô possui uma carga menor que 70%;

b : a pessoa esta muito longe do robô;

c : o risco de morte da pessoa ferida é 9 ([0,10] onde 0 significa sem gravidade, 9 máxima gravidade e 10 pessoa falecida);

d : a pessoa está viva.

O conhecimento inicial dos agentes antes do diálogo iniciar é:

ag_1 : $\{\{a, b, \neg c, c \rightarrow d, a \wedge b \rightarrow x, a \wedge b \rightarrow \neg y\}, \{\}\}$

ag_2 : $\{\{a, \neg b, c, c \rightarrow d, a \wedge b \rightarrow x, a \wedge b \rightarrow y, a \wedge b \rightarrow \neg d\}, \{\}\}$

ag_3 : $\{\{b, c, c \rightarrow d, d \rightarrow \neg x, a \wedge b \rightarrow x, a \wedge b \rightarrow \neg y, d \rightarrow y\}, \{\}\}$

Inicialmente, o agente med cria a estrutura necessária para que o diálogo possa ser realizado. No diálogo sobre a alternativa x , o agente med inclui na tabela de diálogo dt_x o argumento inicial $arg_0 = \langle \{TRUE\}, x \rangle$ e informa o grupo (o argumento arg_0 é armazenado na base A_i de todos os agentes argumentativos em \mathcal{AG}). Após a fase de informação sobre apoios e rejeições, obtêm-se $Support[x] = \{ag_1\}$ e $Reject[x] = \{ag_3\}$, já que o agente ag_1 possui o argumento $\langle \{a, b, a \wedge b \rightarrow x\}, x \rangle$ apoiando x e o agente ag_3 possui o argumento $\langle \{c, c \rightarrow d, d \rightarrow \neg x\}, \neg x \rangle$ rejeitando x , resultando em $cl(x) = 0.1$.

O agente ag_3 tem um argumento na base $S_3 = \{\langle \{c, c \rightarrow d, d \rightarrow \neg x\}, \neg x \rangle\}$ e envia-o ao agente med quando requisitado. Após ser verificado pelo agente mediador, este argumento é inserido na próxima linha $\gamma = 1$ da tabela dt_x , representado como arg_1 . Após a informação sobre apoios e rejeições nas fórmulas de arg_1 tem-se: $Support[c] = \{ag_2\}$, $Reject[c] = \{ag_1\}$, $Support[c \rightarrow d] = \{ag_1, ag_2\}$, $Reject[c \rightarrow d] = \{\}$, $Support[d \rightarrow \neg x] = Reject[d \rightarrow \neg x] = \{\}$, $Support[\neg x] = \{\}$ e $Reject[\neg x] = \{ag_1\}$, com $cl(c) = 0.2$, $cl(c \rightarrow d) = 1$, $cl(d \rightarrow \neg x) = 0.3$ e $cl(\neg x) = -0.1$. O grupo é informado sobre todas as fórmulas que deverão ser aceitas juntamente com os dados do rótulo para cada fórmula.

O agente ag_1 possui dois argumentos arg_2 e arg_3 em $S_1 = \{\langle \{-c\}, \neg c \rangle, \langle \{a, b, a \wedge b \rightarrow x\}, x \rangle\}$. Quando requisitado, ag_1 encaminha seus argumentos ao agente med :

- Para arg_2 : $Support[\neg c] = \{\}$, $Reject[\neg c] = \{ag_2, ag_3\}$, com $cl(\neg c) = -0.2$. Os

agentes ag_2 e ag_3 possuem o contra-argumento $\langle \{c\}, c \rangle$, mas como a fórmula $c[x(0)]$ já foi analisada em um argumento previamente apresentado neste diálogo e não foi aceito pelo grupo, este contra-argumento não é aprovado;

- Para arg_3 : $Support[a] = \{ag_2\}$, $Reject[a] = \{ag_3\}$, $Support[b] = \{ag_3\}$, $Reject[b] = \{ag_2\}$, $Support[a \wedge b \rightarrow x] = \{ag_2, ag_3\}$, $Reject[a \wedge b \rightarrow x] = \{\}$, $Support[x] = \{\}$ e $Reject[x] = \{ag_3\}$, com $cl(a) = 0.4$, $cl(b) = 0.4$, $cl(a \wedge b \rightarrow x) = 1$ (todos os agentes concordam com esta fórmula) e $cl(x) = 0.1$. As fórmulas $a[x(0.4)]$, $b[x(0.4)]$ e $a \wedge b \rightarrow x[x(1)]$ são aceitas pelo grupo, tornando-se conhecimento comum.

O agente ag_2 possui o argumento $arg_4 = \langle \{-b\}, -b \rangle$ em sua base S_2 . Quando solicitado, encaminha-o ao agente med . Após validado, o processo de informação de apoio e rejeição resulta em: $Support[-b] = \{ag_3\}$ e $Reject[-b] = \{ag_1, ag_3\}$ com $cl(-b) = -0.1$.

O agente ag_3 envia a med o argumento $arg_5 = \langle \{b\}, b \rangle$. Após a informação sobre apoios e rejeições, tem-se: $Support[b] = \{ag_1, ag_2\}$ e $Reject[b] = \{ag_2\}$ com $cl(b) = 0.7$. Neste ponto como $WB = \{\}$ e $AGENDA = \{\}$, o diálogo sobre a alternativa de decisão x é finalizado. É importante notar que os agentes argumentativos possuem outros contra-argumentos durante o diálogo, no entanto, estes argumentos não são aprovados neste diálogo.

O agente med inicia mais um diálogo sobre a próxima alternativa de decisão. Após o encerramento de todos os diálogos, as bases de conhecimento dos agentes argumentativos possuem as seguintes fórmulas:

- ag_1 :
 - $K_1 = \{a[x(0.4), y(0.4)], b[x(0.4), y(0.4)], \neg c[x(0), y(0.7)], c \rightarrow d[x(1), y(1)], a \wedge b \rightarrow x[x(1)], a \wedge b \rightarrow \neg y[y(0.4)]\}$
 - $KO_1 = \{\}$
- ag_2 :
 - $K_2 = \{a[x(0.4), y(0.4)], \neg b[x(0), y(0)], c[x(0), y(0)], c \rightarrow d[x(1), y(1)], a \wedge b \rightarrow x[x(1)], a \wedge b \rightarrow y[y(0)], a \wedge b \rightarrow \neg d[y(0)]\}$
 - $KO_2 = \{b[x(0.4), y(0.4)], a \wedge b \rightarrow \neg y[y(0.4)], \neg c[y(0.7)]\}$
- ag_3 :
 - $K_3 = \{b[x(0.4), y(0.4)], c[x(0), y(0)], c \rightarrow d[x(1), y(1)], d \rightarrow \neg x[x(0)], a \wedge b \rightarrow x[x(1)], a \wedge b \rightarrow \neg y[y(0.4)], d \rightarrow y[y(0)]\}$
 - $KO_3 = \{a[x(0.4), y(0.4)], \neg c[y(0.7)]\}$

As Tabelas 13 e 14 mostram os diálogos referentes às alternativas de decisão x e y , respectivamente. Os grafos de argumentos correspondentes são exibidos nas Figuras 13 e 14.

Tabela 13 – Tabela de diálogo dt_x : argumentos, relações de apoio e rejeição e forças intrínsecas para a alternativa de decisão $x =$ recarregar a bateria.

γ	ag	arg	δ	SUPPORT	REJECT	cl	is
0	med	$\langle \{TRUE\}, x \rangle$	–	$x[ag_1]$	$x[ag_3]$	0.1	0.55
1	ag_3	$\langle \{c, c \rightarrow d, d \rightarrow \neg x\}, \neg x \rangle$	0	$c[ag_2]$ $c \rightarrow c[ag_1, ag_2]$ $d \rightarrow \neg x[]$ $\neg x[]$	$c[ag_1]$ $c \rightarrow c[]$ $d \rightarrow \neg x[]$ $\neg x[ag_1]$	0.2 1.0 0.3 -0.1	0.66
2	ag_1	$\langle \{\neg c\}, \neg c \rangle$	1	$\neg c[]$	$\neg c[ag_2, ag_3]$	-0.2	0.40
3	ag_1	$\langle \{a, b, a \wedge b \rightarrow x\}, x \rangle$	1	$a[ag_2]$ $b[ag_3]$ $a \wedge b \rightarrow x[ag_2, ag_3]$ $x[]$	$a[ag_3]$ $b[ag_2]$ $a \wedge b \rightarrow x[]$ $x[ag_3]$	0.4 0.4 1.0 0.1	0.74
4	ag_2	$\langle \{\neg b\}, \neg b \rangle$	3	$\neg b[ag_3]$	$\neg b[ag_1, ag_3]$	-0.1	0.45
5	ag_3	$\langle \{b\}, b \rangle$	4	$b[ag_1, ag_2]$	$b[ag_2]$	0.7	0.85

Tabela 14 – Tabela de diálogo dt_y : argumentos, relações de apoio e rejeição e forças intrínsecas para a alternativa de decisão $y =$ resgatar o indivíduo.

γ	ag	arg	δ	SUPPORT	REJECT	cl	is
0	med	$\langle \{TRUE\}, y \rangle$	–	$y[ag_2, ag_3]$	$y[ag_1, ag_3]$	-0.1	0.45
1	ag_1	$\langle \{a, b, a \wedge b \rightarrow \neg y\}, \neg y \rangle$	0	$a[ag_2, ag_3]$ $b[ag_2, ag_3]$ $a \wedge b \rightarrow \neg y[ag_3]$ $\neg y[ag_3]$	$a[ag_2, ag_3]$ $b[ag_2, ag_3]$ $a \wedge b \rightarrow \neg y[ag_2]$ $\neg y[ag_2, ag_3]$	0.4 0.4 0.4 0.1	0.66
2	ag_3	$\langle \{b, c, c \rightarrow d, d \rightarrow y, a \wedge b \rightarrow \neg y\}, \neg a \rangle$	1	$b[ag_1, ag_2]$ $c[ag_2]$ $c \rightarrow d[ag_1, ag_2]$ $d \rightarrow y[]$ $a \wedge b \rightarrow \neg y[ag_1, ag_2]$ $\neg a[ag_2]$	$b[ag_2]$ $c[ag_1, ag_2]$ $c \rightarrow d[]$ $d \rightarrow y[]$ $a \wedge b \rightarrow \neg y[ag_2]$ $\neg a[ag_1, ag_2]$	0.7 -0.1 1.0 0.3 0.7 -0.1	0.71
3	ag_2	$\langle \{b, a \wedge b \rightarrow y, a \wedge b \rightarrow \neg y\}, \neg a \rangle$	1	$b[ag_1, ag_3]$ $a \wedge b \rightarrow y[]$ $a \wedge b \rightarrow \neg y[ag_1, ag_3]$ $\neg x[ag_3]$	$b[ag_3]$ $a \wedge b \rightarrow y[ag_1, ag_3]$ $a \wedge b \rightarrow \neg y[]$ $\neg x[ag_1, ag_3]$	0.7 -0.2 1.0 -0.1	0.68
4	ag_2	$\langle \{\neg b\}, \neg b \rangle$	1	$\neg b[ag_3]$	$\neg b[ag_1, ag_3]$	-0.1	0.45
5	ag_2	$\langle \{a, b, a \wedge b \rightarrow \neg d, c \rightarrow d\}, \neg c \rangle$	2	$a[ag_1, ag_3]$ $b[ag_1, ag_3]$ $a \wedge b \rightarrow \neg d[]$ $c \rightarrow d[ag_1, ag_3]$ $\neg c[ag_1, ag_3]$	$a[ag_3]$ $b[ag_3]$ $a \wedge b \rightarrow \neg d[]$ $c \rightarrow d[]$ $\neg c[ag_3]$	0.7 0.7 0.3 1.0 0.7	0.84
6	ag_2	$\langle \{a\}, a \rangle$	2	$a[ag_1, ag_3]$	$a[ag_3]$	0.7	0.85
7	ag_1	$\langle \{b\}, b \rangle$	4	$b[ag_2, ag_3]$	$b[ag_2, ag_3]$	0.4	0.7

Aplicando a semântica “Pro e Con” para calcular o nível de preferência do grupo, tem-se que:

- $PRO(x) = \{arg_2, arg_3, arg_5\}$ e $CON(x) = \{arg_1, arg_4\}$ com $pref(x) = 0.89$;

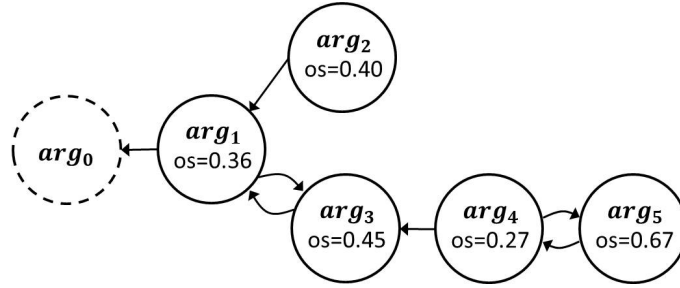


Figura 13 – Grafo de argumentos mapeado a partir da tabela de diálogo dt_x (Tabela 13). Vértice com linha tracejada representa o argumento inicial.

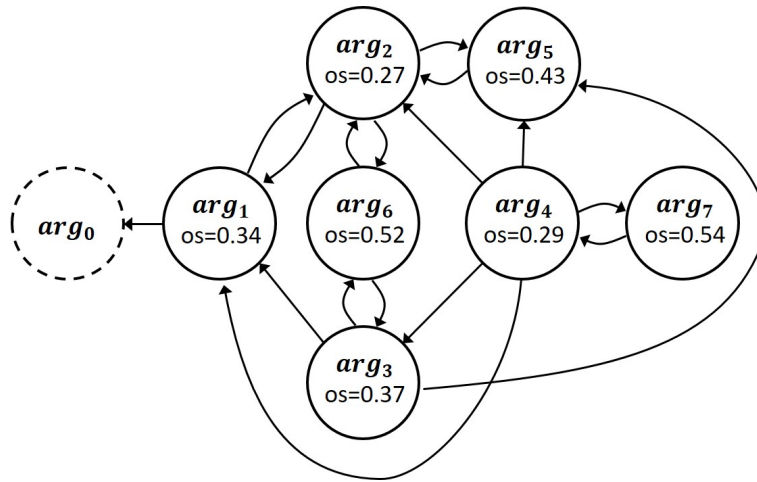


Figura 14 – Grafo de argumentos mapeado a partir da tabela de diálogo dt_y (Tabela 14). Vértice com linha tracejada representa o argumento inicial.

- $PRO(y) = \{arg_2, arg_3, arg_4\}$ e $CON(y) = \{arg_1, arg_5, arg_6, arg_7\}$ com $pref(y) = -0.9$.

A semântica “Pro e Con” apresenta $\Omega = \langle x, y \rangle$ indicando que, por meio do consenso, a alternativa x , recarregar a bateria, é a mais preferida pelo grupo, seguida por y , resgatar o indivíduo. Esta relação de preferência é representada por $x > y$. A escolha por x é justificada pelos argumentos arg_2 , arg_3 e arg_5 que são os mais fortes e afirmam que a bateria do robô possui uma carga inferior a 70%, a pessoa está muito longe do robô e o risco de morte da pessoa não é 9. Além disso, existem poucos argumentos contrários a x e estes possuem uma força inferior aos argumentos a favor.

Com relação à semântica “Position”, tem-se que:

- Para x : $\mathcal{L}(arg_1) = out$, $\mathcal{L}(arg_2) = in$, $\mathcal{L}(arg_3) = in$, $\mathcal{L}(arg_4) = out$ e $\mathcal{L}(arg_5) = in$. O conjunto de argumentos aceitáveis é $acceptable(AF_x) = \{arg_2, arg_3, arg_5\}$ com $pref(x) = 1.52$;
- Para y : $\mathcal{L}(arg_1) = in$, $\mathcal{L}(arg_2) = out$, $\mathcal{L}(arg_3) = out$, $\mathcal{L}(arg_4) = out$, $\mathcal{L}(arg_5) = in$,

$\mathcal{L}(arg_6) = in$ e $\mathcal{L}(arg_7) = in$. O conjunto de argumentos aceitáveis é $acceptable(AF_y) = \{arg_1, arg_5, arg_6, arg_7\}$ com $pref(y) = -1.83$.

A semântica “Position” apresenta $\Psi = \langle x, y \rangle$ indicando que, por consenso, a alternativa x é a mais preferida pelo grupo de agentes, seguida por y , representado por $x > y$. A preferência do grupo por x se deve ao fato de que todos os argumentos rotulados como *in* são argumentos de apoio, enquanto que para y , todos os argumentos mais influenciadores são contrários.

A semelhança neste resultado entre as duas semânticas ocorre devido a: na alternativa x existem mais argumentos favoráveis do que contra. Além disso, os argumentos favoráveis possuem forças maiores que as forças dos argumentos contrários; na alternativa y temos um número maior de argumentos contrários do que a favor. Estes argumentos contrários são os mesmos rotulados como *in*.

5.3 Conclusão

Este capítulo apresentou dois casos de estudo aplicando o modelo proposto para a tomada de decisão consensual por meio da formação do conhecimento comum a partir de diálogos argumentativos. O primeiro caso de estudo é aplicado a um problema de tomada de decisão relacionado a escolha preferida do grupo sobre três linguagens de programação fictícias para o desenvolvimento de jogos para telefones celulares. O segundo caso de estudo consiste em um grupo de agentes discutindo e atingindo consenso sobre qual objetivo um robô deveria escolher em uma situação de resgate.

Pode-se observar que, por meio do diálogo argumentativo e na aceitação de fórmulas dos argumentos que são apoiadas pela maioria dos agentes, as opiniões do grupo foram aproximadas e o conhecimento comum foi formado. Através das semânticas propostas, é possível a análise de todo o conjunto de argumentos enviados em um diálogo e na escolha da alternativa que possui melhor justificativa para o grupo. As semânticas também permitem dar explicações a usuários humanos. Por exemplo, no caso do robô ter escolhido recarregar bateria, sua justificativa na semântica “Pro e Cons” seria dada pelos argumentos arg_2 (o risco de morte da pessoa ferida não é nível 9), arg_3 (a bateria do robô possui carga menor que 70% e a pessoa está muito longe do robô) e arg_5 (a pessoa está muito longe do robô). Na semântica Position, a justificativa seria dada pelos argumentos arg_2 , arg_3 e arg_5 . Neste exemplo, existe consenso do grupo que as crenças $\neg c =$ o risco de morte da pessoa ferida não possui nível 9, $a =$ a bateria do robô possui carga menor que 70% e $b =$ a pessoa está muito distante do robô, justificam a escolha da alternativa $x =$ recarregar a bateria. Vale ressaltar que o processo de tomada de decisão consensual apenas indica a ordem de preferência do grupo sobre as alternativas de decisão disponíveis. A sequência das ações para a implementação desta alternativa de decisão não faz parte do escopo deste

trabalho. Por exemplo: no segundo caso de estudos, a alternativa de decisão “recarregar a bateria” poderia envolver algumas ações tais como (i) emitir uma mensagem a um centro de controle informando que no estado atual não é possível efetuar o resgate, para então (ii) seguir ao local de recarga e após a recarga concluída, (iii) tentar auxiliar outros robôs no resgate ou ir para outro ponto conforme novas instruções recebidas.

O próximo capítulo apresenta os resultados e discussões sobre o modelo de tomada de decisão consensual, envolvendo um conjunto de propriedades e a discussão dos resultados obtidos com o modelo de mundos possíveis.

6 Resultados e Discussões

As contribuições desta tese foram apresentadas nos três capítulos anteriores, envolvendo: a estrutura dos agentes argumentativos, estrutura do agente mediador, framework para formação do conhecimento comum e modelo de diálogos argumentativos para formação do conhecimento comum (capítulo 3); e o modelo proposto para tomada de decisão consensual que envolve o cálculo da força global dos argumentos e as semânticas para a escolha da alternativa de decisão preferida pelo grupo (capítulo 4). No capítulo 5, foram apresentados dois casos de estudo envolvendo a execução dos diálogos argumentativos para a tomada de decisão consensual. Este capítulo tem o objetivo de apresentar os resultados obtidos por meio da aplicação do modelo proposto para a tomada de decisão consensual, assim como uma discussão sobre estes resultados.

6.1 Conhecimento e Decisão por Consenso

No cerne do modelo proposto para a decisão consensual está o relacionamento entre conhecimento comum e consenso, e como este se relaciona com o processo de tomada de decisão consensual. A primeira questão de pesquisa abordada nesta tese se refere em como identificar o nível de consenso do grupo sobre cada informação em um argumento. O nível de consenso pode ser identificado usando as funções *cl* (para fórmulas do argumento) e *is* (para o argumento). A seguir, apresenta-se uma discussão sobre como o \mathcal{FCC} é capaz de representar informações consideradas conhecimento comum. Em seguida, discute-se como as forças dos argumentos podem influenciar na tomada de decisão consensual.

6.1.1 Representação do Conhecimento

O modelo clássico para raciocínio sobre o conhecimento de um agente é conhecido como modelo de mundos possíveis (HALPERN, 1986). Os mundos possíveis representam os possíveis estados das coisas, ou seja, podem existir situações onde uma proposição é aplicada para um tópico em discussão, mas não se aplica a outro tópico (FAGIN; HALPERN, 1994; FAGIN et al., 2004). O modelo dos mundos possíveis envolve os estados do conhecimento (ou das crenças), fornecendo uma descrição consistente sobre o estado de coisas. A forma padrão de caracterizar um mundo possível é por meio de um conjunto (atômico) de proposições lógicas, ou mais especificamente, um conjunto de proposições lógicas que são verdadeiras em um determinado mundo (BARONI; CAMINADA; GIACOMIN, 2011).

No modelo proposto nesta tese, um mundo possível representa um conjunto de proposições (fórmulas dos argumentos) que foram aceitas por todos os agentes sobre uma

alternativa de decisão $d_p \in \mathcal{D}$ no diálogo dt_p . Por exemplo, a proposição “a pessoa está muito longe do robô” é aceita nos diálogos sobre as alternativas de decisão recarregar a bateria e resgatar uma pessoa, mas pode não ser aceita em outras situações, por exemplo, em uma discussão sobre dois possíveis tipos de atalhos que um robô pode escolher ao encontrar o melhor caminho a ser percorrido. O mundo atual corresponde à troca de argumentos entre os agentes argumentativos para uma alternativa de decisão específica (o diálogo atual sendo discutido pelos agentes), representado por dt_p (tabela de diálogo para a alternativa de decisão p).

Trabalhos relacionados ao conceito de mundos possíveis (DAVIS; MORGENSTERN, 1993; DUNIN-KEPLICZ; VERBRUGGE, 2010; FAGIN; HALPERN, 1994; FAGIN et al., 2004; HALPERN; SHORE, 2004) utilizam operadores modais para representar o que os agentes conhecem ou o que o grupo de agentes conhece sobre uma determinada proposição, tais como K (conhecimento de um único agente), E (conhecimento em um grupo de agentes), C (conhecimento comum em um grupo de agentes) e D (conhecimento distribuído no grupo de agentes). Os autores ainda apresentam os seguintes axiomas relacionados à representação do conhecimento dos agentes:

1. Veracidade do conhecimento: um determinado agente conhece uma determinada proposição $K_{ag_i}\eta$ (é lida como “o agente ag_i conhece a informação η ”);
2. Representação de informações incompletas ou desconhecidas: $\neg K_{ag_i}\eta$ (é lida como “o agente ag_i não conhece η) ou $\neg K_{ag_i}K_{ag_j}\eta$ (lida como “o agente ag_i não sabe que o agente ag_j conhece η ”);
3. Distribuição do conhecimento: se $K_{ag_i}\eta \wedge K_{ag_i}\eta \rightarrow \mu$, então $K_{ag_i}\mu$ (é lida como “se o agente ag_i conhece η e sabe que $\eta \rightarrow \mu$, então ag_i também conhece μ ”);
4. Introspecção positiva: se $K_{ag_i}\eta$, então $K_{ag_i}K_{ag_i}\eta$;
5. Introspecção negativa: se $\neg K_{ag_i}\eta$, então $K_{ag_i}\neg K_{ag_i}\eta$;
6. Conhecimento geral: $E_{\mathcal{AG}}\eta \leftrightarrow \bigwedge_{ag_i \in \mathcal{AG}} K_{ag_i}\eta$ (é lida como “todos os agentes no grupo \mathcal{AG} conhecem η ”);
7. Conhecimento comum: $C_{\mathcal{AG}}\eta \leftrightarrow E_{\mathcal{AG}}(\eta \wedge C_{\mathcal{AG}}\eta)$ (é lida como “ η é conhecimento comum no grupo de agentes \mathcal{AG} ”, ou seja, todos os agentes conhecem η e sabem que todos os agentes no grupo também conhecem η);
8. Distribuição do conhecimento comum: se $(C_{\mathcal{AG}}\eta \wedge C_{\mathcal{AG}}(\eta \rightarrow \mu))$, então $C_{\mathcal{AG}}\mu$;
9. Conhecimento distribuído: $D_{\mathcal{AG}}\eta$ (é lida como “o grupo \mathcal{AG} possui conhecimento distribuído de η ”, ou seja, se $K_{ag_i}\mu$ e $K_{ag_j}\mu \rightarrow \eta$, então o grupo tem conhecimento distribuído de η);

10. Regra de indução do consenso: a partir de $\eta \rightarrow E_{AG}\eta$, infere-se que $\eta \rightarrow C_{AG}\eta$.

É possível capturar a noção de conhecimento de forma equivalente aos axiomas baseados na lógica modal utilizando os operadores K , E e C no \mathcal{FCC} . Os axiomas 1 ao 5 se referem aos conhecimentos individuais dos agentes, enquanto que os axiomas 6 ao 10 estão relacionados ao conhecimento do grupo de agentes.

No \mathcal{FCC} , tem-se que o axioma 1 referente ao conhecimento de um agente $K_{ag_i}\eta$ é representado por $\eta \in \Sigma_i$.

Exemplo 18. *Seja $\Sigma_i = \{\{a, a \rightarrow b\}, \{\}\}$ a base de conhecimentos do agente ag_i . Diz-se que um agente conhece uma informação quando esta informação pertence ou pode ser inferida da base de conhecimentos deste agente. Desta forma, o agente ag_i conhece as fórmulas a , $a \rightarrow b$ e b (b pode ser inferido a partir de Σ_i). Portanto, $a \in \Sigma_i$ indica que o agente ag_i conhece a fórmula a , ou seja, $K_{ag_i}a$.*

É possível representar informações incompletas ou desconhecidas, conforme axioma 2, onde um agente ag_i não sabe que outro agente ag_j conhece uma determinada informação.

Exemplo 19. *Sejam $\Sigma_i = \{\{a, a \rightarrow b, c \rightarrow d\}, \{\}\}$ e $\Sigma_j = \{\{c, e\}, \{\}\}$ as bases de conhecimentos dos agentes ag_i e ag_j , respectivamente. Tem-se que $c \notin \Sigma_i$ e não pode ser inferido por meio de Σ_i , portanto $\neg K_{ag_i}c$. O modelo de diálogos argumentativos para formação do conhecimento comum não prevê meios para representar conhecimento distribuído. Desta forma, tem-se que $\neg K_{ag_i}K_{ag_j}c$.*

A distribuição do conhecimento (axioma 3) está diretamente relacionada ao mecanismo de inferência utilizado na construção de argumentos, ou seja $\langle \Phi, \eta \rangle \in \mathcal{A}(\Sigma_i)$. Não é possível inferir novos conhecimentos quando não existem fórmulas lógicas suficientes na base de conhecimentos dos agentes.

Exemplo 20. *Seja $\Sigma_i = \{\{a, a \rightarrow b, c \rightarrow d\}, \{\}\}$ a base de conhecimentos do agente argumentativo ag_i . Por *reductio ad absurdum*, não é possível construir o argumento $\langle \{a, a \rightarrow b\}, \neg b \rangle$ já que a conclusão do argumento não é uma consequência lógica da premissa.*

No \mathcal{FCC} também é possível representar quando o conhecimento de um agente se aplica a um determinado diálogo (assunto em discussão) ou quando esta informação não pode ser utilizada na construção de argumentos (a fórmula não é aceita para um determinado diálogo). Se $K_i\eta$ e η não possuir um rótulo anotado para uma determinada alternativa de decisão, então η é aceita na construção de argumentos.

Exemplo 21. *Seja Σ_i a base de conhecimentos do agente ag_i . Se $\exists \eta \in \Sigma_i$ e $getRotulos(\eta) = \emptyset$, então o agente conhece η , ou seja, η é necessariamente verdadeiro para o agente ag_i e*

pode ser utilizada na construção de argumentos para qualquer diálogo. Seja d um assunto em discussão. Se $\exists \eta \in \Sigma_i$ e $GetRotulos(\eta) = \{d\}$ e $GetX(\eta, d) = 0$, então a fórmula não é aceita na construção de argumentos no diálogo sobre d .

Para Moses (2008), é possível que um agente tenha crenças falsas, no entanto, as crenças conhecidas são necessariamente verdadeiras para este agente. Na proposta apresentada nesta tese, quando um agente conhece uma fórmula e ela não apresenta nenhuma anotação, esta fórmula é necessariamente verdadeira para o agente. As fórmulas tidas como necessariamente verdadeiras são aquelas em que seu valor-verdade é o mesmo para todos os mundos possíveis. No caso da fórmula não ser consensualmente aceita, ou seja, seu nível de consenso for nulo, esta fórmula passa a ser possivelmente verdadeira para o agente, já que é aceitável apenas nos diálogos onde ela ainda não foi apresentada ao grupo.

Os axiomas de introspecção positiva e negativa (axiomas 4 e 5, respectivamente) também podem ser representados no \mathcal{FCC} .

Exemplo 22. Para introspecção positiva: $\forall \eta \in \Sigma_i$, ou $\exists arg = \langle \Phi, \eta \rangle \in \mathcal{A}(\Sigma_i)$, temos que $K_{ag_i}\eta$. O agente ag_i pode utilizar η ao construir novos argumentos ou no processo de apoio e rejeição, portanto, ao armazenar η , tem-se $K_{ag_i}\eta$. Quando o ag_i utiliza η , tem-se que $K_{ag_i}K_{ag_i}\eta$.

Exemplo 23. Para introspecção negativa: se $\nexists \eta \in \Sigma_i$, ou $\nexists arg = \langle \Phi, \eta \rangle \in \mathcal{A}(\Sigma_i)$, temos que $\neg K_{ag_i}\eta$. O agente ag_i não pode utilizar η ao construir novos argumentos ou no processo de apoio e rejeição, portanto, $K_{ag_i}\neg K_{ag_i}\eta$.

Quando o raciocínio sobre o conhecimento envolve um grupo de agentes, o \mathcal{FCC} consegue representar o conhecimento geral (axioma 6) por $\forall ag_i \in \mathcal{AG} : \eta \in \Sigma_i$.

Exemplo 24. Seja $\mathcal{AG} = \{ag_1, ag_2, ag_3\}$, $\Sigma_1 = \{\{a, b, c\}, \{\}\}$, $\Sigma_2 = \{\{c\}, \{\}\}$ e $\Sigma_3 = \{\{a, c\}, \{\}\}$. Tem-se que $E_{AG}c$, ou seja, $\bigwedge_{ag_i \in \mathcal{AG}} K_{ag_i}c$.

Com relação ao conhecimento comum (axioma 7), se $\forall ag_i \in \mathcal{AG}, \exists \eta \in \Sigma_i : \eta[d_p(cl(\eta))]$ para $d_p \in \mathcal{D}$ e $cl(\eta) > 0$, então $C_{AG}\eta$.

Exemplo 25. Seja $\mathcal{AG} = \{ag_1, ag_2, ag_3\}$, $\Sigma_1 = \{\{a[x(0.6)], b, c\}, \{\}\}$, $\Sigma_2 = \{\{c\}, \{a[x(0.6)]\}\}$ e $\Sigma_3 = \{\{a[x(0.6)], c\}, \{\}\}$. A fórmula a foi apresentada em algum momento do diálogo sobre a alternativa de decisão x e foi aceita pelo grupo com um nível de consenso 0.6, tornando-se conhecimento comum. Logo, $\forall ag_i \in \mathcal{AG}, \exists a \in \Sigma_i : a[x(0.6)]$ para $x \in \mathcal{D}$ e $cl(a) = 0.6$ ($cl(a) > 0$), concluindo que a é conhecimento comum.

Todas as fórmulas de um argumento que são aceitas pelo grupo são atualizadas nas bases de conhecimentos dos agentes. Estas fórmulas são anotadas com um rótulo

indicando a alternativa de decisão e o nível de consenso do grupo sobre esta fórmula quando relacionada a esta alternativa de decisão. Portanto, se esta fórmula possuir um rótulo com o nível de consenso positivo, o agente sabe que ela já foi apresentada anteriormente em algum argumento e foi considerada conhecimento comum, fazendo com que esta fórmula seja aceita na construção de novos argumentos.

Pode ocorrer também a distribuição do conhecimento comum (axioma 8), onde se $C_{AG}\eta$ e $C_{AG}(\eta \rightarrow \mu)$, então $C_{AG}\mu$. Neste caso, todas as fórmulas do argumento $\langle \{\eta, \eta \rightarrow \mu\}, \mu \rangle$ receberão informações de apoio por unanimidade, já que todos os agentes conhecem todas as fórmulas do argumento.

Exemplo 26. *Seguindo o mesmo princípio do axioma 3, com duas fórmulas na base de conhecimentos de um agente $a[x(0.5)]$ e $a \rightarrow b[x(0.7)]$, as duas fórmulas são conhecimento comum a respeito do assunto x . Para provar que $C_{AG}b$, quando o argumento $\langle \{a, a \rightarrow b\}, b \rangle$ for emitido por um agente, temos que a será aceita por todos os agentes (é conhecimento comum), $a \rightarrow b$ será aceita por todos os agentes (é conhecimento comum) e b será aceita por todos os agentes, tornando-se conhecimento comum (durante o processo de informação de apoios e rejeições, todos os agentes possuem um argumento favorável a b).*

Como o modelo de diálogos argumentativos para a formação do conhecimento comum envolve a troca de mensagens entre agentes argumentativos com o agente mediador, não foi discutido a possibilidade de haver conhecimento distribuído no grupo de agentes. De acordo com Moses (2008), o conhecimento distribuído corresponde ao resultado da combinação do conhecimento de todos os agentes e pode ser representado pelo operador modal D onde $K_i\eta \rightarrow D\eta$, ou seja, $D\eta$ se $\eta \in \bigcap_{ag_i \in AG} K_i$ (axioma 9).

As anotações nas fórmulas contém rótulos que são utilizados para representar o nível de consenso do grupo sobre uma fórmula que já foi apresentada ao grupo. Neste sentido, o rótulo representa se a fórmula foi aceita ou não. É possível estender o modelo para permitir esta comunicação entre agentes argumentativos sem a participação do agente mediador, de forma que as respostas adotadas pelos agentes requisitantes sejam também anotadas como, por exemplo, $\Sigma_i = \{\{a, a \rightarrow b, c \rightarrow d\}, \{c[source(ag_j)]\}\}$. Com este tipo de anotação é possível representar conhecimentos adquiridos de outros agentes sem a necessidade da presença do agente mediador, onde $K_{ag_i}K_{ag_j}c$ quando $c \in \Sigma_i$ e c possui um rótulo contendo *source* indicando a origem desta fórmula.

Exemplo 27. *Suponha que o agente ag_i deseja criar um argumento utilizando a fórmula $c \rightarrow d$. Como não existe um fato (c ou $\neg d$) que permita aplicar Modus Ponens ou Modus Tollens a esta implicação, o agente ag_i pode se comunicar diretamente com outro agente sem a necessidade da presença do mediador. Desta forma, ag_i pode perguntar ao agente ag_j se ele conhece c ou $\neg d$ para que o argumento $\langle \{c, c \rightarrow d\}, d \rangle$ ou $\langle \{\neg d, c \rightarrow d\}, \neg c \rangle$ seja construído. No ato de recebimento da resposta, tem-se que $K_{ag_i}K_{ag_j}c$ ou $K_{ag_i}K_{ag_j}\neg d$*

(agente ag_i sabe que ag_j conhece o valor de c ou $\neg d$) e, em caso da resposta ser afirmativa, ag_i pode atualizar sua base KO_i com esta nova informação fazendo, no caso de receber c , com que $\Sigma_i = \{\{a, a \rightarrow b, c \rightarrow d\}, \{c[source(ag_j)]\}\}$.

As fórmulas divulgadas ao grupo pertencem a um argumento emitido por algum agente argumentativo durante o diálogo. Cada argumento discutido pelo grupo é armazenado na base A_i dos agentes argumentativos, ou seja, as fórmulas do argumento são tornadas públicas e conhecidas por todos os agentes (E_{AG}). Após o processo de informação sobre apoios e rejeições, caso $cl(\eta) \geq \sigma$, a fórmula η do argumento em A_i é aceita pelo grupo e se torna conhecimento comum ($C_{AG}\eta$), com efeito análogo à regra de indução do consenso (axioma 10).

6.1.2 Força consensual e tomada de decisão por consenso

Um conjunto de observações também podem ser feito sobre o modelo proposto para tomada de decisão consensual. O núcleo principal na decisão sobre quais fórmulas dos argumentos devem ser aceitas pelo grupo de agentes consiste na identificação do nível de consenso sobre estas fórmulas. O conjunto de fórmulas de um argumento forma a força intrínseca deste argumento, e após o mapeamento dos diálogos para grafos de argumentos, tem-se ainda a força global destes argumentos que considera todas as relações de ataques recebidas.

A partir do momento em que uma fórmula é aceita pelo grupo de agentes e se torna conhecimento comum, ela também é consenso no grupo quando relacionada ao mundo atual em discussão. Se esta fórmula estiver presente em outros argumentos, durante a fase de informação de apoios e rejeições, os apoios mostrarão que existe unanimidade do grupo sobre ela; em outras palavras, existe um consenso do grupo apoiando esta fórmula. Entretanto, os agentes também podem ter outros argumentos que a rejeitem, fazendo com que seu nível de consenso não represente concordância por unanimidade.

A segunda pergunta de pesquisa desta tese está relacionada com a força consensual dos argumentos e como estes valores de forças podem influenciar na tomada de decisão consensual. Dois tipos de forças foram propostos: força intrínseca e força global. A força intrínseca indica o quanto um argumento é aceito pelo grupo, enquanto que a força global indica a importância de um argumento quando comparado aos demais argumentos emitidos durante o diálogo.

Propriedade 1. *Seja arg um argumento. A força deste argumento pode ser diminuída se (i) alguma fórmula em arg receber informação de rejeição e (ii) se arg possuir algum contra-argumento.*

Na Equação 1, o nível de consenso sobre uma fórmula é negativamente influenciada

pela soma dos valores de *expertise* dos agentes que rejeitam esta fórmula. Como a força intrínseca é obtida usando os níveis de consenso de cada fórmula do argumento (Equação 2), quanto menor for o nível de consenso sobre uma fórmula do argumento, menor será o valor da força intrínseca. A força global (Equação 3) também é diminuída, pois é calculada usando a força global dos argumentos atacantes.

Propriedade 2. *Seja arg um argumento e ex_i o valor de *expertise* do agente emissor de arg . A aceitação máxima de um argumento é $is(arg) = 1$. A rejeição máxima de um argumento é $is(arg) = ex_i$.*

Seja $\mathcal{AG} = \{ag_1, ag_2, ag_3\}$ com $\mathcal{EX} = \{0.3, 0.3, 0.4\}$ um conjunto de agentes argumentativos com $\Sigma_1 = \Sigma_2 = \Sigma_3 = \{\{a, a \rightarrow b\}, \{\}\}$. Se o agente ag_1 envia o argumento $arg = \langle \{a, a \rightarrow b\}, b \rangle$, tem-se que $Support[a] = Support[a \rightarrow b] = Support[b] = \{ag_2, ag_3\}$ e $Reject[a] = Reject[a \rightarrow b] = Reject[b] = \{\}$, com $cl(a) = cl(a \rightarrow b) = cl(b) = 1$, onde todos os agentes apoiam todas as fórmulas do argumento, com máxima aceitação do grupo e $is(arg) = 1$. No pior caso do consenso, para cada fórmula η em um argumento, tem-se que $cl(\eta) = ex_i - (1 - ex_i) = 2ex_i - 1$ onde ex_i é a *expertise* do agente emissor de arg . Portanto, a rejeição máxima do argumento arg é dada por $\left(\frac{length(arg) * (2ex_i - 1)}{length(arg)} + 1\right) * 0.5 = ex_i$.

Pode-se ainda ter uma situação onde as fórmulas não sejam nem apoiadas nem rejeitadas. Seja $\Sigma_1 = \{a, a \rightarrow b\}$, $\Sigma_2 = \{c, d\}$ e $\Sigma_3 = \{d \rightarrow e\}$ com ag_1 emitindo o argumento $arg = \langle \{a, a \rightarrow b\}, b \rangle$. Tem-se que $Support[a] = Support[a \rightarrow b] = Support[b] = \{\}$, $Reject[a] = Reject[a \rightarrow b] = Reject[b] = \{\}$, $cl(a) = cl(a \rightarrow b) = cl(b) = 0.3$ e $is(arg) = 0.65$.

Propriedade 3. *A força global máxima de um argumento arg é dada por $os(arg) = 1$ somente quando $is(arg) = 1$ e $attack(arg) = \{\}$. A força global mínima é $os(arg) \geq \varepsilon$ onde ε é um número positivo tendendo a zero.*

Seja $arg = \langle \{a, a \rightarrow b\}, b \rangle$ um argumento com $cl(a) = 1$, $cl(a \rightarrow b) = 1$ e $cl(b) = 1$. Pela Equação 2 obtém-se $is(arg) = 1$. Se não existem argumentos atacando arg , pela Equação 3 obtém-se $os(arg) = 1$ que é o valor máximo possível para a força global de um argumento. Para o valor da força global mínima, suponha que $is(arg) = 1$. Considerando todos os ataques com o valor máximo de aceitação, tem-se que: para cinco ataques, $os(arg) = 0.17$; para 10 ataques, $os(arg) = 0.09$; para 100 ataques, $os(arg) = 0.01$. Portanto, tem-se que $os(arg) > 0$. No entanto, dependendo do número de casas decimais consideradas pelo modelo, pode-se obter $\varepsilon \geq 0$. Por exemplo, para 200 ataques, tem-se que $os(arg) = 0.00$ ou $os(arg) = 0.005$.

Propriedade 4. *Uma quantia pequena de ataques fortes pode ser equivalente ou mais rigoroso que diversos ataques fracos. O FCC considera a força dos argumentos atacantes em vez do número de ataques recebidos.*

Seja $AF_1 = \langle \{arg_1, arg_2\}, \{(arg_2, arg_1)\} \rangle$ e $AF_2 = \langle \{arg_3, arg_4, arg_5, arg_6\}, \{(arg_4, arg_3), (arg_5, arg_3), (arg_6, arg_3)\} \rangle$ dois frameworks de argumentação abstrata com $is(arg_1) = 0.7$, $is(arg_2) = 0.8$, $is(arg_3) = 0.7$, $is(arg_4) = 0.3$, $is(arg_5) = 0.3$ e $is(arg_6) = 0.2$. O argumento arg_1 possui apenas um único atacante e sua força global é $os(arg_1) = 0.39$. O argumento arg_3 possui três atacantes e sua força global é $os(arg_3) = 0.39$. Portanto, o valor da força global de um argumento depende, além de sua força intrínseca, da força global dos argumentos que o atacam.

Propriedade 5. *As relações de ordem Ω e Ψ usam valores decrescentes dos níveis de preferência para cada alternativa de decisão. Para átomos negativos, a relação de ordem considera os valores opostos destes átomos.*

Seja $\mathcal{D} = \{d_1, d_2, d_3\}$ o conjunto de alternativas de decisão candidatas para o framework de tomada de decisão consensual. Tendo-se $pref(d_1) = 2$, $pref(d_2) = 1.5$ e $pref(d_3) = 1$, tem-se que $d_1 > d_2 > d_3$. Para $\mathcal{D} = \{d_1, \neg d_2, d_3\}$ com $pref(d_1) = 2$, $pref(\neg d_2) = 1.5$ e $pref(d_3) = 1$, tem-se que $d_1 > d_3 > d_2$. Já para $\mathcal{D} = \{\neg d_1, \neg d_2, \neg d_3\}$ com $pref(\neg d_1) = 2$, $pref(\neg d_2) = 1.5$ e $pref(\neg d_3) = 1$, tem-se que $d_3 > d_2 > d_1$.

Uma observação deve ser considerada quanto à estrutura do framework \mathcal{FCC} : quando o valor de *expertise* for o mesmo para todos os agentes em \mathcal{AG} , ou seja, $ex_1 = \dots = ex_n$, todos os agentes possuem o mesmo poder de decisão, onde nenhum agente atua como influenciador do grupo (não existe o papel de autoridade no grupo). Esta é uma característica desejável na tomada de decisão por consenso, onde todos os agentes devem participar ativamente do diálogo fornecendo todas as suas opiniões e tendo o mesmo poder de tomada de decisão que os demais agentes do grupo. Além disso, outras meta-informações podem ser usadas ao invés do valor de *expertise*, tais como valores de confiança, reputação ou uma combinação destes valores. Portanto, o modelo proposto para tomada de decisão consensual é neutro em termos do significado do valor de *expertise* escolhido pelo usuário do framework.

6.2 Caso 1: game design

Nas semânticas dos mundos possíveis, as proposições lógicas (fórmulas que representam crenças nas bases de conhecimentos dos agentes) podem ser verdadeiras ou falsas em algum dos mundos possíveis (GIRLE, 2012). Estas semânticas são usadas para determinar se uma proposição lógica é possivelmente verdadeira ou necessariamente verdadeira, sempre relativas a um mundo possível. Neste trabalho, a abordagem utilizada para formalizar os valores das proposições lógicas é feita por meio da estrutura Kripke, conforme apresentado por Fagin et al. (2004). Seja a sequência $[ace, jack, king]$ representando as alternativas de decisão do caso de estudos apresentado na Seção 5.1 com os valores t para *true* e f para *false*. Os agentes podem criar argumentos a favor e contra cada alternativa de decisão.

Quando um argumento é a favor de uma alternativa de decisão, dizemos que ela recebe o valor t , enquanto que argumentos contrários são f . Aplicando a estrutura Kripke ao conhecimento de cada agente usando o sistema S5 (FAGIN et al., 2004; GIRLE, 2012; HOEK, 1993) com as relações de acessibilidade entre os mundos possíveis sendo simétricas, transitivas e reflexivas, antes do início do diálogo, os seguintes argumentos relacionados às alternativas de decisão podem ser construídos:

- ag_1 : o argumento $\langle \{\neg q, \neg q \rightarrow \neg ace\}, \neg ace \rangle$ afirma que a alternativa $\neg ace = true$, ou seja, do ponto de vista de ag_1 , ace não deveria ser a escolha preferida; o argumento $\langle \{a, a \rightarrow jack\}, jack \rangle$ afirma que a alternativa de decisão $jack = true$, ou seja, $jack$ poderia ser escolhido pelo grupo; o argumento $\langle \{m, m \rightarrow king\}, king \rangle$ afirma que a alternativa de decisão $king = true$, ou seja, a alternativa $king$ também poderia ser escolhida pelo grupo de agentes. Tem-se então que a posição deste agente pode ser representada por apenas um único mundo possível $w_1 = [f, t, t]$ no qual ace não deveria ser escolhido e as demais opções teriam seu apoio;
- ag_2 : os argumentos $\{\langle \{d, d \rightarrow ace\}, ace \rangle, \langle \{\neg q, \neg q \rightarrow \neg ace\}, \neg ace \rangle\}$ afirmam que o agente não possui uma posição bem definida quanto a escolha da alternativa de decisão ace , com $ace = true$ e $\neg ace = true$; os argumentos $\{\langle \{g, g \rightarrow \neg jack\}, \neg jack \rangle, \langle \{b, b \rightarrow \neg jack\}, \neg jack \rangle\}$ afirmam que a alternativa de decisão $\neg jack = true$, ou seja, $jack$ não deve ser escolhido pelo grupo; o argumento $\langle \{i, i \rightarrow king\}, king \rangle$ afirma que a alternativa $king = true$, ou seja, não existe restrição para este agente sobre a escolha da alternativa $king$. Tem-se que existem dois mundos possíveis para este agente: $w_2 = [t, f, t]$ e $w_3 = [f, f, t]$. Isto ocorre devido ao agente não possuir uma posição definida quanto a ace de forma que tanto ace quanto $\neg ace$ são aceitáveis;
- ag_3 : o argumento $\langle \{d, d \rightarrow ace\}, ace \rangle$ afirma que a alternativa $ace = true$, ou seja, não existe restrição quanto a escolha de ace ; o argumento $\langle \{p, p \rightarrow jack\}, jack \rangle$ afirma que $jack = true$, ou seja, $jack$ pode ser uma alternativa escolhida pelo grupo; e os argumentos $\{\langle \{h, k, h \wedge k \rightarrow king\}, king \rangle, \langle \{n, n \rightarrow \neg king\}, \neg king \rangle\}$ afirmam que o agente não possui certeza sobre a alternativa $king$, onde tanto $king = true$ e $\neg king = true$ são aceitáveis. Os mundos possíveis para este agente são: $w_4 = [t, t, t]$ e $w_5 = [t, t, f]$;
- ag_4 : não existem argumentos apoiando ou atacando a alternativa ace , fazendo com que $ace = true$ ou $\neg ace = true$ sejam aceitáveis; o argumento $\langle \{\neg a, \neg a \rightarrow \neg jack\}, \neg jack \rangle$ afirma que a alternativa $\neg jack = true$, ou seja, $jack$ não deveria ser a escolha do grupo; o argumento $\langle \{c, c \rightarrow \neg king\}, \neg king \rangle$ afirma que $\neg king = true$, ou seja, $king$ não deve ser a escolha do grupo. Os mundos possíveis para este agente são: $w_6 = [t, f, f]$ e $w_7 = [f, f, f]$.

A Figura 15 mostra as relações de acessibilidade entre os mundos possíveis para cada agente antes do início do diálogo. Pode-se observar que não existe consenso do grupo sobre nenhuma alternativa de decisão, ou seja, não existe um mundo possível que satisfaça a maioria dos agentes.

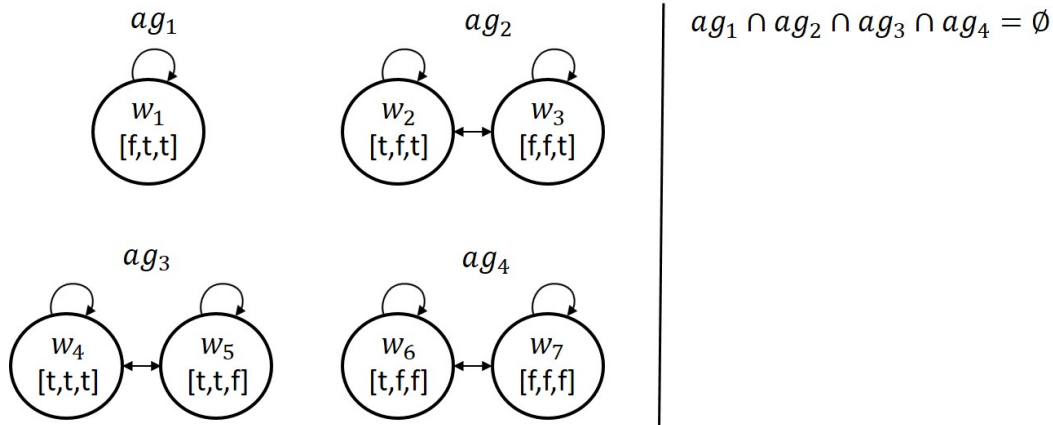


Figura 15 – Caso de estudo: Game Design. Relações de acessibilidade entre os mundos possíveis para cada agente antes do início do diálogo.

Ao final do diálogo sobre todas as alternativas de decisão e a formação do conhecimento comum, tem-se os seguintes argumentos aprovados para todos os agentes do grupo:

- $\{\langle\{ace\}, ace\rangle, \langle\{d, d \rightarrow ace\}, ace\rangle\}$ indicam que, por meio do diálogo, a alternativa *ace* pode ser escolhida pelo grupo de agentes;
- $\{\langle\{jack\}, jack\rangle, \langle\{p, p \rightarrow jack\}, jack\rangle\}$ indicam que, por meio do diálogo, a alternativa *jack* pode ser escolhida pelo grupo de agentes;
- $\{\langle\{king\}, king\rangle, \langle\{m, m \rightarrow king\}, king\rangle\}$ indicam que, por meio do diálogo, a alternativa *king* pode ser escolhida pelo grupo de agentes.

As semânticas Ω e Ψ definem as justificativas para a aceitação desta alternativa de decisão. Pode-se observar que, por meio da formação do conhecimento comum, houve uma aproximação do conhecimento dos agentes e existe um consenso do grupo sobre o mundo possível $w_4 = [t, t, t]$, visto que todos os agentes possuem argumentos em apoio a *ace*, *jack* e *king*.

A Figura 16 apresenta as relações de acessibilidade entre os mundos possíveis após o término dos diálogos sobre *ace*, *jack* e *king*. Com a formação do conhecimento comum, o grupo chega a um estado consensual onde todas as alternativas de decisão são, de alguma forma, aceitas como resultado.

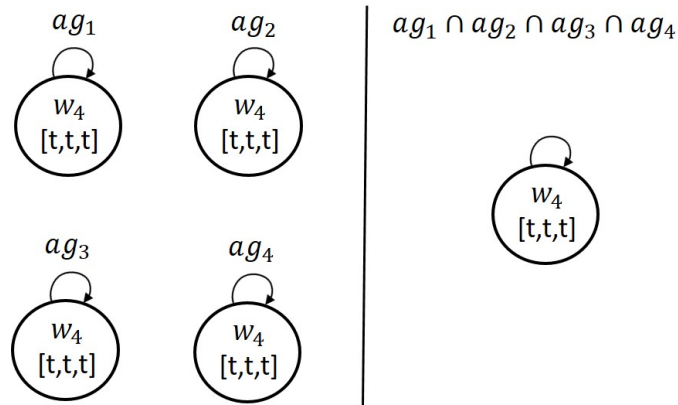


Figura 16 – Caso de estudo: Game Design. Relações de acessibilidade entre os mundos possíveis para cada agente após o fim dos diálogos e formação do conhecimento comum.

Como todas as alternativas de decisão são possivelmente aceitas pelo grupo de agentes e o problema de tomada de decisão consiste em escolher apenas uma alternativa, ou seja, a alternativa de decisão que é mais preferida pelo grupo, uma semântica pode ser utilizada para este fim, tal como as semânticas “Pro e Con” e “Position” propostas neste trabalho. A semântica a ser aplicada deve levar em consideração o nível de preferência do grupo sobre cada alternativa de decisão e retornar a ordem de preferência do grupo sobre as alternativas candidatas.

6.3 Caso 2: robôs em situação de resgate

O segundo caso de estudo também demonstra a execução do modelo para tomada de decisão consensual onde um grupo formado por três agentes discutem sobre uma decisão a respeito de qual ação deve ser executada por um robô em uma situação de resgate. Também é possível observar a relação entre conhecimento comum e consenso sobre as informações que são aceitas pelo grupo de agentes.

Representando o caso de estudo em uma estrutura Kripke e usando o sistema S5 para representação do conhecimento, com a sequência $[x, y]$ contendo os valores t (para *true*) e f (para *false*) para as alternativas de decisão x e y , respectivamente, tem-se os seguintes argumentos antes do início do diálogo:

- ag_1 : o agente ag_1 possui apenas um argumento afirmando x ($\langle\{a, b, a \wedge b \rightarrow x\}, x\rangle$) e um argumento afirmando $\neg y$ ($\langle\{a, b, a \wedge b \rightarrow \neg y\}, \neg y\rangle$). Neste sentido, apenas um mundo é possível: $w_1 = [t, f]$ indicando que somente a alternativa x é aceita para ag_1 ;
- ag_2 : o agente ag_2 não possui nenhum argumento que apoie ou rejeite tanto x como y . Neste caso, qualquer alternativa de decisão pode ser aceita para este agente. Os

mundos em que ag_2 considera possíveis são: $w_1 = [t, f]$, $w_2 = [f, t]$, $w_3 = [t, t]$ e $w_4 = [f, f]$;

- ag_3 : o agente ag_3 possui um argumento afirmando $\neg x$ ($\langle\{c, c \rightarrow d, d \rightarrow \neg x\}, \neg x\rangle$) e um argumento afirmando y ($\langle\{c, c \rightarrow d, d \rightarrow y\}, y\rangle$). Para este agente, apenas o mundo $w_2 = [f, t]$ é possível.

A Figura 17 representa este cenário onde não existe consenso do grupo sobre as alternativas de decisão x ou y .

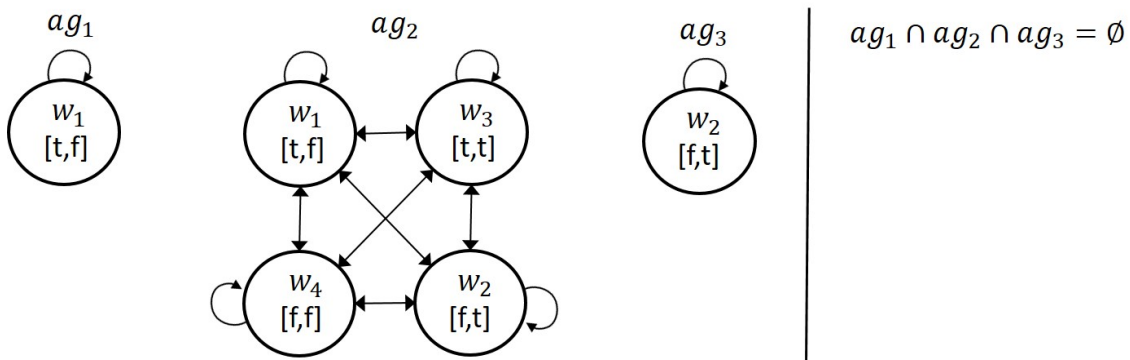


Figura 17 – Caso de estudo: Robô. Relações de acessibilidade entre os mundos possíveis para cada agente antes do início do diálogo.

Após os dois diálogos e a formação do conhecimento comum, os agentes ag_1 , ag_2 e ag_3 possuem um argumento para x ($\langle\{a, b, a \wedge b \rightarrow x\}, x\rangle$) e um argumento para $\neg y$ ($\langle\{a, b, a \wedge b \rightarrow \neg y\}, \neg y\rangle$). O agente ag_2 ainda possui um argumento para y ($\langle\{a, b, a \wedge b \rightarrow y\}, y\rangle$) e o ag_3 também possui um argumento para $\neg x$ e y ($\langle\{c, c \rightarrow d, d \rightarrow \neg x\}, \neg x\rangle$ e $\langle\{c, c \rightarrow d, d \rightarrow y\}, y\rangle$), no entanto, estes argumentos não são argumentos aprovados e, portanto, não favorecem uma posição contra $\neg x$ ou a favor de y . Após o diálogo, pode-se observar que existe consenso do grupo sobre o mundo $w_1 = [t, f]$ justificando coletivamente a escolha da alternativa de decisão x e a rejeição do grupo sobre y , conforme apresentado na Figura 18.

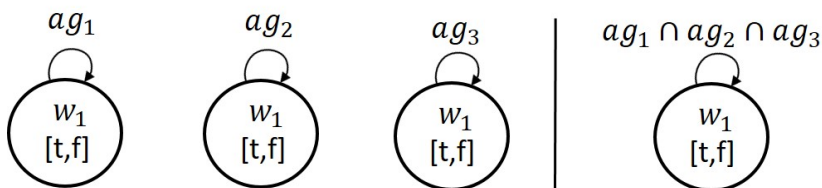


Figura 18 – Caso de estudo: Robô. Relações de acessibilidade entre os mundos possíveis para cada agente após o fim dos diálogos e formação do conhecimento comum.

6.4 Comparação com o sistema S5

O modelo para tomada de decisão consensual proposto nesta tese produz algumas disparidades quando comparado ao sistema S5 (DUNIN-KEPLICZ; VERBRUGGE, 2010; FAGIN et al., 2004), tais como:

- Se $K_i\eta \wedge K_i\neg\eta$, então $K_i \perp$ (axioma para consistência de crenças).
Como os agentes podem construir argumentos usando as crenças presentes em suas bases de conhecimentos, podem haver algumas situações onde as bases de conhecimentos destes agentes se tornem inconsistentes, especialmente ao atualizar as bases de conhecimentos com as fórmulas que foram consensualmente aceitas pelo grupo. Contudo, o framework pode ser estendido para que os agentes aceitem somente fórmulas com o valor de consenso mais alto (grupo se torna mais cético) ao atualizar a base de conhecimentos, reduzindo a inconsistência tanto quanto possível. O rotulamento das fórmulas também permite reduzir a inconsistência, pois indica em qual diálogo determinada informação é aceita. Vale lembrar que a geração de argumentos utilizam nas premissas um conjunto mínimo com fórmulas logicamente relacionadas, evitando que crenças inconsistentes (por exemplo, um argumento com $\langle\{\eta, \neg\eta\}, \eta\rangle$) estejam na premissa do mesmo argumento;
- A inconsistência na base de conhecimentos representa conhecimento revogável.
Se um agente ag_i possuir uma base de conhecimentos $\Sigma_i = \{\{a, a \rightarrow b[d(0)], c[d(0)]\}, \{a \rightarrow \neg b[d(0.5)], c[d(0.6)]\}\}$, em um diálogo sobre a alternativa de decisão d , o agente pode construir apenas o argumento $\langle\{a, a \rightarrow \neg b\}, \neg b\rangle$, pois somente argumentos aprovados podem ser enviados ao grupo durante um diálogo e a fórmula $a \rightarrow \neg b$ foi aceita pelo grupo, portanto, tornando-se conhecimento comum. É importante notar que o argumento $\langle\{a, a \rightarrow b\}, b\rangle$ pode ainda ser usado durante a fase de informação para o apoio ou rejeição no diálogo sobre qualquer alternativa de decisão, pois o agente ainda possui a crença $a \rightarrow b$, mesmo sabendo que a opinião do grupo sobre esta fórmula seja a rejeição;
- O modelo para tomada de decisão consensual utiliza informações de apoio e rejeição para identificar o nível de consenso do grupo sobre uma fórmula em um argumento. Se um argumento possuir uma fórmula $\eta \rightarrow \beta$ e o agente conhecer $\eta \rightarrow \neg\beta$, como $(\eta \rightarrow \beta) \leftrightarrow (\eta \rightarrow \neg\beta)$ não é uma tautologia, então $\eta \rightarrow \beta$ é rejeitada pelo agente. No entanto, existem algumas situações onde as duas fórmulas se mantêm (ex.: quando $\eta = false$). O framework pode ser estendido para que os agentes apoiem ou rejeitem fornecendo somente o nível de concordância com as respectivas fórmulas (ex.: o agente possui 50% de aceitação de acordo com a fórmula $\eta \rightarrow \beta$);

- O framework \mathcal{FCC} atua como um modelo de crenças parcial que é capaz de representar os diferentes estados das crenças para cada fórmula na base de conhecimentos dos agentes argumentativos.

Rótulos são usados para determinar quais fórmulas são aceitas para cada mundo possível. No caso de contradição, os agentes acreditam que a fórmula na base K seja verdadeira para todos os mundos possíveis, com exceção da alternativa de decisão expressa no rótulo anotado na fórmula contraditória armazenada na base KO . Se as fórmulas contraditórias estiverem na mesma base, então o agente não tem certeza sobre o valor-verdade e pode apoiar/rejeitar ou construir argumentos usando qualquer uma delas, exceto ao construir argumentos para enviar ao grupo. Neste último caso, o agente deve utilizar a fórmula que seja aceita para o diálogo atual.

6.5 Características das semânticas

Em um diálogo argumentativo, tem-se que argumentos podem atacar uns aos outros. As semânticas de argumentação tentam justificar o estado dos argumentos. Desta forma, argumentos que pertencem a uma relação de ataque não podem pertencer ao mesmo conjunto de argumentos aceitos. O termo avaliação de argumentos (BARONI; GIACOMIN, 2009) se refere ao processo de determinar o estado de justificação dos argumentos em um framework abstrato de argumentação. A avaliação dos argumentos apenas fornece o estado de justificação (aceitabilidade dos argumentos), não sendo possível obter a conclusão dos argumentos (conclusão de argumentos não existe em argumentação abstrata).

As semânticas de argumentação definem um método que conduz o processo de avaliação dos argumentos. Na abordagem baseada em extensões, uma semântica fornece meios para se obter um conjunto de extensões. A partir de um framework abstrato de argumentação $\langle AR, R \rangle$, uma extensão é simplesmente um subconjunto de AR representando quais argumentos podem ser aceitos ao mesmo tempo. Na abordagem baseada em rotulamentos, uma semântica fornece meios para se obter um conjunto de rotulamentos. O rotulamento atribui a cada argumento em AR um rótulo pré-definido que define o estado dos argumentos. Assim, o estado de justificação de um argumento depende do rótulo atribuído.

Amgoud e Ben-Naim (2016a) propõem um conjunto de axiomas que se aplicam às semânticas para aceitabilidade de argumentos em grafos de ataque:

1. **Anonimato:** Em dois grafos isomórficos de argumentos $AF_1 = \langle AR_1, R_1 \rangle$ e $AF_2 = \langle AR_2, R_2 \rangle$ (isomorfismo f de AF_1 para AF_2), o grau de aceitabilidade do argumento $arg_i \in AR_1$ é igual ao grau de aceitabilidade de $f(arg_i) \in AR_2$.
No \mathcal{FCC} , este axioma é mantido conforme apresentado na Figura 19. Isto ocorre devido a estrutura interna dos argumentos não ser modificada (o argumento permanece

o mesmo). Entretanto, cada framework abstrato de argumentação está diretamente relacionado a uma tabela de diálogo. Sendo assim, como o argumento inicial representa uma alternativa de decisão, não serão gerados dois grafos de argumentos (isomorfismo) sobre a mesma discussão, visto que ocorre o mapeamento da tabela de diálogo para grafo de argumentos conforme apresentado na Seção 4.1.

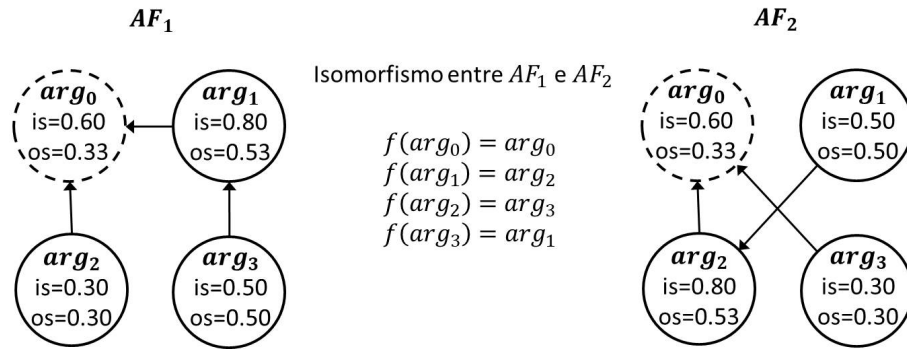


Figura 19 – Isomorfismo entre dois grafos de argumentos. Vértice com linha tracejada representa o argumento inicial do diálogo.

2. **Independência:** o nível de aceitabilidade de um argumento arg não depende de outros argumentos ou relações de ataques que não estejam conectados a arg .

No \mathcal{FCC} , a aceitabilidade de um argumento é medida pelas forças intrínseca e global. A força intrínseca é obtida por meio da informação de apoio e rejeição e representa uma posição do grupo sobre a credibilidade deste argumento. A força global é obtida por meio das relações de ataques recebidas, representando o quanto um argumento continua sendo aceito pelo grupo após ser atacado. Os caminhos no grafo de argumentos representam relações de ataque e defesa. Sendo assim, se existe um caminho entre dois argumentos de arg_1 a arg_2 , tem-se que arg_1 influencia negativamente (ataque ou apoio ao ataque) ou positivamente (defesa ou apoio a defesa) na força global de arg_2 . Se não existir um caminho de arg_1 a arg_2 , então a força global de arg_1 não influencia em arg_2 e vice-versa. A independência pode ser observada na Figura 19 em AF_1 . A força global de arg_0 é influenciada pelos argumentos arg_1 e arg_2 (ataques recebidos) e arg_3 (defesa), a força global de arg_1 é influenciada por arg_3 , enquanto que a força global de arg_2 é independente de arg_1 ou arg_3 , pois não existe relação entre estes argumentos (arg_1 é um argumento de apoio para ele mesmo).

3. **Circunscrição:** o nível de aceitabilidade de um argumento não depende dos argumentos que ele ataca.

No \mathcal{FCC} este axioma se mantém conforme apresentado na Figura 19 em AF_1 . Tem-se que $R(arg_1, arg_0)$, $R(arg_2, arg_0)$, e $R(arg_3, arg_1)$. A força global dos argumentos atacantes não é influenciada pela força dos argumentos atacados. Um caso especial

ocorre quando o grafo de argumentos é cíclico ou possui argumentos que se auto-atacam, tornando este axioma não aplicável. Esta exceção pode ser observada na Figura 20, onde existe um caminho entre $arg_1 \rightarrow arg_2 \rightarrow arg_3 \rightarrow arg_4 \rightarrow arg_1$. O argumento arg_1 ataca arg_2 , defende arg_3 , apoia o ataque a arg_4 e defende o apoio em arg_1 .

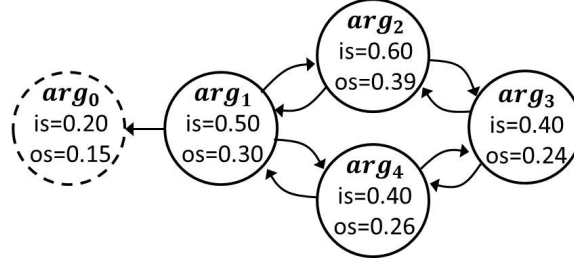


Figura 20 – Framework abstrato de argumentos cíclico. Vértice com linha tracejada representa o argumento inicial do diálogo.

4. **Monotonicidade:** um argumento não pode se tornar mais forte quando seu conjunto de argumentos atacantes se torna maior.

No \mathcal{FCC} este axioma se mantém. A monotonicidade pode ser observada no grafo de argumentos da Figura 20. Ao apresentar o argumento arg_1 no diálogo, tem-se que $is(arg_1) = 0.50$ e $os(arg_1) = 0.50$. Quando o argumento arg_2 é emitido, tem-se $is(arg_2) = 0.60$ e $os(arg_2) = 0.60$ e, como $attack(arg_1) = \{arg_2\}$, a força global de arg_1 é enfraquecida $os(arg_1) = 0.31$. Considerando o argumento arg_4 com $is(arg_4) = 40$ e $os(arg_4) = 0.40$, tem-se que $attack(arg_1) = \{arg_2, arg_4\}$ e, portanto $os(arg_1) = 0.25$. Desta forma, quanto maior o número de ataques recebidos, menor será a força global de um argumento. O axioma de monotonicidade se refere apenas ao número de ataques recebidos e a força destes ataques. Caso os contra-argumentos recebam ataques, as forças globais destes contra-argumentos serão enfraquecidas, influenciando positivamente na força global do argumento sendo analisado. Entretanto, o axioma de monotonicidade se mantém quando comparado apenas aos ataques recebidos.

Quando dois argumentos arg_i e arg_j possuem as mesmas forças intrínsecas com $R(arg_i, arg_j)$ e $R(arg_j, arg_i)$, então as forças globais destes argumentos também serão as mesmas. A Figura 21a apresenta esta situação. Quando $is(arg_i) = is(arg_j) = 0.50$, tem-se que $os(arg_i) = os(arg_j) = 0.37$. A força global apenas se diferenciará caso algum dos argumentos receba outros ataques diferentes. A Figura 21b adiciona a relação de ataque $R(arg_k, arg_i)$ onde $attack(arg_i) = \{arg_k, arg_j\}$ e $attack(arg_j) = \{arg_i\}$ e, considerando $is(arg_k) = 0.50$, obtêm-se $os(arg_i) = 0.26$, $os(arg_j) = 0.40$ e $os(arg_k) = 0.50$.

5. **Equivalência:** a força global de um argumento depende somente dos argumentos

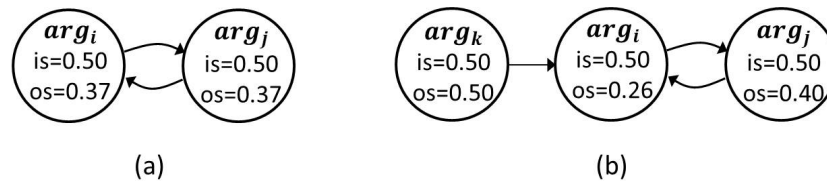


Figura 21 – Monotonicidade entre argumentos. (a) arg_i recebendo apenas um ataque. (b) arg_i recebendo dois ataques.

que o atacam (seus atacantes e seus defensores).

No \mathcal{FCC} , esta propriedade se mantém apenas quando comparando a seguinte situação: com $R(arg_i, arg_j)$, o argumento arg_i faz um ataque direto a arg_j diminuindo sua força global; adicionando $R(arg_k, arg_i)$, o argumento arg_k faz um ataque direto a arg_i diminuindo sua força global e, conseqüentemente, influenciando positivamente na força global de arg_j (tem-se que arg_k é um argumento de apoio a arg_j). Entretanto, a força global dos argumentos no \mathcal{FCC} também leva em consideração a força intrínseca dos argumentos, conforme Definição 3.

6. **Neutralidade:** argumentos que possuem força global 0 não apresentam impacto nos argumentos que eles atacam.

No \mathcal{FCC} , a força global mínima dos argumentos pode ser um valor ε tendendo a zero, visto que ao menos o agente emissor apoia o argumento emitido, conforme Propriedade 3. Neste sentido, todos os argumentos atacantes possuem impacto nos argumentos atacados.

7. **Maximalidade:** se um argumento não recebe ataques, sua força global é igual à sua força intrínseca.

No \mathcal{FCC} , este axioma pode ser observado na Figura 21b onde o argumento arg_k não recebe ataques e, portanto, $is(arg_k) = os(arg_k)$.

8. **Enfraquecimento:** uma relação de ataque enfraquece o argumento atacado, diminuindo sua força global.

A Figura 21b demonstra este axioma no \mathcal{FCC} onde os argumentos arg_k e arg_j atacam arg_i , enfraquecendo-o. Da mesma forma, arg_i também enfraquece arg_j .

9. **Enfraquecimento da correção:** a única forma de diminuir a força global de um argumento é atacando-o com argumentos não rejeitados.

Apesar deste axioma estar diretamente relacionado a argumentos com a mesma força intrínseca, no \mathcal{FCC} , a força global dos argumentos é influenciada pela sua força intrínseca juntamente com as forças globais dos argumentos atacantes. Quanto menor for a força intrínseca de um argumento, menor será sua força global. Da mesma forma, quanto mais ataques um argumento receber, menor será sua força global.

10. **Resiliência**: este axioma se refere no quanto um ataque recebido pode ser prejudicial a ponto de invalidar um argumento. Os ataques podem aumentar a rejeição dos argumentos atacados, mas nunca rejeitá-los por completo (a força global não diminuirá até 0).

Este axioma permite uma separação entre as semânticas baseadas em extensões de semânticas que utilizam argumentos ponderados na avaliação da aceitabilidade dos argumentos. No \mathcal{FCC} este axioma é mantido conforme Propriedade 3 (força global mínima de um argumento). Um argumento não será rejeitado por completo visto que ao menos o agente emissor acredita em suas premissas;

11. **Morte (*Killing*)**: se um argumento arg_i recebe um ataque de arg_j e arg_j possui força global máxima ($os(arg_j) = 1$), então arg_i é rejeitado ($os(arg_i) = 0$).

De acordo com [Amgoud e Ben-Naim \(2016a\)](#), este axioma é a característica fundamental das semânticas baseadas em extensões. No \mathcal{FCC} este axioma não se aplica, visto que os argumentos são ponderados e a força global mínima de um argumento pode ser um valor próximo de zero, conforme Propriedade 3.

12. **Desencadeamento (*Triggering*)**: a força global de um argumento é diminuída quando ele recebe ataques de argumentos não rejeitados. Se este argumento já é rejeitado, então ele não pode ser rejeitado em uma intensidade maior.

No \mathcal{FCC} , quando considerando a força global dos argumentos, este axioma não se aplica, já que a força global mínima sempre será um valor maior que zero (dependendo do número de casas decimais utilizado, conforme Propriedade 3). Por outro lado, na semântica Position, se o argumento atacante possuir um rótulo *in*, então o argumento atacando receberá rótulo *out*. Também é possível que dois argumentos conectados apresentem as mesmas forças intrínsecas e globais, tornando-os *undec*.

13. **Contagem**: quanto maior o número de argumentos não rejeitados atacando um argumento, mais fraco será este argumento.

No \mathcal{FCC} este axioma se mantém conforme apresentado na Propriedade 4.

14. **Reforço**: Se a força do argumento atacante aumentar, então a força do argumento atacado será enfraquecida.

No \mathcal{FCC} este axioma se mantém. Seja $AR = \{arg_0, arg_1, arg_2, arg_3\}$ com $R = \{(arg_1, arg_0), (arg_2, arg_1), (arg_3, arg_2)\}$ conforme apresentado na Figura 22: em (b) a força de arg_1 diminuiu arg_0 ; em (c) a força de arg_1 foi enfraquecida, fortalecendo arg_0 ; em (d) a força de arg_1 foi fortalecida, enfraquecendo arg_0 .

15. **Limitação (*Boundedness*)**: se um argumento é rejeitado, então ele permanecerá rejeitado se algum de seus atacantes for fortalecido.

A Figura 22 demonstra este axioma no \mathcal{FCC} : em (c) tem-se que $os(arg_1) = 0.38$

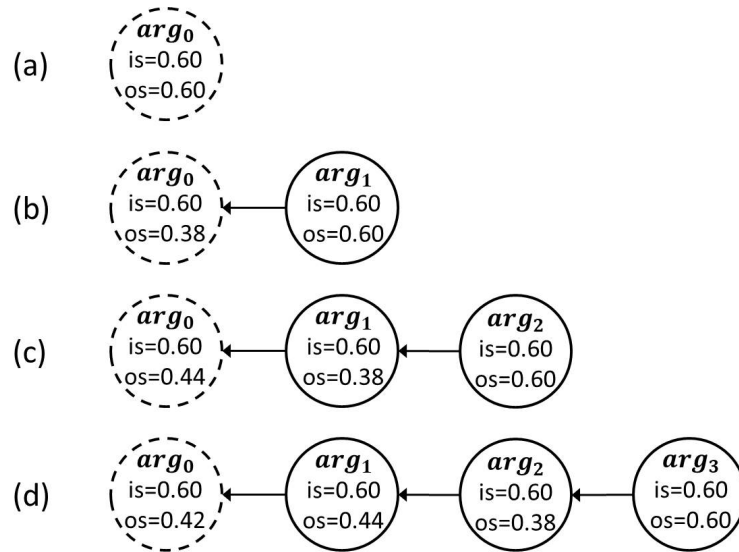


Figura 22 – Reforço entre argumentos. (a) arg_0 : argumento inicial é apresentado ao grupo. (b) arg_1 : argumento contra a alternativa de decisão. (c) arg_2 : ataque a arg_1 e apoio arg_0 . (d) arg_3 : ataque a arg_2 e arg_0 e apoio a arg_1 .

e $os(arg_0) = 0.44$, enquanto que em (b) $os(arg_1) = 0.60$ e $os(arg_0) = 0.38$. Portanto, quanto maior for a força do argumento atacante, maior será o impacto no enfraquecimento do argumento atacado.

O trabalho apresentado por [Amgoud e Ben-Naim \(2016b\)](#) define um conjunto de axiomas semelhantes aos descritos acima, porém, são aplicados à grafos de suporte onde cada aresta não representa um ataque, mas sim uma relação de apoio entre os argumentos. Alguns destes axiomas também se aplicam ao \mathcal{FCC} , tais como:

16. **Não diluição:** os argumentos de apoio não apresentam impacto em suas próprias forças.

Sejam três argumentos $AR = \{arg_1, arg_2, arg_3\}$ e $R = \{(arg_2, arg_1), (arg_3, arg_2)\}$, então o argumento arg_3 apoia o argumento arg_1 . A força (tanto intrínseca quanto global) de arg_3 não é influenciada por esta relação de apoio;

17. **Coerência:** o impacto do apoio é proporcional à força básica de seu alvo.

No \mathcal{FCC} , seja arg_i um argumento sendo atacado. A porcentagem do impacto dos ataques sobre a força global de arg_i é dada por:

$$\frac{\sum_{arg_j \in attack(arg_i)} os(arg_j)}{1 + \sum_{arg_j \in attack(arg_i)} os(arg_j)}$$

O valor bruto da perda da força intrínseca em relação à força global de arg_i é dada por:

$$is(arg_i) * \left(\frac{\sum_{arg_j \in attack(arg_i)} os(arg_j)}{1 + \sum_{arg_j \in attack(arg_i)} os(arg_j)} \right).$$

A força global resultante de arg_i é dada por:

$$is(arg_i) * \left(1 - \frac{\sum_{arg_j \in attack(arg_i)} os(arg_j)}{1 + \sum_{arg_j \in attack(arg_i)} os(arg_j)} \right) = \frac{is(arg_i)}{1 + \sum_{arg_j \in attack(arg_i)} os(arg_j)}$$

18. **Imperfeição:** um argumento não pode ter um valor máximo se sua força base não for máxima.

No \mathcal{FCC} , um argumento arg_i possui uma força global máxima quando $is(arg_i) = 1$ e $attack(arg_i) = \emptyset$, ou seja, quando (i) o argumento não recebe nenhum ataque e (ii) todas as fórmulas de arg_i são apoiadas por todos os agentes do grupo, sem nenhuma rejeição.

19. **Precedência de cardinalidade e qualidade:** um argumento arg_i é mais forte que um argumento arg_j se o número de apoiadores de arg_i for maior que o número de apoiadores de arg_j (cardinalidade). Um argumento arg_i é mais forte que um argumento arg_j se os apoiadores de arg_i forem mais fortes que os apoiadores de arg_j (qualidade).

Com relação ao cálculo da força intrínseca dos argumentos no \mathcal{FCC} , os dois axiomas são aplicáveis. Quanto maior o número de agentes apoiando as fórmulas de um argumento, mais forte ele será. Contudo, cada agente argumentativo possui um valor de *expertise* que influencia diretamente no nível de consenso do grupo sobre as fórmulas do argumento, bem como na sua força intrínseca. Desta forma, as precedências de cardinalidade e qualidade podem ser tratadas como uma única característica quando relacionadas às forças intrínsecas dos argumentos. Para as forças globais, considera-se a força intrínseca do argumento e as forças globais dos argumentos atacantes, conforme Propriedade 4.

20. **Compensação:** um número pequeno de apoiadores fortes compensa um grande número de apoiadores fracos.

Este axioma se aplica no cálculo da força intrínseca dos argumentos no \mathcal{FCC} . Seja $\mathcal{AG} = \{ag_1, ag_2, ag_3\}$ e $\mathcal{EX} = \{0.6, 0.3, 0.1\}$. Se apenas ag_1 apoiar uma fórmula de um argumento, o nível de consenso do grupo sobre esta fórmula será maior que se apenas ag_2 e ag_3 , juntos, apoiassem esta fórmula.

21. **Nulo (*Dummy*):** argumentos que possuem valor 0 não impactam nos argumentos que eles suportam.

Como dito anteriormente, no \mathcal{FCC} a força global mínima de um argumento arg_i sempre será $os(arg_i) > 0$ (dependendo do número de casas decimais consideradas e do valor de *expertise* dos agentes), pois ao menos o agente emissor do argumento apoia suas fórmulas. Seja $AR = \{arg_1, arg_2, arg_3\}$ e $R = \{(arg_2, arg_1), (arg_3, arg_2)\}$.

O argumento arg_3 , com $os(arg_3) > 0$, influencia negativamente na força global de arg_2 e, conseqüentemente, influencia positivamente na força global de arg_1 .

22. **Minimalidade:** se um argumento não é suportado, sua força global é igual a sua força básica.

Este axioma não está presente no \mathcal{FCC} , pois um argumento pode não ter argumentos de suporte, mas pode conter argumentos de ataque (contrastando com o item 7 maximalidade em grafos de ataques).

23. **Fortalecimento:** os argumentos de suporte fortalecem os argumentos sendo suportados por eles, aumentando sua força global.

Aplicável no \mathcal{FCC} , pois argumentos de suporte influenciam negativamente nos argumentos atacantes, fortalecendo de alguma forma os argumentos suportados (item 8 enfraquecimento em grafos de ataques).

24. **Fortalecimento da correção:** a única maneira de aumentar a força global de um argumento é suportar o argumento com um argumento aceitável.

Este axioma não se aplica no \mathcal{FCC} , pois o valor da força global dos argumentos pode ser aumentado de duas formas: (i) informação de apoio nas fórmulas deste argumento aumentando sua força intrínseca e, conseqüentemente, da força global; e (ii) argumentos de suporte, enfraquecendo a força dos argumentos atacantes (item 9 - enfraquecimento da correção em grafos de ataques).

A tabela 15 apresenta uma listagem dos axiomas que as semânticas em grafos de ataque e grafos de defesa devem apresentar, comparando-os com o modelo de diálogos argumentativos \mathcal{FCC} proposto nesta tese. Os valores discrepantes ocorrem visto que no \mathcal{FCC} os argumentos possuem duas forças distintas (intrínseca e global), enquanto que os axiomas consideram apenas a força global dos argumentos.

6.6 Situações de acordo e desacordo total no grupo

O modelo \mathcal{FCC} pode ser aplicado em situações onde a tomada de decisão deve ocorrer quando existe o conflito direto entre as opiniões dos agentes. Quatro cenários são apresentados a seguir.

Cenário 1: desacordo total

Seja $\mathcal{FCC} = \langle \{ag_1, ag_2\}, \{0.5, 0.5\}, \{a, b\}, med, 10, 0.6 \rangle$ com $\Sigma_1 = \{\{a, \neg b\}, \{\}\}$ e $\Sigma_2 = \{\{\neg a, b\}, \{\}\}$, ou seja, ag_1 tem um argumento a favor da alternativa de decisão a ($\langle \{a\}, a \rangle$) e um argumento contra a alternativa de decisão b ($\langle \{\neg b\}, \neg b \rangle$) e ag_2 possui um argumento contra a ($\langle \{\neg a\}, \neg a \rangle$) e um argumento a favor de b ($\langle \{b\}, b \rangle$).

Tabela 15 – Axiomas para semânticas de aceitabilidade de argumentos em grafo de ataques, grafo de suporte e \mathcal{FCC} .

Axiomas	Grafos de Ataque	Grafos de Defesa	\mathcal{FCC}
1. Anonimato	Sim	Sim	Sim
2. Independência	Sim	Sim	Sim
3. Circunscrição	Sim	Não	Sim (acíclicos) Não (cíclicos)
4. Monotonicidade	Sim	Sim	Sim
5. Equivalência	Sim	Sim	Não
6. Neutralidade	Sim	Não	Não
7. Maximalidade	Sim	Não (vide 22)	Sim
8. Enfraquecimento	Sim	Não (vide 23)	Sim
9. Enfraquecimento da correção	Sim	Não (vide 24)	Não
10. Resiliência	Sim	Não	Sim
11. Morte (Killing)	Sim	Não	Não
12. Desencadeamento (Triggering)	Sim	Não	Não
13. Contagem	Sim	Sim	Sim
14. Reforço	Sim	Sim	Sim
15. Limitação (Boundedness)	Sim	Sim	Sim
16. Não diluição	Não	Sim	Sim (acíclico) Não (cíclico)
17. Coerência	Não	Sim	Sim
18. Imperfeição	Não	Sim	Sim
19a. Precedência de cardinalidade	Não	Sim	Não
19b. Precedência de qualidade	Não	Sim	Sim
20. Compensação	Não	Sim	Sim
21. Nulo (Dummy)	Não	Sim	Não
22. Minimalidade	Não (vide 7)	Sim	Não
23. Fortalecimento	Não (vide 8)	Sim	Sim
24. Fortalecimento da correção	Não (vide 9)	Sim	Não

As tabelas de diálogo para este cenário são apresentadas nas Tabelas 16 e 17. As forças globais dos argumentos são apresentadas na Figura 23. Como não houve nenhuma fórmula consentida pelo grupo ($cl(\eta) < \sigma$), observa-se que não existe consenso do grupo sobre a (Figura 23a) ou b (Figura 23b), já que os dois agentes possuem opiniões totalmente divergentes.

A semântica Pro e Con apresenta: $PRO(a) = \{arg_2\}$, $CON(a) = \{arg_1\}$ e $pref(a) = 0$; $PRO(b) = \{arg_2\}$, $CON(b) = \{arg_1\}$ e $pref(b) = 0$. Como $pref(a) = pref(b)$, a decisão deverá ser aleatória onde $\Omega = \langle a, b \rangle$ ou $\Omega = \langle b, a \rangle$.

Na semântica Position, tem-se que: $ACC(AF_a) = \emptyset$ e, portanto, $pref(a) = 0$; $ACC(AF_b) = \emptyset$ e, portanto, $pref(b) = 0$. Os rótulos são: $\mathcal{L}(arg_1) = undec$ e $\mathcal{L}(arg_2) = undec$ nos dois diálogos. A tomada de decisão deve ser aleatória com $\Psi = \langle a, b \rangle$ ou $\Psi = \langle b, a \rangle$.

Em relação aos mundos possíveis: ag_1 aceita apenas $w_1 = [a, -b]$ e ag_2 aceita apenas $w_2 = [-a, b]$. Como $\{a, -b\} \cap \{-a, b\} = \emptyset$, não existe um mundo capaz de satisfazer o grupo de agentes. Neste caso, não existe consenso e a escolha da alternativa vencedora deverá ser aleatória já que as semânticas não fornecem a ordem de preferência do grupo sobre elas.

Tabela 16 – Tabela de diálogo dt_a do Cenário 1.

γ	ag	arg	δ	SUPPORT	REJECT	cl	is
0	med	$\langle \{TRUE\}, a \rangle$	–	$a[ag_1]$	$a[ag_2]$	0	0.50
1	ag_2	$\langle \{-a\}, -a \rangle$	0	$\neg a[]$	$\neg a[ag_1]$	0	0.50
2	ag_1	$\langle \{a\}, a \rangle$	1	$a[]$	$a[ag_2]$	0	0.50

Tabela 17 – Tabela de diálogo dt_b do Cenário 1.

γ	ag	arg	δ	SUPPORT	REJECT	cl	is
0	med	$\langle \{TRUE\}, b \rangle$	–	$b[ag_2]$	$b[ag_1]$	0	0.50
1	ag_1	$\langle \{-b\}, -b \rangle$	0	$\neg b[]$	$\neg b[ag_2]$	0	0.50
2	ag_2	$\langle \{b\}, b \rangle$	1	$b[]$	$b[ag_1]$	0	0.50

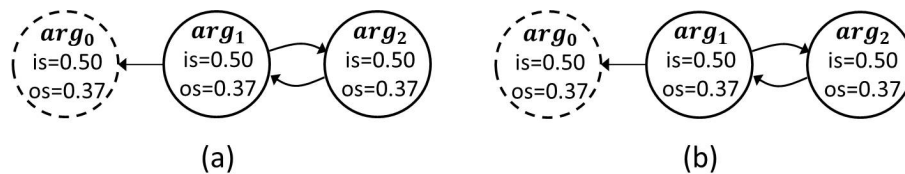


Figura 23 – Grafos de argumentos para o Cenário 1. (a) Argumentos sobre a . (b) Argumentos sobre b .

Cenário 2: desacordo sem argumentação

Seja $FCC = \langle \{ag_1, ag_2\}, \{0.5, 0.5\}, \{a, b\}, med, 10, 0.6 \rangle$ com $\Sigma_1 = \{\{a\}, \{\}\}$ e $\Sigma_2 = \{\{b\}, \{\}\}$, ou seja, ag_1 tem um argumento a favor da alternativa de decisão a ($\langle \{a\}, a \rangle$) e ag_2 possui um argumento a favor de b ($\langle \{b\}, b \rangle$).

As tabelas de diálogos para este cenário são apresentadas nas Tabelas 18 e 19. As forças globais dos argumentos são apresentados na Figura 24. Como não houve nenhuma fórmula consentida pelo grupo ($cl(\eta) < \sigma$), observa-se que não existe consenso do grupo sobre a (Figura 24a) ou b (Figura 24b), já que os dois agentes possuem informações incompletas a respeito das alternativas de decisão.

Como não existe diálogo argumentativo entre os agentes, para a semântica Pro e Con: a força global do argumento possui o mesmo valor da força intrínseca, portanto $pref(a) = pref(b)$. Para a semântica Position: $ACC(AF_a) = \emptyset$ e, portanto, $pref(a) = 0$; $ACC(AF_b) = \emptyset$ e, portanto, $pref(b) = 0$.

Analisando o problema com os mundos possíveis, como ag_1 não possui informações sobre b , os mundos aceitos são $w_1 = [a, b]$ e $w_2 = [a, -b]$. Com relação ao agente ag_2 , os mundos aceitos são $w_1 = [a, b]$ e $w_3 = [-a, b]$. Com $\{\{a, b\}, \{a, -b\}\} \cap \{\{a, b\}, \{-a, b\}\} = \{a, b\}$, as duas alternativas de decisão são aceitas pelo grupo de agentes. A escolha deve ser aleatória já que as semânticas não conseguem determinar a ordem de preferência do grupo.

Tabela 18 – Tabela de diálogo dt_a do Cenário 2.

γ	ag	arg	δ	SUPPORT	REJECT	cl	is
0	med	$\langle \{TRUE\}, a \rangle$	–	$a[ag_1]$	$a[]$	0.5	0.75

Tabela 19 – Tabela de diálogo dt_b do Cenário 2.

γ	ag	arg	δ	SUPPORT	REJECT	cl	is
0	med	$\langle \{TRUE\}, b \rangle$	–	$b[ag_2]$	$b[]$	0.5	0.75

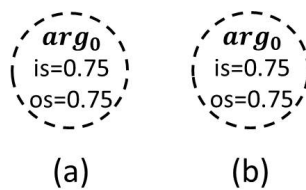


Figura 24 – Grafos de argumentos para o Cenário 2. (a) Argumentos sobre a . (b) Argumentos sobre b .

Cenário 3: acordo total

Seja $FCC = \langle \{ag_1, ag_2\}, \{0.5, 0.5\}, \{a, b\}, med, 10, 0.6 \rangle$ com $\Sigma_1 = \{\{a, b\}, \{\}\}$ e $\Sigma_2 = \{\{a, b\}, \{\}\}$, ou seja, ag_1 e ag_2 possuem argumentos a favor da alternativa de decisão a ($\langle \{a\}, a \rangle$) e de b ($\langle \{b\}, b \rangle$).

As tabelas de diálogo para este cenário são apresentadas nas Tabelas 20 e 21. As forças globais dos argumentos são apresentados na Figura 25.

Como não existe diálogo argumentativo entre os agentes, para a semântica Pro e Con: a força global dos argumentos possuem os mesmos valores das forças intrínsecas, portanto $pref(a) = pref(b)$. Para a semântica Position: $ACC(AF_a) = \emptyset$ e, portanto, $pref(a) = 0$; $ACC(AF_b) = \emptyset$ e, portanto, $pref(b) = 0$.

O agente ag_1 possui apenas um mundo possível $w_1 = [a, b]$ e o agente ag_2 também aceita o mundo $w_1 = [a, b]$. Como $\{a, b\} \cap \{a, b\} = \{a, b\}$, as duas alternativa de decisão são aceitas pelo grupo. A escolha da alternativa de decisão depende da semântica escolhida. Como as semânticas não fornecem a ordem de preferência do grupo, a escolha deve ser aleatória.

Tabela 20 – Tabela de diálogo dt_a do Cenário 3.

γ	ag	arg	δ	SUPPORT	REJECT	cl	is
0	med	$\langle \{TRUE\}, a \rangle$	–	$a[ag_1, ag_2]$	$a[]$	1.0	1.0

Tabela 21 – Tabela de diálogo dt_b do Cenário 3.

γ	ag	arg	δ	SUPPORT	REJECT	cl	is
0	med	$\langle \{TRUE\}, b \rangle$	–	$b[ag_1, ag_2]$	$b[]$	1.0	1.0

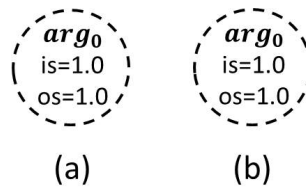


Figura 25 – Grafos de argumentos para o Cenário 3. (a) Argumentos sobre a . (b) Argumentos sobre b .

Cenário 4: desacordo total sobre alternativas negativas

Seja $FCC = \langle \{ag_1, ag_2\}, \{0.5, 0.5\}, \{-a, -b\}, med, 10, 0.6 \rangle$ com $\Sigma_1 = \{\{a, -b\}, \{\}\}$ e $\Sigma_2 = \{\{-a, b\}, \{\}\}$. As bases de conhecimentos dos agentes são equivalentes ao Cenário 1, entretanto, as alternativas de decisão refletem a escolha sobre decisões negativas.

As tabelas de diálogos para este cenário são apresentadas nas Tabelas 22 e 23. As forças globais dos argumentos são apresentados na Figura 26. Como não houve nenhuma fórmula consentida pelo grupo ($cl(\eta) < \sigma$), observa-se que não existe consenso do grupo sobre $\neg a$ (Figura 26a) ou $\neg b$ (Figura 26b), já que os dois agentes possuem opiniões totalmente divergentes.

A semântica Pro e Con apresenta: $PRO(\neg a) = \{arg_2\}$, $CON(\neg a) = \{arg_1\}$ e $pref(\neg a) = 0$; $PRO(\neg b) = \{arg_2\}$, $CON(\neg b) = \{arg_1\}$ e $pref(\neg b) = 0$. Na semântica Position, tem-se que: $ACC(AF_{\neg a}) = \emptyset$ e, portanto, $pref(\neg a) = 0$; $ACC(AF_{\neg b}) = \emptyset$ e, portanto, $pref(\neg b) = 0$. Os rótulos são: $\mathcal{L}(arg_1) = undec$ e $\mathcal{L}(arg_2) = undec$ nos dois diálogos.

Em relação aos mundos possíveis: ag_1 aceita apenas $w_1 = [a, \neg b]$ e ag_2 aceita apenas $w_2 = [\neg a, b]$. Como $\{a, \neg b\} \cap \{\neg a, b\} = \emptyset$, não existe um mundo capaz de satisfazer o grupo de agentes. Neste caso, não existe consenso e a escolha da alternativa vencedora deverá ser aleatória.

Tabela 22 – Tabela de diálogo $dt_{\neg a}$ do Cenário 4.

γ	ag	arg	δ	SUPPORT	REJECT	cl	is
0	med	$\langle \{TRUE\}, \neg a \rangle$	–	$\neg a[ag_2]$	$\neg a[]$	0.5	0.75
1	ag_1	$\langle \{a\}, a \rangle$	–	$a[]$	$a[ag_2]$	0	0.5
2	ag_2	$\langle \{\neg a\}, \neg a \rangle$	–	$\neg a[]$	$\neg a[ag_1]$	0	0.5

Tabela 23 – Tabela de diálogo $dt_{\neg b}$ do Cenário 4.

γ	ag	arg	δ	SUPPORT	REJECT	cl	is
0	med	$\langle \{TRUE\}, \neg b \rangle$	–	$\neg b[ag_1]$	$\neg b[]$	0.5	0.75
1	ag_2	$\langle \{b\}, b \rangle$	–	$b[]$	$b[ag_1]$	0	0.5
2	ag_1	$\langle \{\neg b\}, \neg b \rangle$	–	$\neg b[]$	$\neg b[ag_2]$	0	0.5

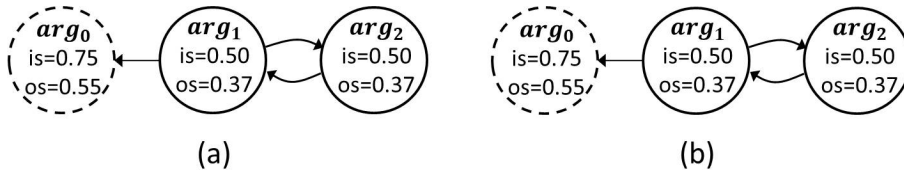


Figura 26 – Grafos de argumentos para o Cenário 4. (a) Argumentos sobre $\neg a$. (b) Argumentos sobre $\neg b$.

Como as alternativas de decisão são negadas, a escolha por $\neg a$ indica que b deve ser o resultado da tomada de decisão (e vice-versa), conforme Propriedade 5.

6.7 Limitações do modelo

O modelo de diálogos argumentativos aplicado à tomada de decisão consensual por meio da formação do conhecimento comum possui algumas limitações quanto aos tipos de diálogos aplicados à argumentação em sistemas multi-agentes, bem como limitações relacionadas à tomada de decisão consensual.

Entre os tipos de diálogos envolvidos em uma argumentação (Tabela 3, página 39), o *FCC* contemplou apenas a questão de deliberação. A *erística* não se aplica em um ambiente onde o consenso é o objetivo do diálogo, pois os agentes devem agir colaborativamente na tentativa de chegar a acordos coletivos. A persuasão e negociação pode ser um ponto positivo no diálogo, especialmente quando a tomada de decisão implica na execução de ações em diversos agentes do sistema. Entretanto, a execução da decisão aceita pela maioria dos agentes envolve uma série de planos e ações, não sendo parte dos objetivos desta tese. Os diálogos interrogatórios podem ser utilizados pelo grupo de agentes para a construção de conhecimento distribuído, enquanto que a busca por informações pode ser representada na comunicação entre os agentes sem a necessidade da participação do agente mediador.

Comparando as mensagens trocadas entre os agentes argumentativos e mediador com as performativas definidas em [Amgoud, Maudet e Parsons \(2002\)](#), pode-se considerar que: (i) *request* representa a requisição do agente mediador para que um agente argumentativo forneça seus argumentos a serem discutidos pelo grupo, ou então a requisição ao grupo sobre a informação de apoio e rejeição em alguma fórmula do argumento; (ii) *argue* representa o envio dos argumentos nas bases S_i ao agente mediador quando requisitado (resposta ao *request*); (iii) *accept* representa um apoio em uma fórmula de um argumento (resposta a *request*); (iv) *refuse* representa uma rejeição em uma fórmula de um argumento (resposta a *request*); (v) *challenge* representa a mensagem transmitida do agente mediador aos agentes argumentativos informando que uma fórmula deve ser aceita como conhecimento comum ou que esta fórmula não foi consensualmente aceita; (vi) *question* representa a situação onde um agente argumentativo se comunica diretamente com outro agente argumentativo sobre alguma fórmula; (vii) *assert* representa uma resposta a *question*. As performativas *promise* e *retract* não possuem relação com os tipos de mensagens envolvidas na comunicação entre os agentes para a tomada de decisão consensual¹.

Com relação ao sistema de informação de apoios e rejeições, o modelo atua de forma semelhante à agregação de julgamentos. Entretanto, a decisão majoritária sobre a aceitação de uma fórmula é realizada com base nos valores de *expertise* dos agentes e do limiar σ definido no framework. Além disso, os agentes podem não fornecer seus apoios e rejeições quando a fórmula é desconhecida. Como a informação de apoio e rejeição apenas define a aceitação de uma fórmula, não existe uma regra para determinar a aceitabilidade dos argumentos (ex.: regras baseadas em premissa, conclusão, cotas, distâncias, etc.). Esta aceitabilidade é valorada por meio da força intrínseca do argumento.

Sobre o modelo de tomada de decisão consensual, o *FCC* não aborda um dos conceitos fundamentais: bloqueio, ou seja, uma situação de desacordo onde algum dos

¹ A performativa *retract* poderia ser redefinida para representar uma mensagem do agente mediador ao agente argumentativo informando que determinado argumento não é válido (não foi aceito) para o diálogo atual.

agentes não consente com decisão do grupo, seja por incompatibilidade com algum de seus objetivos particulares ou pela não disponibilidade de recursos necessários para a execução da decisão preferida pelo grupo. No modelo proposto, não é possível que um agente faça um bloqueio sobre as alternativas de decisão. O modelo pode ser estendido para envolver objetivos individuais dos agentes e construção de planos que são necessários para a execução das ações sobre uma alternativa de decisão. Caso algum dos objetivos individuais não seja satisfeito, um agente argumentativo poderia fornecer um bloqueio da decisão.

Outra característica importante em relação ao bloqueio da alternativa de decisão se refere aos recursos necessários para que a decisão possa ser adotada pelo grupo. Por exemplo: um grupo de agentes decide sobre qual ação um robô limpador deve executar. As alternativas são: a =coletar um lixo sólido ou b =ajudar outros robôs limpadores a recolher um lixo grande. Os recursos disponíveis são: o agente possui 40 unidades de *bateria*, consegue carregar até 20KG de *peso* e existe uma ação agendada para ser executada em um *tempo* de 10 minutos. Caso a escolha do grupo seja b e os recursos necessários para executar esta decisão seja $bateria = 20$, $peso = 30$ e $tempo = 5$, esta decisão pode ser bloqueada, já que não existe o recurso *peso* disponível para a escolha da alternativa b .

6.8 Conclusão

Este capítulo apresentou uma avaliação das características presentes no modelo para tomada de decisões consensual baseada na formação do conhecimento comum por meio de argumentação e uma discussão sobre estas características. Inicialmente, um conjunto de propriedades relacionadas à representação do conhecimento e sobre as semânticas para tomada de decisão consensual foram apresentadas. Em seguida, foi realizada uma discussão sobre os resultados obtidos nos dois casos de estudos apresentados nas Seções 5.1 e 5.2 utilizando a estrutura Kripke para representação do conhecimento nos agentes argumentativos. As características do modelo proposto são comparadas com o sistema S5.

Os axiomas aplicados às semânticas de argumentação foram apresentados e uma discussão sobre eles foi realizada quanto ao FCC . Em seguida, quatro cenários foram discutidos para demonstrar situações onde as opiniões do grupo de agentes são próximas ou divergentes. Por fim, as limitações do modelo foram explicadas. O próximo capítulo traz uma relação de trabalhos correlatos e as diferenças quando comparadas ao modelo proposto nesta tese.

7 Trabalhos relacionados

Vários trabalhos foram propostos para tentar formalizar o que é conhecido como “Raciocínio do Senso Comum” (*commonsense reasoning*). Na Inteligência Artificial, o raciocínio do senso comum visa simular a capacidade humana de fazer suposições sobre determinadas situações usando padrões de inferência. De acordo com [Prakken \(2004\)](#), o que é necessário para modelar o raciocínio do senso comum é uma teoria de raciocínio “rápida e suja” em que alguma regra geral é aplicada para concluir algo quando nenhuma exceção é conhecida, mas quando novos conhecimentos são adquiridos e indicar alguma exceção, a conclusão prévia deverá ser reconsiderada. Por exemplo: tendo-se dois argumentos conflitantes, aceitar algumas premissas ou construir novos contra-argumentos pode ser considerado raciocínio do senso comum ([\(OLIVA, 2008\)](#), página 73). Este capítulo apresenta um conjunto de trabalhos relacionados que se referem ao uso de argumentação para tomada de decisão, em especial os que trabalham com argumentação ponderada.

O trabalho utilizado como base para diversas pesquisas na área de argumentação foi proposto por [Dung \(1995\)](#). Dung propõe semânticas para determinar a admissibilidade de argumentos, ou seja, um método formal para identificar resultados de conflitos, tais como semântica preferida (*preferred*), fundamentada (*grounded*), entre outras. A ideia é especificar conjuntos de argumentos aceitáveis conhecidos como extensões: uma extensão é um conjunto de argumentos que podem ser aceitos juntos. Estas semânticas são usadas para selecionar argumentos sem considerar as relações de suporte ou rejeição sobre uma alternativa de decisão ou sobre sobre decisões coletivas. Ao lidar com argumentos ponderados e, especialmente em situações onde as forças destes argumentos representam níveis de consenso, essas extensões não são apropriadas para indicar a preferência do grupo, uma vez que não consideram quais argumentos são mais fortes, permitindo argumentos fracos derrotarem argumentos mais fortes. Uma das contribuições desta tese é a proposta de duas semânticas para determinar a preferência do grupo sobre um conjunto de alternativas de decisão. A primeira semântica proposta considera cada argumento enviado em um diálogo onde o resultado é influenciado tanto pelos argumentos apoiadores quanto pelos argumentos atacantes de cada alternativa de decisão. A segunda semântica proposta usa outra perspectiva ao analisar o conjunto de argumentos, considerando apenas os argumentos mais fortes. A ideia é que apenas os argumentos mais fortes são os responsáveis por influenciar na tomada de decisão.

Um dos principais trabalhos que se concentram no uso de componente de confiança na avaliação de argumentos foi proposto por [Pereira, Tettamanzi e Villata \(2011\)](#) que propõem uma estrutura na qual a revisão de crenças é feita usando argumentação e associa rotulamento Fuzzy a cada argumento, permitindo que o agente mude de ideia sem remover

as informações anteriores de forma permanente, além de permitir a recuperação destas informações caso elas estejam incorretas. Nesta tese, a avaliação dos argumentos é feita sobre o conjunto de fórmulas do argumento e no quanto cada fórmula do argumento é conhecida pelo grupo, diferentemente das abordagens que consideram apenas a estrutura abstrata do argumento (ex.: Cayrol e Lagasquie-Schiex (2005), Bench-Capon (2003)) ou as abordagens onde os argumentos aceitos são aqueles que foram enviados pelas fontes mais confiáveis (ex.: Fan e Toni (2012)). Além disso, os agentes mantêm todas as informações em sua base de conhecimento, usando rótulos para determinar quais informações são consideradas aceitas pelo grupo (conhecimento comum) e quais mundos possíveis esta informação poderá ser aplicável.

Em Dunin-Keplicz e Verbrugge (2010), os autores propõem um modelo que utiliza crenças comuns. Neste trabalho, existe um tipo de confiança cega dos membros do grupo. Quando um agente envia uma mensagem ao grupo com alguma fórmula η , todos os agentes do grupo acreditam que η seja verdadeira e aplicável a todos os mundos e que esta fórmula também seja uma crença comum. Diferentemente da proposta desta tese, o conhecimento comum é calculado somente pelo agente mediador durante a fase da informação de apoio ou rejeição, e rótulos são usados para diferenciar conhecimento comum de crenças individuais obtidas por meio da comunicação com outros agentes.

O trabalho desenvolvido por Fagin e Halpern (1994) serve como base para outros trabalhos que envolvem o conhecimento comum. A ideia é raciocinar sobre o conhecimento que um agente possui e sobre uma probabilidade associada a certos eventos. As fórmulas podem ser expressas por $w_i(\eta) \geq w_i(\mu)$ ou $w_i(\eta) < 1/3$, onde η e μ são fórmulas proposicionais relacionadas ao mundo w para o agente ag_i . Os autores afirmam que é conveniente conhecer a probabilidade relacionada a um conjunto arbitrário de mundos ao invés do conjunto de todos os mundos que o agente considera possível. Se um agente ag_i conhece algumas probabilidades, tais como $w_i(\eta) = 1/2$ sobre um mundo possível e $w_i(\eta) = 1/3$ para os outros mundos possíveis, este agente não é capaz de fazer distinções entre os mundos, onde $K_i(w(\eta)) \geq 1/2$ é mantido para todos os mundos possíveis. No trabalho proposto nesta tese, cada fórmula aceita pelo grupo recebe uma anotação contendo um rótulo indicando um mundo possível e um nível de consenso. Desta forma, os agentes podem manter as informações explicitamente separadas para cada mundo possível, além de usar os valores preferidos quando surgirem outros mundos possíveis.

Alguns trabalhos relacionados focaram na tomada de decisão consensual e utilizam semânticas para a avaliação dos valores atribuídos aos argumentos. Walton, Toniolo e Norman (2014) propõem um modelo revisado para diálogos deliberativos que tenta encontrar consenso sobre uma alternativa de decisão. O modelo sugere a aplicação de três estágios principais: abertura, argumentação e fechamento. O modelo também utiliza alguns critérios para determinar quando a deliberação é bem sucedida. O julgamento sobre

a decisão pode ser feito pelos agentes participantes do diálogo, ou então externamente quando um outro grupo de agentes determina o resultado da tomada de decisão. O diálogo se encerra quando os agentes concordam com uma alternativa de decisão, ou então, quando não existem mais opções disponíveis para serem debatidas. Caso o grupo de agentes aceite a primeira alternativa de decisão sendo discutida, nenhuma outra alternativa de decisão será discutida pelo grupo, violando o princípio de que todas as alternativas de decisão devem ser discutidas e todas as opiniões devem ser levadas em consideração para a tomada de decisão consensual. Nesta tese, o estágio de abertura consiste na definição do framework; o estágio de argumentação corresponde ao processo de diálogo; e o estágio de fechamento envolve o uso de semânticas para determinar o resultado preferido pelo grupo. Diferentemente do trabalho acima, propõe-se um diálogo no qual: (1) um agente mediador conduz e sincroniza as mensagens recebidas; (2) o nível de consenso do grupo é obtido por meio de um mecanismo de informação sobre apoios e rejeições; (3) argumentos e contra-argumentos são considerados, e o grafo de argumentos é produzido; (4) todas as alternativas de decisão são discutidas pelo grupo a fim de descobrir qual delas é a preferida; e (5) uma semântica é usada para se calcular o nível de preferência do grupo sobre cada alternativa de decisão.

Coste-Marquis et al. (2012) propõe um framework de argumentação ponderado $WAF = \langle A, R, w \rangle$ onde $\langle A, R \rangle$ é um framework abstrato de argumentação e $w : A \times A \rightarrow \mathbb{N}$ é uma função que associa um número natural a cada relação de ataque (ex.: $w(a, b) > 0$ se e somente se $R(a, b)$). Cada aresta recebe um peso baseado no número de votos dos agentes. Os autores sugerem que é útil ter pesos nas relações de ataques quando é preciso selecionar uma extensão, especialmente quando existem muitas extensões (ex.: extensões propostas por Dung). Usando funções de agregação, tais como *sum* e *max*, os autores propõem algumas alternativas para a escolha da melhor extensão, tais como determinando o conjunto dos argumentos mais atacantes, mais atacados, melhor defendidos globalmente ou melhor defendidos localmente. Aplicando um mapeamento do caso de estudo sobre *game design* (Capítulo 5, seção 5.1) onde $w(a, b) = os(a)$ se e somente se $R(a, b)$ com $w : A \times A \rightarrow [0, 1]$, usando os conjuntos de argumentos *sum-most attacking* (*sm*), *sum-least attacked* (*sl*), *max-most attacking* (*mm*) e *max-least attacked* (*ml*), baseado na extensão preferida ε (*preferred extension* (DUNG, 1995)), tem-se que:

- Para a alternativa de decisão *jack*: $\varepsilon_1 = \{arg_1, arg_4, arg_6\}$, $\varepsilon_2 = \{arg_0, arg_4, arg_5, arg_6, arg_7\}$, com $sm = \{\varepsilon_2\}$, $sl = \{\varepsilon_1\}$, $mm = \{\varepsilon_2\}$ e $ml = \{\varepsilon_2\}$. A maioria das extensões levam a ε_2 com um resultado análogo onde $acceptable(AF_{jack}) \subseteq \varepsilon_2$;
- Para a alternativa de decisão *ace*: $\varepsilon_1 = \{arg_0, arg_2, arg_3, arg_4\}$, com $sm = sl = mm = ml = \{\varepsilon_1\}$ e $acceptable(AF_{ace}) \subseteq \varepsilon_1$;
- Para a alternativa de decisão *king*: $\varepsilon_1 = \{arg_1, arg_4, arg_6, arg_9\}$, $\varepsilon_2 = \{arg_1, arg_4,$

$arg_8, arg_9\}$, $\varepsilon_3 = \{arg_0, arg_4, arg_5, arg_6, arg_9\}$, $\varepsilon_4 = \{arg_0, arg_3, arg_4, arg_5, arg_8, arg_9\}$ com $sm = \{\varepsilon_4\}$, $ml = \{\varepsilon_4\}$, $sl = \{\varepsilon_3\}$ e $mm = \{\varepsilon_3, \varepsilon_4\}$. A maioria das extensões levam a ε_4 com um resultado análogo onde $acceptable(AF_{king}) \subseteq \varepsilon_4$.

Como pode ser observado, a proposta desta tese pode lidar com argumentos estruturados, produzindo somente um conjunto de argumentos aceitáveis e sugerindo o nível de preferência do grupo para cada alternativa de decisão. Contudo, o conjunto de argumentos aceitáveis nem sempre será uma extensão (*grounded*, *preferred*, etc.). Por exemplo, seja $AF = \langle AR, R \rangle$ um framework abstrato de argumentação onde $AR = \{a, b, c, d\}$ e $R = \{(b, a), (b, c), (c, b), (d, c)\}$ com a representando o argumento inicial do diálogo, $os(b) = 0.5$, $os(c) = 0.8$ e $os(d) = 0.4$. Tem-se que $acceptable(AF) = \{c\}$ que pertence ao conjunto de argumentos livres de conflitos; no entanto, não é *preferred*, *grounded*, *stable* ou qualquer outra semântica proposta por Dung, uma vez que os argumentos aceitos são baseados no nível de consenso.

Possivelmente, o trabalho mais próximo relacionado ao modelo proposto nesta tese foi proposto por Leite e Martins (2011). Os autores criaram uma extensão do framework abstrato de argumentação proposto por Dung e aplicaram este novo framework em sistemas de debate *online* em que as pessoas pudessem votar apoiando ou rejeitando os argumentos, ou então enviar novos argumentos ao debate. Os argumentos não possuem uma estrutura lógica, podendo ser expressos por uma descrição textual, link para um determinado recurso, imagem ou qualquer outro tipo de informação. Leite e Martins definiram uma semântica para ser aplicada em um framework abstrato social de argumentação que pode ser mapeado para as características desejáveis dos sistemas de debates online (MODGIL et al., 2013). Esta semântica retorna uma classificação dos argumentos a partir dos mais fortes até os mais fracos, e sugere um resultado que é preferido pelo grupo, mas não definitivo. Existem outras semânticas baseadas em classificação que oferecem a ordem de preferência para os argumentos em um grafo de argumentos, sugerindo (mas não afirmando) o resultado final da decisão, tais como as descritas por Bonzon et al. (2016). O modelo proposto nesta tese oferece as seguintes características: (i) argumentos são logicamente estruturados; (ii) argumentos são enviados por agentes em um grupo restrito; (iii) as forças dos argumentos são obtidas por meio de informações de apoio e rejeições baseados no valor de *expertise* de cada agente; (iv) as forças dos argumentos usam valores quantitativos (informações sobre apoios e rejeições) e qualitativos (relações de ataque); (v) existem diálogos diferentes, um para cada alternativa de decisão; (vi) o modelo para tomada de decisão consensual ainda oferece como resultado uma ordem de preferência do grupo sobre o conjunto de alternativas de decisão candidatas.

A Tabela 24 apresenta um resumo da comparação dos trabalhos relacionados com o modelo de diálogos argumentativos para formação do conhecimento e tomada de decisão por consenso \mathcal{FCC} , proposto nesta tese. Como pode ser observado, o modelo proposto não

Recurso	DUNG, 1995 / CAMINADA, 2006	PEREIRA; TETTAMANZI; VILLATA, 2011	DUNIN-KEPLICZ; VERBRUGGE, 2010	WALTON; TONIOLO; NORMAN, 2014	COSTE-MARQUIS et al., 2012	(LEITE; MARTINS, 2011)	PROPOSTA
Argumentação Abstrata	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Sim
Argumentação Estruturada	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim
Grafo ponderado	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim
Diálogos	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
Revisão de Crenças	Não	Sim Agente "mais confiável" determina aceitação de fórmulas	Sim Todas as informações são tidas como verdadeiras	Não	Não	Não	Não Crenças aplicáveis a mundos distintos
Módulo de confiança	Não	Sim Não apresentado	Não	Não	Não	Não	Sim Estático
Agente mediador	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim
Tomador de decisão	Agente	Agente	Grupo	Grupo ou grupo externo	Agente	Agente	Grupo e Mediador
Estágios para argumentação	Não	Não	Sim Abertura, votação, confirmação e fechamento	Sim Abertura, Argumentação e Fechamento	Não	Não	Sim Framework, abertura, argumentação, semântica e sugestão da decisão
Crítérios para fim do diálogo	Não	Não	Sim Fórmula satisfeita ou não satisfeita	Sim Processo de deliberação	Não	Não	Sim Todas as alternativas e todos os argumentos discutidos
Sistema de votação	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Resultado das semânticas	Conjuntos de argumentos aceitos	Argumentos rotulados (fuzzy, graus de aceitabilidade)	Conjunto de crenças comuns	Fatores positivos e negativos sobre cada alternativa de decisão	Argumentos mais atacados, globalmente/localmente defendidos	Classificação dos argumentos, do mais forte ao mais fraco	Ordem de preferência do grupo sobre as alternativas de decisão

Tabela 24 – Recursos utilizados na tomada de decisão por consenso e suas aplicações nos trabalhos relacionados

lida com o processo de revisão de crenças. Entretanto, ocorre uma atualização da base de conhecimentos com as fórmulas que foram aceitas pela maioria dos agentes, tornando-se conhecimento comum no grupo e aplicáveis a mundos distintos. Como resultado das semânticas propostas, tem-se ainda que o modelo oferece uma vantagem além do conjunto de argumentos aceitos em um diálogo, fornecendo como resultado a ordem de preferência do grupo de agentes sobre o conjunto de alternativas de decisão disponíveis.

7.1 Conclusão

Este capítulo apresentou um conjunto de trabalhos relacionados que utilizam sistemas de argumentação aplicados a tomada de decisão. Foi realizada uma breve comparação destes trabalhos com o modelo proposto nesta tese considerando os seguintes recursos: uso de argumentação (abstrata e estruturada), uso de grafos ponderados de argumentos, presença ou ausência de diálogos argumentativos, uso de módulo de confiança para determinar a *expertise* dos agentes, presença de agente mediador, determinação do agente tomador de decisão, definição de estágios para conduzir o processo de tomada de decisão, identificação de critérios para o encerramento do diálogo, uso de mecanismos de votação e resultados obtidos com a aplicação dos trabalhos.

O capítulo seguinte trata das conclusões finais do trabalho, onde as perguntas de pesquisa definidas no Capítulo 1 são respondidas e os trabalhos futuros são definidos.

8 Conclusão

O Capítulo 1 apresentou duas perguntas de pesquisa motivadoras do desenvolvimento desta tese. A primeira refere-se aos critérios provavelmente a serem utilizados na identificação da existência de consenso do grupo sobre as informações presentes em determinado argumento e também a existência de consenso sobre o argumento de modo geral. O Capítulo 3 trata da resposta a este questionamento. O modelo para tomada de decisão consensual baseado na formação do conhecimento comum por meio da argumentação possui agentes desempenhadores de dois tipos de funções: agentes argumentativos e agente mediador. O agente argumentativo é o responsável por criar argumentos e por informar apoios e rejeições, enquanto o agente mediador é o responsável pela condução do processo de diálogo. Cada agente argumentativo possui a própria base de conhecimentos, mas, como o conhecimento é individual, podem surgir situações de conflitos de opiniões. O agente mediador é o responsável por determinar o momento em que uma informação (fórmula) no argumento deve ser considerada conhecimento comum. Para isso, ele calcula o nível de consenso de uma fórmula e compara-lhe o valor ao limiar, determinante do momento em que uma informação deve ser aceita pelo grupo. Desta forma, é respondida a primeira parte da pergunta: para identificar se existe consenso do grupo sobre determinada informação, esta informação deve ser apoiada pela maioria dos agentes. Adicionalmente, estabeleceu-se o valor de *expertise* para cada agente, de forma que a presença de uma autoridade seja possível. Quando o valor de *expertise* é o mesmo para todos os agentes, inexistente o agente influenciador na tomada de decisão (requisito para o processo de tomada de decisão consensual). Desta forma, o modelo proposto pode ser customizado para determinar até que ponto um agente mediador pode determinar o momento em que uma fórmula deve ser aceita pelo grupo.

Com o conjunto de níveis de consenso (cada fórmula possui um nível de consenso) de determinado argumento, pode-se calcular a força intrínseca, cujo valor diz respeito tão somente ao conjunto de fórmulas (estrutura interna) dos argumentos. Assim, a segunda parte da pergunta está respondida: o valor por inteiro do consenso é representado pela sua força intrínseca, que considera o nível de consenso do grupo sobre toda sua estrutura interna, sem considerar as relações com outros argumentos.

A segunda pergunta refere-se à maneira como o consenso sobre as informações de um argumento poderia influenciar sobre a força do argumento e também sobre a tomada de decisão. O Capítulo 4 apresenta um modelo de resposta a essa pergunta. Os diálogos são mapeados para grafos de argumentos, processo que se torna necessário para que todas as relações de ataques entre os argumentos sejam identificadas e que as semânticas de argumentação possam ser aplicadas. Presentes todas as relações de ataque, pode-se,

então, calcular a força global destes argumentos, utilizada para aquilatar o quanto um argumento permanece aceitável após receber ataques. Assim, a primeira parte da pergunta é respondida: a partir da força intrínseca dos argumentos (informações sobre a estrutura interna dos argumentos), as relações de ataque e defesa são utilizadas também para fortalecê-la ou enfraquecê-la.

Com um grafo de argumentos, é possível determinar os argumentos que causam maior impacto na tomada de decisão. Como os argumentos possuem forças (intrínseca e global) determinadas pelo consenso do grupo, faz-se necessário determinar o nível de preferência do grupo concernentemente a cada alternativa de decisão. Com isso, pode-se responder à segunda parte da pergunta: o consenso sobre as informações do argumento está diretamente relacionada à força global do argumento. Desta forma, o conjunto de argumentos emitidos em um diálogo apresentam pontos de suporte e ataque para cada alternativa de decisão. Com o uso de semânticas, é possível calcular o nível de preferência do grupo para cada alternativa de decisão e obter a ordem de preferência do grupo e a alternativa preferida. Tais ações estão diretamente relacionadas à decisão consensual, já que o nível de preferência utiliza as forças intrínsecas e globais dos argumentos para representar o consenso do grupo sobre eles.

Duas semânticas foram propostas para a análise do conjunto de argumentos e determinação do nível de preferência do grupo sobre as alternativas de decisão disponíveis: Pro e Con e Position. Diferentemente das semânticas definidas por Dung, que resultam em extensões contedoras do conjunto de argumentos aceitos em um diálogo, as semânticas propostas são capazes de avaliar argumentos ponderados. Para Dung, se um argumento arg_1 não recebe ataques e arg_1 ataca arg_2 , então arg_2 não será aceito. Entretanto, quando temos forças nos argumentos, o argumento arg_1 pode não ser capaz de invalidar arg_2 , pois a força de arg_2 pode permanecer superior à força de arg_1 , de modo a sobreviver ao ataque recebido. A semântica Pro e Con calcula o nível de preferência do grupo considerando todos os argumentos emitidos em cada diálogo. A semântica Position calcula a preferência do grupo sobre a alternativa de decisão considerando apenas os argumentos mais fortes e influenciadores.

Por meio da aplicação do modelo, dois casos de estudo foram discutidos: *game design* e robô em situação de resgate. Os resultados demonstraram como as opiniões do grupo de agentes foram aproximadas a partir da formação do conhecimento comum. Adicionalmente, um conjunto de propriedades demonstram como os conhecimentos individuais e coletivo podem ser representados, assim como o comportamento e as características do sistema a respeito das forças (intrínseca e global) e tomada de decisão.

Por fim, acredita-se que o modelo para construção do conhecimento comum possa ser aplicado em qualquer domínio que seja necessário identificar o consenso de determinado grupo sobre uma informação ou sobre um argumento, ou então em situações em que a

formação de opinião coletiva seja necessária. Para que haja consenso, o grupo de agentes deve consentir com as opiniões da maioria dos agentes fornecidas durante um diálogo. Nos Sistemas Multiagentes, isso pode ser útil em vários domínios, tais como: chatbots, redes de sensores, classificação da importância de páginas Web, formação de opinião coletiva ou decisão sobre ações que possam ser executadas simultaneamente, por consenso, pelos agentes de um grupo. O modelo também lida com a tomada de decisão colaborativa ao escolher a alternativa de decisão preferida por determinado grupo. Cada argumento recebe um valor social representando sua força intrínseca e força global. As semânticas propostas são capazes de indicar a ordem de preferência do grupo sobre as possíveis alternativas de decisão, levando-se em consideração a força consensual de cada argumento.

8.1 Trabalhos Futuros

Com relação aos trabalhos futuros, algumas direções parecem ser promissoras, tais como definição de condições para bloqueio da alternativa de decisão, extensão do modelo para lidar com recursos disponíveis aos agentes e recursos necessários para a adoção da alternativa de decisão pelo grupo de agentes, e o uso de sistemas de reputação para atribuir os valores de *expertise* aos agentes.

Como a possibilidade de bloqueio da decisão é uma das características do processo de tomada de decisão consensual, caso a tomada de decisões impossibilite um agente a atingir seus objetivos, ou então envolva um conjunto de planos ou ações individuais dos agentes, as alternativas de decisão preferidas pelo grupo de agentes pode não ser implementadas. Neste sentido, pode-se ocorrer uma situação de bloqueio.

Nesta tese, os valores de *expertise* são definidos no FCC de forma estática e permanecem durante toda a execução do diálogo e tomada de decisão. Estes valores poderiam ser dinâmicos e representar a especialidade do agente sobre determinados assuntos. Assim, o valor do impacto do apoio ou rejeição de um agente em uma fórmula de um argumento estaria relacionado ao tipo de informação (domínio) que estaria sendo apoiada ou rejeitada. Por exemplo: se o agente ag_1 representa um médico e o agente ag_2 representa um advogado, um argumento com informações sobre medicamentos teria uma força mais representativa quando ag_1 o apoiasse/rejeitasse quando comparado ao ag_2 , visto que o domínio do assunto é de especialidade do médico.

Outra direção interessante envolve a revisão de crenças nas bases de conhecimento dos agentes. A revisão de crenças permite que os agentes deixem de acreditar em determinadas informações. Como cada argumento possui um conjunto de informações e cada informação apresenta um nível de consenso, dependendo do nível de consenso e dos argumentos em defesa destas informações, os agentes poderiam mudar suas opiniões de forma definitiva para todos os mundos possíveis.

8.2 Trabalhos publicados

As seguintes publicações fazem parte do desenvolvimento deste trabalho:

- POSSEBOM, Ayslan T.; MORVELI-ESPINOZA, Mariela; TACLA, Cesar A. *A Framework for the Consensus Decision-Making based on Arguments and Common Knowledge Formation*. Acta Scientiarum. Technology, *No prelo*.
- POSSEBOM, Ayslan T. *Consensus Decision-Making using Argumentation*. Proc. of the 16th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2017), p.1853-1854, São Paulo, Brasil.
- POSSEBOM, Ayslan T.; MORVELI-ESPINOZA, Mariela; JOAY, Everson; TACLA, Cesar A. *Formação do Consenso por meio de Diálogos Argumentativos em Sistemas Multiagentes*. In: XIV Encontro Nacional de Inteligência Artificial e Computacional, ENIAC 2017, p.1–6 Uberlândia, Brasil.
- POSSEBOM, Ayslan T. *A Proposal for Consensual Decision Making using Argumentation*. Proceedings of the 16th Workshop on Computational Models of Natural Argument, CMNA 2016, p.14–15, New York, EUA.
- POSSEBOM, Ayslan T.; MORVELI-ESPINOZA, Mariela; TACLA, Cesar A. *Protocolo para diálogos argumentativos no auxílio da decisão consensual em sistemas multiagentes*. X Workshop-Escola de Sistemas de Agentes, seus Ambientes e Aplicações, WESAAC 2016. p.169–174, Maceió, Brasil.

Os seguintes trabalhos publicados também contribuíram para o desenvolvimento do modelo para tomada de decisão consensual, embora não estejam diretamente relacionados aos objetivos desta tese:

- MORVELI-ESPINOZA, Mariela; POSSEBOM, Ayslan T.; PUYOL-GRUART, Josep; TACLA, Cesar A. *Argumentation-based Intention Formation Process*. DYNA - Revista de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia (Medellin). *No prelo*.
- MORVELI-ESPINOZA, Mariela; POSSEBOM, Ayslan T.; PUYOL-GRUART, Josep; TACLA, Cesar, A. *Dealing with Incompatibilities among Goals*. Proc. of the 16th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2017), p.1649–1651 São Paulo, Brasil.
- MORVELI-ESPINOZA, Mariela; POSSEBOM, Ayslan T.; TACLA, Cesar A. *Resolving Resource Incompatibilities in Intelligent Agents*. 6th Brazilian Conference on Intelligent Systems, BRACIS 2017, p.127–132, Uberlândia, Brasil.

- MORVELI-ESPINOZA, Mariela; POSSEBOM, Ayslan T.; TACLA, Cesar A. *An abstract-argumentation-based approach for the portfolio selection problem*. XI Workshop-Escola de Sistemas de Agentes, seus Ambientes e Aplicações, WESAAC 2017, p.187–192, São Paulo, Brasil.
- MORVELI-ESPINOZA, Mariela; POSSEBOM, Ayslan T.; TACLA, Cesar A. *Construction and Strength Calculation of Threats*. Computational Models of Argument: Proceedings of the 6th International Conference on Computational Models of Argument, COMMA 2016, p.403–410, Potsdam, Alemanha.
- MORVELI-ESPINOZA, Mariela; POSSEBOM, Ayslan T.; TACLA, Cesar A. *Constructing and calculating the strength of rewards*. XIII Encontro Nacional de Inteligência Artificial e Computacional, ENIAC 2016, p.61–72, Recife, Brasil.
- MORVELI-ESPINOZA, Mariela; POSSEBOM, Ayslan T.; TACLA, Cesar A. *Strength calculation of rewards*. Proceedings of the 16th Workshop on Computational Models of Natural Argument, CMNA 2016, p.8–13, New York, EUA.
- MORVELI-ESPINOZA, Mariela; POSSEBOM, Ayslan T.; MENDES, Guilherme F.; TACLA, Cesar A. *Using argumentation for cooperative decision making process*. 19th IEEE International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design, CSCWD 2015, p.431–436, Calabria, Itália.

Referências

AMGOUD, L.; BELABBES, S.; PRADE, H. Towards a Formal Framework for the Search of a Consensus Between Autonomous Agents. In: *International Workshop on Argumentation in Multi-Agent Systems*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. p. 264–278. ISBN 1595930949. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/11794578_17>.

AMGOUD, L.; BEN-NAIM, J. Axiomatic Foundations of Acceptability Semantics. In: *Proceedings of the Fifteenth International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning*. Cap Town, South Africa: [s.n.], 2016. p. 2–11.

AMGOUD, L.; BEN-NAIM, J. Evaluation of arguments from support relations: Axioms and semantics. *IJCAI International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-16)*, p. 900–906, 2016. ISSN 10450823. Disponível em: <<http://www.ijcai.org/Proceedings/16/Papers/132.pdf>>.

AMGOUD, L. et al. Acceptability Semantics for Weighted Argumentation Frameworks. In: *Proceedings of the Twenty-Sixth International Joint Conference on Artificial Intelligence*. California: International Joint Conferences on Artificial Intelligence Organization, 2017. v. 1, p. 56–62. ISBN 9780999241103. ISSN 10450823. Disponível em: <<https://www.ijcai.org/proceedings/2017/9>>.

AMGOUD, L.; MAUDET, N.; PARSONS, S. An argumentation-based semantics for agent communication languages. In: *Proceedings of the 15th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI-2002)*. Lyon, France: IOS Press Amsterdam, 2002. p. 38–42.

AMGOUD, L.; PRADE, H. Reaching Agreement Through Argumentation: A Possibilistic Approach. In: *9th International Conference on the Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR 2004)*. Whistler, British Columbia, Canada.: [s.n.], 2004. p. 175–182.

AMGOUD, L.; PRADE, H. Using arguments for making and explaining decisions. *Artificial Intelligence*, Elsevier B.V., v. 173, n. 3-4, p. 413–436, 2009. ISSN 00043702. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.artint.2008.11.006>>.

AMGOUD, L.; PRADE, H. Towards a Logic of Argumentation. In: *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. [s.n.], 2012. v. 7520 LNAI, p. 558–565. ISBN 9783642333613. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-33362-0_43>.

AVERY, C. et al. *Building United Judgment: A Handbook for Consensus Decision Making*. Madison, WI, USA: The Center for Conflict Resolution, 1981. 124 p.

BALINSKI, M.; LARAKI, R. *Majority Judgment: measuring, ranking, and electing*. London, England: The MIT Press, 2010. v. 1. 414 p. ISBN 9780262015134. Disponível em: <<http://mitpress.universitypressscholarship.com/view/10.7551/mitpress/9780262015134.001.0001/upso-9780262015134>>.

BARBERÁ, S. M. H. *Case-Based Argumentation in Agent Societies*. 311 p. Tese (Tese (Doutorado em Informática)) — Universitat Politècnica de València, 2011. Disponível em: <<http://www.riunet.upv.es/handle/10251/12497>>.

- BARONI, P.; CAMINADA, M.; GIACOMIN, M. An introduction to argumentation semantics. *The Knowledge Engineering Review*, v. 26, n. 04, p. 365–410, dec 2011. ISSN 0269-8889. Disponível em: <http://www.journals.cambridge.org/abstract_S0269888911000166>.
- BARONI, P.; GIACOMIN, M. Semantics of Abstract Argument Systems. In: *Argumentation in Artificial Intelligence*. Boston, MA, USA: Springer-Verlag US, 2009. ISBN 9780387981963. Disponível em: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-387-98197-0_2>.
- BENCH-CAPON, T. J. M. Persuasion in Practical Argument Using Value-based Argumentation Frameworks. *Journal of Logic and Computation*, v. 13, n. 3, p. 429–448, jun 2003. ISSN 0955-792X. Disponível em: <<https://academic.oup.com/logcom/article-lookup/doi/10.1093/logcom/13.3.429>>.
- BERGMAN, J. Z. et al. The Shared Leadership Process in Decision-Making Teams. *The Journal of Social Psychology*, v. 152, n. 1, p. 17–42, jan 2012. ISSN 0022-4545. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00224545.2010.538763>>.
- BESNARD, P. et al. Introduction to structured argumentation. *Argument & Computation*, v. 5, n. 1, p. 1–4, jan 2014. ISSN 1946-2166. Disponível em: <<http://content.iospress.com/doi/10.1080/19462166.2013.869764>>.
- BESNARD, P.; HUNTER, A. A logic-based theory of deductive arguments. *Artificial Intelligence*, Springer, Berlin, Heidelberg, v. 128, n. 1-2, p. 203–235, may 2001. ISSN 00043702. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0004370201000716>>.
- BESNARD, P.; HUNTER, A. *Elements of Argumentation*. London, England: The MIT Press, 2008. 298 p. ISBN 9780262026437. Disponível em: <<http://mitpress.universitypressscholarship.com/view/10.7551/mitpress/9780262026437.001.0001/upso-9780262026437>>.
- BESNARD, P.; HUNTER, A. Constructing argument graphs with deductive arguments: a tutorial. *Argument & Computation*, v. 5, n. 1, p. 5–30, jan 2014. ISSN 1946-2166. Disponível em: <<http://content.iospress.com/doi/10.1080/19462166.2013.869765>>.
- BODANZA, G.; TOHMÉ, F.; AUDAY, M. Collective argumentation: A survey of aggregation issues around argumentation frameworks. *Argument & Computation*, v. 8, n. 1, p. 1–34, 2017. ISSN 19462174. Disponível em: <<https://content.iospress.com/articles/argument-and-computation/aac014>>.
- BONZON, E. et al. A Comparative Study of Ranking-based Semantics for Abstract Argumentation. *Proceedings of the 30th AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI'16)*, v. 1, p. 914–920, feb 2016. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/1602.01059>>.
- BRESSEN, T. Consensus Decision Making. In: HOLMAN, P.; DEVANE, T.; CADY, S. (Ed.). *The Change Handbook: The definitive resource on today's best methods for engaging whole systems*. San Francisco, California, USA: Berrett-Koehler Publishers, Inc., 2007. cap. 16, p. 212–217. ISBN 978-1-57675-509-9 2007-1. Disponível em: <<http://www.thechangehandbook.com/>>.
- CABRERIZO, F. J. et al. Fuzzy decision making and consensus: Challenges. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, v. 29, n. 3, p. 1109–1118, 2015. ISSN 18758967.

CAMINADA, M. On the Issue of Reinstatement in Argumentation. In: *Logics in artificial intelligence*. [s.n.], 2006. v. 4160, p. 111–123. ISBN 978-3-540-39627-7. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/11853886_11>.

CAMINADA, M. *A gentle introduction to argumentation semantics*. 2008. 1–23 p. Disponível em: <https://users.cs.cf.ac.uk/CaminadaM/publications/Semantics_Introduction.pdf>.

CAMINADA, M.; SÁ, S.; ALCÂNTARA, J. On the Equivalence between Logic Programming Semantics and Argumentation Semantics. In: *1st International Workshop on Argumentation and Logic Programming*. [s.n.], 2013. p. 97–108. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-39091-3_9>.

CAMINADA, M. W. A.; GABBAY, D. M. A Logical Account of Formal Argumentation. *Studia Logica*, v. 93, n. 2-3, p. 109–145, dec 2009. ISSN 0039-3215. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11225-009-9218-x>>.

CARSTENS, L. et al. An Overview of Argumentation Frameworks for Decision Support. In: *In: Croitoru M., Marquis P., Rudolph S., Stapleton G. (eds) Graph Structures for Knowledge Representation and Reasoning. Lecture Notes in Computer Science Lecture Notes in Computer Science*. [S.l.: s.n.], 2015. v. 9501, p. 32–49. ISBN 9783319287010.

CAYROL, C.; LAGASQUIE-SCHIEX, M. On the Acceptability of Arguments in Bipolar Argumentation Frameworks. *Symbolic and Quantitative Approaches to Reasoning with Uncertainty*, v. 3571, p. 470, 2005. ISSN 03029743. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/11518655_33>.

CLARKE, E. M. The Birth of Model Checking. In: *25 Years of Model Checking. Lecture Notes in Computer Science*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008. v. 5000, n. Chapter 1, p. 1–26. ISBN 978-3-540-69850-0. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-69850-0_1>.

CONRADT, L.; ROPER, T. J. Conflicts of interest and the evolution of decision sharing. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 364, n. 1518, p. 807–819, mar 2009. ISSN 0962-8436. Disponível em: <<http://rstb.royalsocietypublishing.org/cgi/doi/10.1098/rstb.2008.0257>>.

COSTE-MARQUIS, S. et al. Selecting extensions in weighted argumentation frameworks. In: *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*. Amsterdam, Netherlands: IOS Press, 2012. v. 245, n. 1, cap. 33, p. 342–349. ISBN 9781614991106.

CRAVEN, R.; TONI, F. Argument graphs and assumption-based argumentation. *Artificial Intelligence*, v. 233, p. 1–59, apr 2016. ISSN 00043702. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0004370215001800>>.

CREIGNOU, N.; EGLY, U.; SCHMIDT, J. Complexity Classifications for Logic-Based Argumentation. *ACM Transactions on Computational Logic*, v. 15, n. 3, p. 1–20, aug 2014. ISSN 15293785. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2629421http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2648783.2629421>>.

DAVIS, E.; MORGENSTERN, L. *Epistemic Logic and its Applications : Tutorial Notes*. 1993. 1–29 p.

- DAY, C.; PARNELL, R. *Consensus Design: Socially inclusive process*. Burlington, MA, USA: Architectural Press OXFORD, 2003. 222 p. ISBN 0750656050.
- DAY, W. H. E.; MCMORRIS, F. R. *Axiomatic Concensus Theory in Group Choice and Biomathematics*. Philadelphia, PA, USA: SIAM - Society for Industrial and Applied Mathematics, 2003. 155 p. ISBN 0898715512.
- DIETRICH, F. Judgment aggregation and agenda manipulation. *Games and Economic Behavior*, v. 95, n. December, p. 113–136, jan 2016. ISSN 08998256. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0899825616000038>>.
- DOUTRE, S.; MENGIN, J. On Sceptical Versus Credulous Acceptance for Abstract Argument Systems. In: *Jelia*. [s.n.], 2004. p. 462–473. ISBN 3540232427. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-30227-8_39>.
- DUNG, P. M. On the acceptability of arguments and its fundamental role in nonmonotonic reasoning, logic programming and n-person games. *Artificial Intelligence*, v. 77, n. 2, p. 321–357, sep 1995. ISSN 00043702. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/000437029400041X>>.
- DUNIN-KEPLICZ, B.; VERBRUGGE, R. *Teamwork in Multi-Agent Systems*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2010. ISBN 9780470665237. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/9780470665237>>.
- DUNNE, P. E.; WOOLDRIDGE, M. Complexity of Abstract Argumentation. In: *Argumentation in Artificial Intelligence*. Boston, MA: Springer US, 2009. p. 85–104. ISBN 9780387981963. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-0-387-98197-0_5>.
- DYER, J. R. et al. Leadership, consensus decision making and collective behaviour in humans. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 364, n. 1518, p. 781–789, mar 2009. ISSN 0962-8436. Disponível em: <<http://rstb.royalsocietypublishing.org/cgi/doi/10.1098/rstb.2008.0233>>.
- EEMEREN, F. H. van et al. Argumentation and Artificial Intelligence. In: *Handbook of Argumentation Theory*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2014. p. 615–675. ISBN 9789048194735. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-90-481-9473-5_11>.
- EFSTATHIOU, V.; HUNTER, A. Algorithms for Effective Argumentation in Classical Propositional Logic: A Connection Graph Approach. In: *Foundations of Information and Knowledge Systems*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008. v. 4932 LNCS, p. 272–290. ISBN 3540776834. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-77684-0_19>.
- EFSTATHIOU, V.; HUNTER, A. *JArgue: An implemented argumentation system for classical propositional logic*. Desenzano del Garda, Itália, 2010. 1 p. Disponível em: <<http://csri.gr/publications/jargue-implemented-argumentation-system-classical-propositional-logic>>.
- EFSTATHIOU, V.; HUNTER, A. Algorithms for generating arguments and counterarguments in propositional logic. *International Journal of Approximate*

- Reasoning*, Elsevier, v. 52, n. 6, p. 672–704, sep 2011. ISSN 0888613X. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0888613X11000089>>.
- FAGIN, R.; HALPERN, J. Y. Reasoning about knowledge and probability. *Journal of the ACM*, v. 41, n. 2, p. 340–367, mar 1994. ISSN 00045411. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=174652.174658>>.
- FAGIN, R. et al. *Reasoning about knowledge*. London, England: MIT Press, 2004. ISBN 9780262562003.
- FAN, X.; TONI, F. *Assumption-based Argumentation Dialogues*. 158 p. Tese (Tese) — Imperial College London, 2012. Disponível em: <<https://spiral.imperial.ac.uk/handle/10044/1/10560>>.
- FAZZINGA, B.; FLESCA, S.; PARISI, F. On the Complexity of Probabilistic Abstract Argumentation Frameworks. *ACM Transactions on Computational Logic*, v. 16, n. 3, p. 1–39, jun 2015. ISSN 15293785. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2764956.2749463>>.
- FELSENTHAL, D. S.; NURMI, H. *Voting Procedures for Electing a Single Candidate: Proving Their (In)Vulnerability to Various Voting Paradoxes*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2018. 134 p. (SpringerBriefs in Economics). ISBN 978-3-319-74032-4. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-74033-1>>.
- FININ, T. et al. KQML as an agent communication language. In: *Proceedings of the third international conference on Information and knowledge management - CIKM '94*. New York, New York, USA: ACM Press, 1994. p. 456–463. ISBN 0897916743. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=191246.191322>>.
- FINK, A. et al. Consensus methods: characteristics and guidelines for use. *American Journal of Public Health*, v. 74, n. 9, p. 979–983, sep 1984. ISSN 0090-0036. Disponível em: <<http://ajph.aphapublications.org/doi/10.2105/AJPH.74.9.979>>.
- FIPA. *FIPA Communicative Act Library Specification*. Geneva, Switzerland, 2002. 1–45 p. Disponível em: <<http://www.fipa.org/specs/fipa00037/XC00037H.pdf>>.
- FORSYTH, D. R. Effective Group Meetings and Decision Making. In: MACNAIR, R. M.; Psychologists for Social Responsibility (Ed.). *Working for Peace: A Handbook of Practical Psychology and Other Tools*. Atascadero, CA, USA: Impact Publishers, Inc., 2006. cap. 12, p. 88–97. ISBN 1-886230-72-2.
- GARCÍA, A. J.; SIMARI, G. R. Defeasible logic programming: an argumentative approach. *Theory and Practice of Logic Programming*, v. 4, n. 1+2, p. 95–138, jan 2004. ISSN 1471-0684. Disponível em: <http://www.journals.cambridge.org/abstract_S1471068403001674>.
- GARCÍA, J. M. T. et al. A consensus model for group decision-making problems with interval fuzzy preference relations. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, v. 11, n. 04, p. 709–725, jul 2012. ISSN 0219-6220. Disponível em: <<http://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S0219622012500174>>.

GEHRLEIN, W. V.; LEPELLEY, D. *Elections, Voting Rules and Paradoxical Outcomes*. Cham: Springer International Publishing, 2017. 183 p. (Studies in Choice and Welfare). ISBN 978-3-319-64658-9. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-64659-6>>.

GIRLE, R. *Possible Worlds*. Durham: Acumen Publishing Limited, 2012. ISBN 9781844653454. Disponível em: <<http://universitypublishingonline.org/ref/id/acumen/CBO9781844653454>>.

GROSSI, D.; PIGOZZI, G. Judgment Aggregation: A Primer. In: *Synthesis Lectures on Artificial Intelligence and Machine Learning*. Morgan & Claypool, 2014. v. 8, n. 2, p. 1–151. ISBN 9781627050876. ISSN 1939-4608. Disponível em: <<http://www.morganclaypool.com/doi/abs/10.2200/S00559ED1V01Y201312AIM027>>.

HALPERN, J. Y. REASONING ABOUT KNOWLEDGE: AN OVERVIEW. In: *Theoretical Aspects of Reasoning About Knowledge*. Monterey, California, USA: Elsevier, 1986. p. 1–17. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780934613040500041>>.

HALPERN, J. Y.; SHORE, R. A. Reasoning about common knowledge with infinitely many agents. *Information and Computation*, v. 191, n. 1, p. 1–40, 2004. ISSN 08905401.

HERRERA-VIEDMA, E. et al. A consensus support system model for group decision-making problems with multigranular linguistic preference relations. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, v. 13, n. 5, p. 644–658, 2005. ISSN 10636706.

HERTZBERG, M.; SMITH, R.; WESTPHAL, R. *A Consensus Handbook Co-operative decision-making for activists, co-ops and communities*. Seeds for Change Lancaster Cooperative Ltd, 2013. 1–228 p. ISBN 978-0-9575871-0-6. Disponível em: <<https://www.seedsforchange.org.uk/handbook>>.

HIRSCH, R.; GOROGIANNIS, N. The Complexity of the Warranted Formula Problem in Propositional Argumentation. *Journal of Logic and Computation*, v. 20, n. 2, p. 481–499, apr 2010. ISSN 0955-792X. Disponível em: <<https://academic.oup.com/logcom/article-lookup/doi/10.1093/logcom/exp074>>.

HOEK, W. V. D. Systems for Knowledge and Belief. *Journal of Logic and Computation*, v. 3, n. 2, p. 173–195, 1993. ISSN 0955-792X. Disponível em: <<https://academic.oup.com/logcom/article-lookup/doi/10.1093/logcom/3.2.173>>.

HUANG, C.-K.; YANG, P.-T.; HSIEH, K.-Y. Knowledge discovery of consensus and conflict interval-based temporal patterns: A novel group decision approach. *Knowledge-Based Systems*, Elsevier B.V., v. 140, p. 201–213, jan 2018. ISSN 09507051. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.knosys.2017.11.002>>.

HUNTER, A. *Argumentation Factory: Algorithms and Software for Industrial Strength Inconsistency Tolerance*. 2010. Disponível em: <<http://www0.cs.ucl.ac.uk/staff/a.hunter/projects/af/>>. Acessado em: 02/04/2018.

KRAUSE, P. et al. A LOGIC OF ARGUMENTATION FOR REASONING UNDER UNCERTAINTY. *Computational Intelligence*, v. 11, n. 1, p. 113–131, feb 1995. ISSN 0824-7935. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/j.1467-8640.1995.tb00025.x>>.

- KRIPKE, S. A. Semantical Analysis of Modal Logic I Normal Modal Propositional Calculi. *Zeitschrift für Mathematische Logik und Grundlagen der Mathematik*, v. 9, n. 5-6, p. 67–96, 1963. ISSN 00443050. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/malq.19630090502>>.
- KUHN, F.; OSHMAN, R.; MOSES, Y. Coordinated consensus in dynamic networks. In: *Proceedings of the 30th annual ACM SIGACT-SIGOPS symposium on Principles of distributed computing - PODC '11*. New York, New York, USA: ACM Press, 2011. p. 1. ISBN 9781450307192. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1993806.1993808>>.
- LEITE, J.; MARTINS, J. Social Abstract Argumentation. In: *IJCAI'11 Proceedings of the Twenty-Second international joint conference on Artificial Intelligence*. Barcelona, Catalonia, Spain: [s.n.], 2011. p. 2287–2292. Disponível em: <<https://dl.acm.org/citation.cfm?id=2283779>>.
- LIST, C. The theory of judgment aggregation: an introductory review. *Synthese*, v. 187, n. 1, p. 179–207, jul 2012. ISSN 0039-7857. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11229-011-0025-3>>.
- MARTÍNEZ-PANERO, M. Approaches To Consensus : the State of the Art. In: *XIV Spanish Conference on Fuzzy Technologies and Logic (ESTYLF08)*. Langreo-Mieres, Espanha: [s.n.], 2008. p. 469–476.
- MCBURNEY, P.; PARSONS, S. Dialogue Games for Agent Argumentation. In: _____. *Argumentation in Artificial Intelligence*. Boston, MA: Springer US, 2009. p. 261–280. ISBN 978-0-387-98197-0. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-0-387-98197-0_13>.
- MCKELVEY, R. D.; PAGE, T. Common Knowledge, Consensus, and Aggregate Information. *Econometrica*, v. 54, n. 1, p. 109–127, jan 1986. ISSN 00129682. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/1914160?origin=crossref>>.
- MCLEAN, I. The borda and condorcet principles: Three medieval applications. *Social Choice and Welfare*, v. 7, n. 2, p. 99–108, apr 1990. ISSN 0176-1714. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/BF01560577>>.
- MÉNAGER, L. Consensus and common knowledge of an aggregate of decisions. *Games and Economic Behavior*, v. 62, n. 2, p. 722–731, mar 2008. ISSN 08998256. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0899825607001121>>.
- MODGIL, S.; PRAKKEN, H. The ASPIC + framework for structured argumentation: a tutorial. *Argument & Computation*, v. 5, n. 1, p. 31–62, jan 2014. ISSN 1946-2166. Disponível em: <<http://content.iospress.com/doi/10.1080/19462166.2013.869766>>.
- MODGIL, S. et al. The Added Value of Argumentation. In: *Agreement Technologies*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2013. p. 357–403. ISBN 978-94-007-5582-6. Disponível em: <http://www.springerlink.com/index/10.1007/978-94-007-5583-3_21>.
- MONGIN, P. Judgment Aggregation. *SSRN Electronic Journal*, v. 1, p. 22–32, 2011. ISSN 1556-5068. Disponível em: <<http://www.ssrn.com/abstract=2240130>>.
- MORVELI-ESPINOZA, M. et al. Using argumentation for cooperative decision making process. In: *2015 IEEE 19th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD)*. IEEE, 2015. p. 431–436. ISBN 978-1-4799-2002-0. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7230998/>>.

MOSES, Y. Reasoning about Knowledge and Belief. In: HARMELEN, F. van; LIFSCHITZ, V.; PORTER, B. (Ed.). *Handbook of Knowledge Representation*. 1. ed. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 2008. cap. 15, p. 621–647. ISBN 9780444522115. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1574652607030155>.

NOVAK, S. Majority Rule. *Philosophy Compass*, v. 9, n. 10, p. 681–688, oct 2014. ISSN 17479991. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/phc3.12164>.

NURMI, H. *Voting Paradoxes and How to Deal with Them*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1999. 154 p. ISBN 978-3-642-08551-2. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-662-03782-9>.

NUTE, D.; ERK, K. Defeasible logic graphs. *Decision Support Systems*, v. 22, n. 3, p. 277–293, mar 1998. ISSN 01679236. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167923697000638>.

OLIVA, E. *Argumentation and Artifacts for Intelligent Multi-agent Systems*. 104 p. Tese (Tese) — University of Bologna, 2008.

PANISSON, A. R. et al. An Approach for Argumentation-based Reasoning Using Defeasible Logic in Multi-Agent Programming Languages. In: *11th International Workshop on Argumentation in Multiagent Systems*. Paris, France: ArgMAS, 2014. p. 1–15. Disponível em: <http://www.mit.edu/~irahwan/argmas/argmas14/w12-06.pdf>.

PARSONS, S.; MCBURNEY, P. Argumentation-Based Dialogues for Agent Co-Ordination. *Group Decision and Negotiation*, v. 12, n. 5, p. 415–439, sep 2003. ISSN 0926-2644. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1023/B:GRUP.0000003742.50038.d3>.

PARSONS, S.; WOOLDRIDGE, M.; AMGOUD, L. Properties and Complexity of Some Formal Inter-agent Dialogues. *Journal of Logic and Computation*, v. 13, n. 3, p. 347–376, jun 2003. ISSN 0955-792X. Disponível em: <https://academic.oup.com/logcom/article-lookup/doi/10.1093/logcom/13.3.347>.

PEREIRA, C. C.; TETTAMANZI, A. G. B.; VILLATA, S. Changing one's mind: Erase or rewind? Possibilistic belief revision with fuzzy argumentation based on trust. In: *IJCAI International Joint Conference on Artificial Intelligence*. [S.l.: s.n.], 2011. v. 1, p. 164–171.

PIGOZZI, G. Belief merging and the discursive dilemma: an argument-based account to paradoxes of judgment aggregation. *Synthese*, v. 152, n. 2, p. 285–298, oct 2006. ISSN 0039-7857. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s11229-006-9063-7>.

PRAKKEN, H. Analysing reasoning about evidence with formal models of argumentation. *Law, Probability and Risk*, v. 3, n. 1, p. 33–50, 2004. ISSN 1470-8396, 1470-840X. Disponível em: <http://lpr.oxfordjournals.org/content/3/1/33.full.pdf>.

PRAKKEN, H.; SARTOR, G. A system for defeasible argumentation, with defeasible priorities. In: *Practical Reasoning*. [s.n.], 1996. v. 1085, p. 510–524. ISBN 978-3-540-61313-8. Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/3-540-61313-7_97.

RAHWAN, I.; TOHMÉ, F. Collective argument evaluation as judgement aggregation. *Proceedings of the 9th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems: volume 1-Volume 1*, p. 417–424, 2010. ISSN 15582914. Disponível em: <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1838206.1838265>.

- SAVIO, G. Coordination outside formal organization: consensus-based decision-making and occupation in the Occupy Wall Street movement. *Contemporary Justice Review*, v. 18, n. 1, p. 42–54, jan 2015. ISSN 1028-2580. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10282580.2015.1005509>>.
- SCOTT, J.; FLANIGAN, E. *Achieving Consensus: Tools and techniques*. Menlo Park, California: Crisp Publications, Inc., 1996. 96 p. ISBN 1-56052-381-6.
- SINGH, R. K.; BENYOUCEF, L. A consensus based group decision making methodology for strategic selection problems of supply chain coordination. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Elsevier, v. 26, n. 1, p. 122–134, 2013. ISSN 09521976. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.engappai.2012.03.013>>.
- SINNOTT-ARMSTRONG, W.; FOGELIN, R. J. *Understanding Arguments: An Introduction to Informal Logic*. 8. ed. Belmont, CA, USA: Wadsworth Cengage Learning, 2009. 560 p. ISBN 978-0-495-60395-5.
- SQUAZZONI, F. *Agent-Based Computational Sociology*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2012. 256 p. ISBN 9781119954200. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/9781119954200>>.
- SUZUKI, S. et al. Neural Mechanisms Underlying Human Consensus Decision-Making. *Neuron*, Elsevier Inc., v. 86, n. 2, p. 591–602, apr 2015. ISSN 08966273. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0896627315002159>>.
- THIMM, M. A probabilistic semantics for abstract argumentation. *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*, v. 242, p. 750–755, 2012. ISSN 09226389.
- THIMM, M. *Tweety: A comprehensive collection of Java libraries for logical aspects of artificial intelligence and knowledge representation*. 2015. Disponível em: <<http://tweetyproject.org/lib/index.html>>. Acessado em: 02/04/2018.
- TONIOLO, A. *Models of Argument for Deliberative Dialogue in Complex Domains*. 236 p. Tese (Tese (Doutorado em Filosofia)) — University of Aberdeen, 2013.
- TUCKER, A. The epistemic significance of consensus. *Inquiry*, v. 46, n. 4, p. 501–521, dec 2003. ISSN 0020-174X. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00201740310003388>>.
- VESIC, S. *Preference-based argumentation frameworks: application in decision making and negotiation*. 196 p. Tese (Tese) — Institut de Recherche en Informatique de Toulouse (IRIT). Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2011.
- VOORNEVELD, M.; TSAKAS, E. *Efficient communication, common knowledge, and consensus*. [S.l.: s.n.], 2007. v. 2465. 0–14 p.
- WALLNER, J. P. *Complexity Results and Algorithms for Argumentation Dung 's Frameworks and Beyond*. 1–176 p. Tese (Dissertação) — Vienna University of Technology, 2014. Disponível em: <https://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat{_}229216>.
- WALLNER, J. P.; NISKANEN, A.; JÄRVISALO, M. Complexity Results and Algorithms for Extension Enforcement in Abstract Argumentation. *Journal of Artificial Intelligence Research*, v. 60, p. 1–40, sep 2017. ISSN 1076-9757. Disponível em: <<https://jair.org/index.php/jair/article/view/11080>>.

- WALTON, D.; TONIOLO, A.; NORMAN, T. J. Missing Phases of Deliberation Dialogue for Real Applications. In: *Proceedings of the 11th International Workshop on Argumentation in Multi-Agent Systems*. Paris, France: [s.n.], 2014. p. 1–20.
- WALTON, D. N.; KRABBE, E. C. W. *Commitment in dialogue: Basic concepts of interpersonal reasoning*. Albany, New York, USA: State University of New York Press, 1995. ISBN 0-7914-2585-1.
- WESTON, A. *A Rulebook for Arguments*. 4. ed. Indianapolis, IN, USA: Hackett Pub Co, 2008. 104 p. ISBN 9780872209541.
- WU, Y.; CAMINADA, M.; PODLASZEWSKI, M. A labelling-based justification status of arguments. *Studies in Logic*, v. 3, n. 4, p. 12–29, 2010. Disponível em: <http://users.numericable.lu/martincaminada/publications/WU_studiesInLogic2010.pdf>.
- XIA, L. Improving Group Decision-Making by Artificial Intelligence. In: *Proceedings of the Twenty-Sixth International Joint Conference on Artificial Intelligence*. California: International Joint Conferences on Artificial Intelligence Organization, 2017. p. 5156–5160. ISBN 9780999241103. ISSN 10450823. Disponível em: <<https://www.ijcai.org/proceedings/2017/741>>.
- YOUNG, H. P. Condorcet’s Theory of Voting. *The American Political Science Review*, v. 82, n. 4, p. 1231–1244, dec 1988. ISSN 00030554. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/1961757?origin=crossref>>.
- ZAREFSKY, D. *Argumentation: The Study of Effective Reasoning*. 2. ed. Chantilly, Virginia, USA: The Teaching Company, 2005. 123 p. ISBN 9781598031164.
- ZHONG, Q. et al. Explaining best decisions via argumentation. In: *Proceedings of the European Conference on Social Intelligence (ECSI 2014)*. Barcelona, Spain: [s.n.], 2014. p. 224–237. ISSN 16130073. Disponível em: <http://ceur-ws.org/Vol-1283/paper_28.pdf>.

Apêndices

APÊNDICE A – Mapeamento de tabela de diálogo para grafo de argumentos

Este apêndice tem o objetivo de apresentar os passos necessários para que seja executado o mapeamento de uma tabela de argumentos para um grafo de argumentos. O algoritmo é executado pelo agente *med*. Seja dt^γ a representação de uma linha γ na tabela de diálogo dt . As funções presentes no algoritmo são:

- **getRowCount(dt):** função que retorna o número de linhas em uma tabela de diálogo;
- **getRow(dt, γ):** função que retorna que retorna uma linha da tabela de diálogo identificada por γ ;
- **getAttacked(dt^γ):** função que retorna o valor do campo δ armazenado em dt^γ .
- **getArgument(dt, γ):** função que retorna o argumento arg armazenado em dt^γ ;
- **createAdjacentMatrix(x):** função que retorna a matriz de adjacência (matriz quadrada) de ordem x ;
- **createGraph():** função responsável por criar a estrutura que armazenará os vértices de um grafo de argumentos;
- **newVertice(dt^γ):** função responsável por criar um vértice representando o argumento armazenado em dt^γ . Cada vértice armazena um argumento e suas forças intrínseca e global;
- **addVertice($graph, vertice$):** função responsável por inserir um vértice em um grafo de argumentos;
- **addEdge($adjacentMatrix, x, y$):** função responsável por inserir uma nova aresta que tem origem no argumento representado por x e destino no argumento representado por y (x e y são as posições dos argumentos no grafo);
- **hasAttack(arg_i, arg_j):** função que indica se o argumento arg_i faz um ataque por *undercut* ou *rebuttal* em arg_j ;
- **hasEdge($adjacentMatrix, x, y$):** função que verifica se existe uma aresta do argumento representado por x até o argumento representado por y (posição dos argumentos na lista de vértices do grafo).

Algoritmo 3 Mapeamento: diálogo para grafo de argumentos

```

1: procedure DIALOGUEMAP(dt)
2:   lines ← getRowCount(dt)
3:   adjacentMatrix ← createAdjacentMatrix(lines)
4:   graph ← createGraph()
5:                                     ▷ Criar os vértices do grafo
6:   for x ← 0 to lines do
7:     vertice ← newVertice(getRow(dt, x))
8:     addVertice(graph, vertice)
9:   end for
10:                                     ▷ Criar as arestas iniciais
11:  for x ← 1 to lines do
12:    y ← getAttacked(getRow(dt, x))
13:    addEdge(adjacentMatrix, x, y)
14:  end for
15:                                     ▷ Encontrar arestas adicionais
16:  for x ← 1 to lines do
17:    argi ← getArgument(dt, x)
18:    for y ← 1 to lines do
19:      argj ← getArgument(dt, y)
20:      if hasAttack(argi, argj) then
21:        if not(hasEdge(adjacentMatrix, x, y)) then
22:          addEdge(adjacentMatrix, x, y)
23:        end if
24:      end if
25:    end for
26:  end for
27: end procedure

```

APÊNDICE B – Diálogos: game design

Este apêndice tem o objetivo de apresentar o passo-a-passo da execução do Algoritmo 1. O algoritmo é executado pelo agente *med* para controlar a troca de mensagens entre os agentes argumentativos e determinar quais fórmulas devem ser aceitas como conhecimento comum. As instruções apresentadas se referem ao caso de estudos apresentado na Seção 5.1 relacionado ao diálogo sobre a alternativa de decisão *jack*.

O *FCC* possuem um grupo contendo três agentes argumentativos $\mathcal{AG} = \{ag_1, ag_2, ag_3, ag_4\}$ e cada agente argumentativo possui suas respectivas *expertise* $\mathcal{EX} = \{0.30, 0.20, 0.35, 0.15\}$. A execução do algoritmo segue conforme as seguintes instruções:

Linha 1: DIALOGUE(d) $d = jack$
 Linha 2: $wb \leftarrow \text{createWhiteboard}()$
 Linha 3: $Dt \leftarrow \text{createDialogueTable}(d)$ $DT = dt_{jack}$
 Linha 4: $agenda \leftarrow \text{createAgenda}()$
 Linha 5: $stPoint \leftarrow \text{createStartPoint}(p)$ $stPoint = \langle \{TRUE\}, jack \rangle$
 Linha 6: $\gamma \leftarrow dtAddArgument(dt, med, stPoint, null)$ $\gamma = 0, ag = med, arg = \langle \{TRUE\}, jack \rangle$
 Linha 7: $\text{broadcastArgument}(stPoint, \gamma)$ $A_1 = A_2 = A_3 = A_4 = \langle \{TRUE\}, jack \rangle$
 Linha 8: $support \leftarrow \text{broadcastAskVotingAgreement}(jack, jack)$
 $Support[jack] = \{ag_1, ag_2\}$
 Linha 9: $reject \leftarrow \text{broadcastAskVotingRejection}(jack, jack)$
 $Reject[jack] = \{ag_2, ag_4\}$
 Linha 10: $\text{wait}(t, 1)$
 Linha 11: $b \leftarrow \text{cl}(null, support, reject)$ $b = 0.30$
 Linha 12: $dtUpdate(Dt, \gamma, d, support, reject, b)$
 Linha 13: $dtUpdate(Dt, \gamma, is(stPoint))$ $is = 0.65$
 Linha 14: $\text{broadcastAttack}()$
 $S_2 = \{ \langle \{g, g \rightarrow \neg jack\}, \neg jack \rangle, \langle \{b, b \rightarrow \neg jack\}, \neg jack \rangle \}$
 $S_4 = \{ \langle \{ \neg a, \neg a \rightarrow \neg jack \}, \neg jack \rangle \}$
 Linha 15: $\text{wait}(t, 2)$
 linha 16: $\text{addWhiteboard}(wb, \text{broadcastAskSpeak}())$ $WB = \{ag_2, ag_4\}$ Linha 17:
 while not(emptyWhiteboard(wb)) do $wb \neq \emptyset$
 Linha 18: $currentAgent \leftarrow \text{getWhiteboard}(wb, 0)$ $currentAgent = ag_2$
 Linha 19: $listArgs \leftarrow \text{askArguments}(currentAgent)$
 $listArgs = \langle \{g, g \rightarrow \neg jack\}, \neg jack \rangle, \langle \{b, b \rightarrow \neg jack\}, \neg jack \rangle$
 Linha 20: $\text{fillAgenda}(agenda, listArgs)$ $AGENDA = listArgs$

Linha 21: for all $a \in agenda$ do $agenda \neq \emptyset$ $a = \langle \{g, g \rightarrow \neg jack\}, \neg jack \rangle$
 Linha 22: if checkArguments(a) then a é um argumento aprovado
 Linha 23: $\gamma \leftarrow dtAddArgument(Dt, currentAgent, a, getAttack(a))$ $\gamma = 1$
 Linha 24: broadcastArgument(a, y) $A_1 = A_2 = A_3 = A_4 = \langle \{g, g \rightarrow \neg jack\}, \neg jack \rangle$
 Linha 25: formulasArgument \leftarrow split(a) formulasArgument = $\{g, g \rightarrow \neg jack, \neg jack\}$
 Linha 26: for all $\eta \in formulasArgument$ do formulasArgument $\neq \emptyset$, $\eta = g$
 Linha 27: $support \leftarrow broadcastAskVotingAgreement(\eta)$ $Support[g] = \{\}$
 Linha 28: $reject \leftarrow broadcastAskVotingRejection(\eta)$ $Reject[g] = \{\}$
 Linha 29: wait($t, 1$)
 Linha 30: $b \leftarrow cl(currentAgent, support, reject)$ $b = 0.20$
 Linha 31: dtUpdate($Dt, \gamma, \eta, support, reject, b$)
 Linha 32: if $b \geq \sigma$ then Condição falsa
 Linha 35: broadcastInform($\eta, d, 0$) ag_2 atualiza rótulo para $g[jack(0)]$
 Linha 26: for all $\eta \in formulasArgument$ do formulasArgument $\neq \emptyset$, $\eta \Rightarrow \neg jack$
 Linha 27: $support \leftarrow broadcastAskVotingAgreement(\eta)$ $Support[g \rightarrow \neg jack] = \{\}$
 Linha 28: $reject \leftarrow broadcastAskVotingRejection(\eta)$ $Reject[g \rightarrow \neg jack] = \{ag3\}$
 Linha 29: wait($t, 1$)
 Linha 30: $b \leftarrow cl(currentAgent, support, reject)$ $b = -0.15$
 Linha 31: dtUpdate($Dt, \gamma, \eta, support, reject, b$)
 Linha 32: if $b \geq \sigma$ then Condição falsa
 Linha 35: broadcastInform($\eta, d, 0$) ag_2 atualiza rótulo para $g \rightarrow \neg jack[jack(0)]$
 Linha 26: for all $\eta \in formulasArgument$ do formulasArgument $neq \emptyset$, $\eta = \neg jack$
 Linha 27: $support \leftarrow broadcastAskVotingAgreement(\eta)$ $Support[\neg jack] = \{ag4\}$
 Linha 28: $reject \leftarrow broadcastAskVotingRejection(\eta)$ $Reject[\neg jack] = \{ag1, ag3\}$
 Linha 29: wait($t, 1$)
 Linha 30: $b \leftarrow cl(currentAgent, support, reject)$ $b = -0.30$
 Linha 31: dtUpdate($Dt, \gamma, \eta, support, reject, b$)
 Linha 32: if $b \geq \sigma$ then Condição falsa
 Linha 35: broadcastInform($\eta, d, 0$) Nenhum agente possui a fórmula $\neg jack$
 Linha 38: dtUpdate($Dt, \gamma, is(a)$) $is = 0.458$
 Linha 39: broadcastAttack()
 $S_1 = \{\langle \{a, a \rightarrow jack\}, jack \rangle\}$
 $S_3 = \{\langle \{p, p \rightarrow jack\}, jack \rangle\}$
 $S_4 = \{\langle \{\neg a, \neg a \rightarrow \neg jack\}, \neg jack \rangle\}$
 Linha 40: wait($t, 2$)
 Linha 21: for all $a \in agenda$ do $a = \langle \{b, b \rightarrow \neg jack\}, \neg jack \rangle$
 Linha 22: if checkArguments(a) then a é um argumento aprovado
 Linha 23: $\gamma \leftarrow dtAddArgument(Dt, currentAgent, a, getAttack(a))$ $\gamma = 2$
 Linha 24: broadcastArgument(a, γ) $A_1 = A_2 = A_3 = A_4 = \langle \{b, b \rightarrow \neg jack\}, \neg jack \rangle$

Linha 25: $\text{formulasArgument} \leftarrow \text{split}(a)$ $\text{formulasArgument} = \{b, b \rightarrow \neg \text{jack}, \neg \text{jack}\}$
 Linha 26: for all $\eta \in \text{formulasArgument}$ do $\eta = b$
 Linha 27: $\text{support} \leftarrow \text{broadcastAskVotingAgreement}(\eta)$ $\text{Support}[b] = \{\}$
 Linha 28: $\text{reject} \leftarrow \text{broadcastAskVotingRejection}(\eta)$ $\text{Reject}[b] = \{ag4\}$
 Linha 29: $\text{wait}(t, 1)$
 Linha 30: $b \leftarrow \text{cl}(\text{currentAgent}, \text{support}, \text{reject})$ $b = 0.05$
 Linha 31: $\text{dtUpdate}(dt, \gamma, \eta, \text{support}, \text{reject}, b)$
 Linha 32: if $b \geq \sigma$ then Condição falsa
 Linha 35: $\text{broadcastInform}(\eta, d, 0)$ ag_2 atualiza o rótulo $b[\text{jack}(0)]$
 Linha 26: for all $\eta \in \text{formulasArgument}$ do $\eta = b \rightarrow \neg \text{jack}$
 Linha 27: $\text{support} \leftarrow \text{broadcastAskVotingAgreement}(\eta)$ $\text{Support}[g \rightarrow \neg \text{jack}] = \{\}$
 Linha 28: $\text{reject} \leftarrow \text{broadcastAskVotingRejection}(\eta)$ $\text{Reject}[g \rightarrow \neg \text{jack}] = \{\}$
 Linha 29: $\text{wait}(t, 1)$
 Linha 30: $b \leftarrow \text{cl}(\text{currentAgent}, \text{support}, \text{reject})$ $b = 0.20$
 Linha 31: $\text{dtUpdate}(Dt, \gamma, \eta, \text{support}, \text{reject}, b)$
 Linha 32: if $b \geq \sigma$ then Condição falsa
 Linha 35: $\text{broadcastInform}(\eta, d, 0)$ ag_2 atualiza $g \rightarrow \neg \text{jack}[\text{jack}(0)]$
 Linha 26: for all $\eta \in \text{formulasArgument}$ do $\eta = \neg ! \text{jack}$
 Linha 27: $\text{support} \leftarrow \text{broadcastAskVotingAgreement}(\eta)$ $\text{Support}[\neg \text{jack}] = \{ag4\}$
 Linha 28: $\text{reject} \leftarrow \text{broadcastAskVotingRejection}(\eta)$ $\text{Reject}[\neg \text{jack}] = \{ag1, ag3\}$
 Linha 29: $\text{wait}(t, 1)$
 Linha 30: $b \leftarrow \text{cl}(\text{currentAgent}, \text{support}, \text{reject})$ $b = -0.30$
 Linha 31: $\text{dtUpdate}(Dt, \gamma, \eta, \text{support}, \text{reject}, b)$
 Linha 32: if $b \geq \sigma$ then Condição falsa
 Linha 35: $\text{broadcastInform}(\eta, d, 0)$ Nenhum agente possui a fórmula $\neg \text{jack}$
 Linha 38: $\text{dtUpdate}(Dt, \gamma, \text{is}(a))$ $is = 0.492$
 Linha 39: $\text{spawn broadcastAttack}()$
 $S_1 = \{\langle \{a, a \rightarrow \text{jack}\}, \text{jack} \rangle\}$
 $S_3 = \{\langle \{p, p \rightarrow \text{jack}\}, \text{jack} \rangle\}$
 $S_4 = \{\langle \{\neg a, \neg a \rightarrow \neg \text{jack}\}, \neg \text{jack} \rangle, \langle \{e, e \rightarrow \neg b\}, \neg b \rangle\}$
 Linha 40: $\text{wait}(t, 2)$
 Linha 43: $\text{updateWhiteboard}(wb)$ $WB = \{ag4\}$
 Linha 44: $\text{addWhiteboard}(wb, \text{broadcastASKSpeak}())$ $WB = \{ag4, ag3, ag1\}$
 Linha 17: while not($\text{emptyWhiteboard}(wb)$) do $WB \neq \emptyset$
 Linha 18: $\text{currentAgent} \leftarrow \text{getWhiteboard}(wb, 0)$ $\text{currentAgent} = ag4$
 Linha 19: $\text{listArgs} \leftarrow \text{askArguments}(\text{currentAgent})$
 $\text{listArgs} = \langle \{\neg a, \neg a \rightarrow \neg \text{jack}\}, \neg \text{jack} \rangle, \langle \{e, e \rightarrow \neg b\}, \neg b \rangle$
 Linha 20: $\text{fillAgenda}(\text{agenda}, \text{listArgs})$ $AGENDA = \text{listArgs}$

Linha 21: for all $a \in agenda$ do $\langle \{\neg a, \neg a \rightarrow \neg jack\}, \neg jack \rangle$
 Linha 22: if checkArguments(a) then a é um argumento aprovado
 Linha 23: $\gamma \leftarrow dtAddArgument(Dt, currentAgent, a, getAttack(a))$ $\gamma = 3$
 Linha 24: broadcastArgument(a, γ) $A_1 = A_2 = A_3 = A_4 = \langle \{\neg a, \neg a \rightarrow \neg jack\}, \neg jack \rangle$
 Linha 25: formulasArgument \leftarrow split(a) formulasArgument = $\{\neg a, \neg a \rightarrow \neg jack, \neg jack\}$
 Linha 26: for all $\eta \in formulasArgument$ do $\eta = \neg a$
 Linha 27: $support \leftarrow broadcastAskVotingAgreement(\eta)$ $Support[\neg a] = \{\}$
 Linha 28: $reject \leftarrow broadcastAskVotingRejection(\eta)$ $Reject[\neg a] = \{ag1, ag3\}$
 Linha 29: wait($t, 1$)
 Linha 30: $b \leftarrow cl(currentAgent, support, reject)$ $b = -0.50$
 Linha 31: dtUpdate($Dt, \gamma, \eta, support, reject, b$)
 Linha 32: if $b \geq \sigma$ then Condição falsa
 Linha 35: broadcastInform($\eta, d, 0$) ag_4 atualiza $\neg a[jack(0)]$
 Linha 26: for all $\eta \in formulasArgument$ do $\eta = \neg a \rightarrow \neg jack$
 Linha 27: $support \leftarrow broadcastAskVotingAgreement(\eta)$ $Support[\neg a \rightarrow \neg jack] = \{\}$
 Linha 28: $reject \leftarrow broadcastAskVotingRejection(\eta)$ $Reject[\neg a \rightarrow \neg jack] = \{ag1\}$
 Linha 29: wait($t, 1$)
 Linha 30: $b \leftarrow cl(currentAgent, support, reject)$ $b = -0.15$
 Linha 31: dtUpdate($Dt, \gamma, \eta, support, reject, b$)
 Linha 32: if $b \geq \sigma$ then Condição falsa
 Linha 35: broadcastInform($\eta, d, 0$) ag_4 atualiza $\neg a \rightarrow \neg jack[jack(0)]$
 Linha 26: for all $\eta \in formulasArgument$ do $\eta = \neg jack$
 Linha 27: $support \leftarrow broadcastAskVotingAgreement(\eta)$ $Support[\neg jack] = \{ag2\}$
 Linha 28: $reject \leftarrow broadcastAskVotingRejection(\eta)$ $Reject[\neg jack] = \{ag1, ag3\}$
 Linha 29: wait($t, 1$)
 Linha 30: $b \leftarrow cl(currentAgent, support, reject)$ $b = -0.30$
 Linha 31: dtUpdate($Dt, \gamma, \eta, support, reject, b$)
 Linha 32: if $b \geq \sigma$ then Condição falsa
 Linha 35: broadcastInform($\eta, d, 0$) Nenhum agente possui a fórmula $\neg jack$
 Linha 38: dtUpdate($Dt, \gamma, is(a)$) $is = 0.342$
 Linha 39: broadcastAttack()
 $S_1 = \{\langle \{a, a \rightarrow jack\}, jack \rangle, \langle \{a\}, a \rangle\}$
 $S_3 = \{\langle \{p, p \rightarrow jack\}, jack \rangle, \langle \{a\}, a \rangle\}$
 Linha 40: wait($t, 2$)
 Linha 21: for all $a \in agenda$ do $a = \langle \{e, e \rightarrow \neg b\}, \neg b \rangle$
 Linha 22: if checkArguments(a) then a é um argumento aprovado
 Linha 23: $\gamma \leftarrow dtAddArgument(Dt, currentAgent, a, getAttack(a))$ $\gamma = 4$
 Linha 24: broadcastArgument(a, γ) $A_1 = A_2 = A_3 = A_4 = \langle \{e, e \rightarrow \neg b\}, \neg b \rangle$

Linha 25: $\text{formulasArgument} \leftarrow \text{split}(a)$ $\text{formulasArgument} = \{e, e \rightarrow \neg b, \neg b\}$
 Linha 26: for all $\eta \in \text{formulasArgument}$ do $\eta = e$
 Linha 27: $\text{support} \leftarrow \text{broadcastAskVotingAgreement}(\eta)$ $\text{Support}[e] = \{\}$
 Linha 28: $\text{reject} \leftarrow \text{broadcastAskVotingRejection}(\eta)$ $\text{Reject}[e] = \{\}$
 Linha 29: $\text{wait}(t, 1)$
 Linha 30: $b \leftarrow \text{cl}(\text{currentAgent}, \text{support}, \text{reject})$ $b = 0.15$
 Linha 31: $\text{dtUpdate}(Dt, \gamma, \eta, \text{support}, \text{reject}, b)$
 Linha 32: if $b \geq \sigma$ then Condição falsa
 Linha 35: $\text{broadcastInform}(\eta, d, 0)$ ag_4 atualiza $\neg e[\text{jack}(0)]$
 Linha 26: for all $\eta \in \text{formulasArgument}$ do $\eta = e \rightarrow \neg b$
 Linha 27: $\text{support} \leftarrow \text{broadcastAskVotingAgreement}(\eta)$ $\text{Support}[e \rightarrow \neg b] = \{ag_1\}$
 Linha 28: $\text{reject} \leftarrow \text{broadcastAskVotingRejection}(\eta)$ $\text{Reject}[e \rightarrow \neg b] = \{\}$
 Linha 29: $\text{wait}(t, 1)$
 Linha 30: $b \leftarrow \text{cl}(\text{currentAgent}, \text{support}, \text{reject})$ $b = 0.45$
 Linha 31: $\text{dtUpdate}(Dt, \gamma, \eta, \text{support}, \text{reject}, b)$
 Linha 32: if $b \geq \sigma$ then Condição verdadeira
 Linha 33: $\text{broadcastInform}(\eta, d, b)$ ag_1, ag_4 atualizam e ag_2, ag_3 incluem $\neg a \rightarrow \neg \text{jack}[\text{jack}(0)]$
 Linha 26: for all $\eta \in \text{formulasArgument}$ do $\eta = \neg b$
 Linha 27: $\text{support} \leftarrow \text{broadcastAskVotingAgreement}(\eta)$ $\text{Support}[\neg b] = \{\}$
 Linha 28: $\text{reject} \leftarrow \text{broadcastAskVotingRejection}(\eta)$ $\text{Reject}[\neg b] = \{ag_2\}$
 Linha 29: $\text{wait}(t, 1)$
 Linha 30: $b \leftarrow \text{cl}(\text{currentAgent}, \text{support}, \text{reject})$ $b = -0.05$
 Linha 31: $\text{dtUpdate}(Dt, \gamma, \eta, \text{support}, \text{reject}, b)$
 Linha 32: if $b \geq \sigma$ then Condição falsa
 Linha 35: $\text{broadcastInform}(\eta, d, 0)$ Nenhum agente possui a fórmula $\neg b$
 Linha 38: $\text{dtUpdate}(Dt, \gamma, \text{is}(a))$ $is = 0.592$
 Linha 39: $\text{broadcastAttack}()$
 $S_1 = \{\langle \{a, a \rightarrow \text{jack}\}, \text{jack} \rangle, \langle \{a\}, a \rangle\}$
 $S_2 = \{\langle \{b\}, b \rangle\}$
 $S_3 = \{\langle \{p, p \rightarrow \text{jack}\}, \text{jack} \rangle, \langle \{a\}, a \rangle\}$
 Linha 40: $\text{wait}(t, 2)$
 Linha 43: $\text{updateWhiteboard}(wb)$ $WB = \{ag_3, ag_1\}$
 Linha 44: $\text{addWhiteboard}(wb, \text{broadcastASpeak}())$ $WB = \{ag_3, ag_1, ag_2\}$
 Linha 17: while not($\text{emptyWhiteboard}(wb)$) do $WB \neq \emptyset$
 Linha 18: $\text{currentAgent} \leftarrow \text{getWhiteboard}(wb, 0)$ $\text{currentAgent} = ag_3$
 Linha 19: $\text{listArgs} \leftarrow \text{askArguments}(\text{currentAgent})$
 $\text{listArgs} = \langle \{p, p \rightarrow \text{jack}\}, \text{jack} \rangle, \langle \{a\}, a \rangle$
 Linha 20: $\text{fillAgenda}(agenda, \text{listArgs})$ $AGENDA = \text{listArgs}$

Linha 21: for all $a \in agenda$ do $\langle \{p, p \rightarrow jack\}, jack \rangle$
 Linha 22: if checkArguments(a) then a é um argumento aprovado
 Linha 23: $\gamma \leftarrow dtAddArgument(Dt, currentAgent, a, getAttack(a))$ $\gamma = 5$
 Linha 24: broadcastArgument(a, γ) $A_1 = A_2 = A_3 = A_4 = \langle \{p, p \rightarrow jack\}, jack \rangle$
 Linha 25: formulasArgument \leftarrow split(a) formulasArgument = $\{p, p \rightarrow jack, jack\}$
 Linha 26: for all $\eta \in formulasArgument$ do $\eta = p$
 Linha 27: $support \leftarrow$ broadcastAskVotingAgreement(η) $Support[p] = \{\}$
 Linha 28: $reject \leftarrow$ broadcastAskVotingRejection(η) $Reject[p] = \{\}$
 Linha 29: wait($t, 1$)
 Linha 30: $b \leftarrow$ cl($currentAgent, support, reject$) $b = 0.35$
 Linha 31: dtUpdate($Dt, \gamma, \eta, support, reject, b$)
 Linha 32: if $b \geq \sigma$ then Condição verdadeira
 Linha 33: broadcastInform(η, d, b) ag_3 atualiza e ag_1, ag_2, ag_4 inclui $p[jack(0.35)]$
 Linha 26: for all $\eta \in formulasArgument$ do $\eta = p \rightarrow jack$
 Linha 27: $support \leftarrow$ broadcastAskVotingAgreement(η) $Support[p \rightarrow jack] = \{\}$
 Linha 28: $reject \leftarrow$ broadcastAskVotingRejection(η) $Reject[p \rightarrow jack] = \{\}$
 Linha 29: wait($t, 1$)
 Linha 30: $b \leftarrow$ cl($currentAgent, support, reject$) $b = 0.35$
 Linha 31: dtUpdate($Dt, \gamma, \eta, support, reject, b$)
 Linha 32: if $b \geq \sigma$ then Condição verdadeira
 Linha 33: broadcastInform(η, d, b) ag_3 atualiza e ag_1, ag_2, ag_4 inclui $p \rightarrow jack[jack(0.35)]$
 Linha 26: for all $\eta \in formulasArgument$ do $\eta = jack$
 Linha 27: $support \leftarrow$ broadcastAskVotingAgreement(η) $Support[jack] = \{ag_1\}$
 Linha 28: $reject \leftarrow$ broadcastAskVotingRejection(η) $Reject[jack] = \{ag_2, ag_4\}$
 Linha 29: wait($t, 1$)
 Linha 30: $b \leftarrow$ cl($currentAgent, support, reject$) $b = 0.30$
 Linha 31: dtUpdate($Dt, \gamma, \eta, support, reject, b$)
 Linha 32: if $b \geq \sigma$ then Condição verdadeira
 Linha 33: broadcastInform(η, d, b) ag_1, ag_2, ag_3, ag_4 incluem $jack[jack(0.30)]$
 Linha 38: dtUpdate($Dt, \gamma, is(a)$) $is = 0.667$
 Linha 39: broadcastAttack()
 $S_1 = \{\langle \{a, a \rightarrow jack\}, jack \rangle, \langle \{a\}, a \rangle\}$
 $S_2 = \{\langle \{b\}, b \rangle, \langle \{g, g \rightarrow \neg jack\}, \neg jack \rangle, \langle \{b, b \rightarrow \neg jack\}, \neg jack \rangle\}$
 $S_4 = \{\langle \{\neg a, \neg a \rightarrow \neg jack\}, \neg jack \rangle\}$
 Linha 40: wait($t, 2$)
 Linha 21: for all $a \in agenda$ do $a = \langle \{a\}, a \rangle$
 Linha 22: if checkArguments(a) then a é um argumento aprovado
 Linha 23: $\gamma \leftarrow dtAddArgument(Dt, currentAgent, a, getAttack(a))$ $\gamma = 6$
 Linha 24: broadcastArgument(a, γ) $A_1 = A_2 = A_3 = A_4 = \langle \{a\}, a \rangle$

Linha 25: $\text{formulasArgument} \leftarrow \text{split}(a)$ $\text{formulasArgument} = \{a\}$
 Linha 26: for all $\eta \in \text{formulasArgument}$ do $\eta = a$
 Linha 27: $\text{support} \leftarrow \text{broadcastAskVotingAgreement}(\eta)$ $\text{Support}[a] = \{ag_1, ag_4\}$
 Linha 28: $\text{reject} \leftarrow \text{broadcastAskVotingRejection}(\eta)$ $\text{Reject}[a] = \{ag_4\}$
 Linha 29: $\text{wait}(t, 1)$
 Linha 30: $b \leftarrow \text{cl}(\text{currentAgent}, \text{support}, \text{reject})$ $b = 0.65$
 Linha 31: $\text{dtUpdate}(Dt, \gamma, \eta, \text{support}, \text{reject}, b)$
 Linha 32: if $b \geq \sigma$ then Condição verdadeira
 Linha 33: $\text{broadcastInform}(\eta, d, b)$ ag_1, ag_3 atualiza e ag_2, ag_4 inclui $a[\text{jack}(0.65)]$
 Linha 38: $\text{dtUpdate}(Dt, \gamma, \text{is}(a))$ $is = 0.825$
 Linha 39: $\text{broadcastAttack}()$
 $S_1 = \{\langle \{a, a \rightarrow \text{jack}\}, \text{jack} \rangle, \langle \{a\}, a \rangle\}$
 $S_2 = \{\langle \{b\}, b \rangle, \langle \{g, g \rightarrow \neg \text{jack}\}, \neg \text{jack} \rangle, \langle \{b, b \rightarrow \neg \text{jack}\}, \neg \text{jack} \rangle\}$
 $S_4 = \{\langle \{-a, -a \rightarrow \neg \text{jack}\}, \neg \text{jack} \rangle, \langle \{-a\}, -a \rangle\}$
 Linha 40: $\text{wait}(t, 2)$
 Linha 43: $\text{updateWhiteboard}(wb)$ $WB = \{ag_1, ag_2\}$
 Linha 44: $\text{addWhiteboard}(wb, \text{broadcastASKSpeak}())$ $WB = \{ag_1, ag_2, ag_4\}$
 Linha 17: while not($\text{emptyWhiteboard}(wb)$) do $WB \neq \emptyset$
 Linha 18: $\text{currentAgent} \leftarrow \text{getWhiteboard}(wb, 0)$ $\text{currentAgent} = ag_1$
 Linha 19: $\text{listArgs} \leftarrow \text{askArguments}(\text{currentAgent})$
 $\text{listArgs} = \langle \{a, a \rightarrow \text{jack}\}, \text{jack} \rangle, \langle \{a\}, a \rangle$
 Linha 20: $\text{fillAgenda}(\text{agenda}, \text{listArgs})$ $AGENDA = \text{listArgs}$
 Linha 21: for all $a \in \text{agenda}$ do $\langle \{a, a \rightarrow \text{jack}\}, \text{jack} \rangle$
 Linha 22: if $\text{checkArguments}(a)$ then a é um argumento aprovado
 Linha 23: $\gamma \leftarrow \text{dtAddArgument}(Dt, \text{currentAgent}, a, \text{getAttack}(a))$ $\gamma = 7$
 Linha 24: $\text{broadcastArgument}(a, \gamma)$ $A_1 = A_2 = A_3 = A_4 = \langle \{a, a \rightarrow \text{jack}\}, \text{jack} \rangle$
 Linha 25: $\text{formulasArgument} \leftarrow \text{split}(a)$ $\text{formulasArgument} = \{a, a \rightarrow \text{jack}, \text{jack}\}$
 Linha 26: for all $\eta \in \text{formulasArgument}$ do $\eta = a$
 Linha 27: $\text{support} \leftarrow \text{broadcastAskVotingAgreement}(\eta)$ $\text{Support}[a] = \{ag_2, ag_3, ag_4\}$
 Linha 28: $\text{reject} \leftarrow \text{broadcastAskVotingRejection}(\eta)$ $\text{Reject}[a] = \{ag_4\}$
 Linha 29: $\text{wait}(t, 1)$
 Linha 30: $b \leftarrow \text{cl}(\text{currentAgent}, \text{support}, \text{reject})$ $b = 0.85$
 Linha 31: $\text{dtUpdate}(Dt, \gamma, \eta, \text{support}, \text{reject}, b)$
 Linha 32: if $b \geq \sigma$ then Condição verdadeira
 Linha 33: $\text{broadcastInform}(\eta, d, b)$ formula a já foi apresentada anteriormente
 Linha 26: for all $\eta \in \text{formulasArgument}$ do $\eta = a \rightarrow \text{jack}$
 Linha 27: $\text{support} \leftarrow \text{broadcastAskVotingAgreement}(\eta)$ $\text{Support}[a \rightarrow \text{jack}] = \{\}$
 Linha 28: $\text{reject} \leftarrow \text{broadcastAskVotingRejection}(\eta)$ $\text{Reject}[a \rightarrow \text{jack}] = \{ag_4\}$

Linha 29: wait($t, 1$)
 Linha 30: $b \leftarrow \text{cl}(\text{currentAgent}, \text{support}, \text{reject})$ $b = 0.15$
 Linha 31: dtUpdate($Dt, \gamma, \eta, \text{support}, \text{reject}, b$)
 Linha 32: if $b \geq \sigma$ then Condição falsa
 Linha 35: broadcastInform($\eta, d, 0$) ag_1 atualiza $a \rightarrow \text{jack}[\text{jack}(0)]$
 Linha 26: for all $\eta \in \text{formulasArgument}$ do $\eta = \text{jack}$
 Linha 27: $\text{support} \leftarrow \text{broadcastAskVotingAgreement}(\eta)$ $\text{Support}[\text{jack}] = \{ag_2, ag_3, ag_4\}$
 Linha 28: $\text{reject} \leftarrow \text{broadcastAskVotingRejection}(\eta)$ $\text{Reject}[\text{jack}] = \{ag_2, ag_4\}$
 Linha 29: wait($t, 1$)
 Linha 30: $b \leftarrow \text{cl}(\text{currentAgent}, \text{support}, \text{reject})$ $b = 0.65$
 Linha 31: dtUpdate($Dt, \gamma, \eta, \text{support}, \text{reject}, b$)
 Linha 32: if $b \geq \sigma$ then Condição verdadeira
 Linha 33: broadcastInform(η, d, b) formula jack já foi apresentada anteriormente
 Linha 38: dtUpdate($Dt, \gamma, \text{is}(a)$) $is = 0.775$
 Linha 39: broadcastAttack()
 $S_2 = \{\langle\{b\}, b\rangle, \langle\{g, g \rightarrow \neg \text{jack}\}, \neg \text{jack}\rangle, \langle\{b, b \rightarrow \neg \text{jack}\}, \neg \text{jack}\rangle\}$
 $S_4 = \{\langle\{-a, -a \rightarrow \neg \text{jack}\}, \neg \text{jack}\rangle, \langle\{-a\}, -a\rangle\}$
 Linha 40: wait($t, 2$)
 Linha 21: for all $a \in \text{agenda}$ do $a = \langle\{a\}, a\rangle$
 Linha 22: if checkArguments(a) then a não é um argumento aprovado.
 Linha 43: updateWhiteboard(wb) $WB = \{ag_2, ag_4\}$
 Linha 44: addWhiteboard($wb, \text{broadcastASkSpeak}()$) $WB = \{ag_2, ag_4\}$
 Linha 17: while not(emptyWhiteboard(wb)) do $WB \neq \emptyset$
 Linha 18: $\text{currentAgent} \leftarrow \text{getWhiteboard}(wb, 0)$ $\text{currentAgent} = ag_2$
 Linha 19: $\text{listArgs} \leftarrow \text{askArguments}(\text{currentAgent})$
 $\text{listArgs} = \{\langle\{b\}, b\rangle, \langle\{g, g \rightarrow \neg \text{jack}\}, \neg \text{jack}\rangle, \langle\{b, b \rightarrow \neg \text{jack}\}, \neg \text{jack}\rangle\}$
 Linha 20: fillAgenda($\text{agenda}, \text{listArgs}$) $AGENDA = \text{listArgs}$
 Linha 21: for all $a \in \text{agenda}$ do $\langle\{b\}, b\rangle$
 Linha 22: if checkArguments(a) then a não é um argumento aprovado
 Linha 21: for all $a \in \text{agenda}$ do $\langle\{g, g \rightarrow \neg \text{jack}\}, \neg \text{jack}\rangle$
 Linha 22: if checkArguments(a) then a não é um argumento aprovado
 Linha 21: for all $a \in \text{agenda}$ do $\langle\{b, b \rightarrow \neg \text{jack}\}, \neg \text{jack}\rangle$
 Linha 22: if checkArguments(a) then a não é um argumento aprovado
 Linha 43: updateWhiteboard(wb) $WB = \{ag_4\}$
 Linha 44: addWhiteboard($wb, \text{broadcastASkSpeak}()$) $WB = \{ag_4\}$
 Linha 17: while not(emptyWhiteboard(wb)) do $WB \neq \emptyset$
 Linha 18: $\text{currentAgent} \leftarrow \text{getWhiteboard}(wb, 0)$ $\text{currentAgent} = ag_4$

Linha 19: $listArgs \leftarrow askArguments(currentAgent)$
 $listArgs = \{\langle\{-a, \neg a \rightarrow \neg jack\}, \neg jack\rangle, \langle\{-a\}, \neg a\rangle\}$
 Linha 20: $fillAgenda(agenda, listArgs)$ $AGENDA = listArgs$
 Linha 21: for all $a \in agenda$ do $\langle\{-a, \neg a \rightarrow \neg jack\}, \neg jack\rangle$
 Linha 22: if $checkArguments(a)$ then a não é um argumento aprovado
 Linha 21: for all $a \in agenda$ do $\langle\{-a\}, \neg a\rangle$
 Linha 22: if $checkArguments(a)$ then a não é um argumento aprovado
 Linha 43: $updateWhiteboard(wb)$ $WB = \{\}$
 Linha 44: $addWhiteboard(wb, broadcastASkSpeak())$ $WB = \{\}$

Não existe nenhum agente argumentativo registrado em WB e a $AGENDA$ não contém nenhum argumento para ser discutido pelo grupo. Neste ponto, o diálogo sobre $jack$ é finalizado e o agente med pode reiniciar o diálogo agora para a próxima alternativa de decisão ainda não discutida pelo grupo.

Anexos

ANEXO A – Geração de Argumentos

Neste anexo é apresentado o processo para geração de argumentos estruturados utilizando a lógica proposicional conforme proposto por [Efstathiou e Hunter \(2011\)](#) e [Efstathiou e Hunter \(2008\)](#).

A.1 Lógica Proposicional

De acordo com [Besnard e Hunter \(2008\)](#), a linguagem proposicional \mathcal{LP} pode ser utilizada como um ponto inicial para representação do conhecimento e raciocínio, visto que ela fornece um padrão que pode ser aplicado ao comparar alternativas. A linguagem é baseada em um conjunto arbitrário de símbolos proposicionais, chamados *átomos*. Estes átomos podem ser interpretados por sentenças declarativas e podem receber valores-verdade *falso* (F) ou *verdadeiro* (T). Por exemplo, símbolos proposicionais α, β, \dots entre outros, podem ser lidos como:

α : Está chovendo.

β : Carlos é casado.

\vdots

Um conjunto de conectivos lógicos são geralmente utilizados na lógica proposicional, tais como \wedge (para conjunção), \vee (para disjunção), \rightarrow (para implicação), \leftrightarrow (para bicondição ou equivalência) e \neg (para negação). Uma fórmula na linguagem proposicional é formada por um conjunto de átomos e conectivos lógicos, ou seja $\alpha, \neg\alpha, \alpha \wedge \beta, \alpha \vee \beta, \alpha \rightarrow \beta, \alpha \leftrightarrow \beta, \neg(\alpha \rightarrow \neg\beta)$ ou $\alpha \rightarrow (\beta \wedge \gamma \wedge \delta)$ são exemplos de fórmulas na linguagem proposicional. Por questões de legibilidade, os átomos podem estar na forma mnemônica, tal como *MoedaEUADolar* ou *VenezuelaExportaÓleo*.

Seja $atoms(\eta)$ uma função que retorna o conjunto de átomos de uma fórmula η . Para cada átomo $\alpha \in atoms(\eta)$, tanto α como $\neg\alpha$ é um literal (literal positivo ou literal negativo). Para $\alpha_1, \dots, \alpha_n \in \mathcal{LP}$, tem-se que $\alpha_1 \vee \dots \vee \alpha_n$ é uma cláusula se, e somente se, cada $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ for um literal. Uma cláusula está na forma normal disjuntiva se, e somente se, cada um de $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ for uma conjunção de literais. Uma cláusula está na forma normal conjuntiva se, e somente se, cada um de $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ for uma cláusula.

Uma interpretação para uma linguagem proposicional é uma função w que retorna o valor-verdade de cada átomo de uma fórmula, tal como:

$w(\alpha \wedge \beta) = T$ se, e somente se, $w(\alpha) = w(\beta) = T$

$w(\alpha \wedge \beta) = F$ se, e somente se, $w(\alpha) = F$ ou $w(\beta) = F$

$w(\alpha \vee \beta) = T$ se, e somente se, $w(\alpha) = T$ ou $w(\beta) = T$

$w(\alpha \vee \beta) = F$ se, e somente se, $w(\alpha) = w(\beta) = F$

$w(\neg\alpha) = T$ se, e somente se, $w(\alpha) = F$

$w(\neg\alpha) = F$ se, e somente se, $w(\alpha) = T$

$w(\alpha \rightarrow \beta) = T$ se, e somente se, $w(\alpha) = F$ ou $w(\beta) = T$

$w(\alpha \rightarrow \beta) = F$ se, e somente se, $w(\alpha) = T$ ou $w(\beta) = F$

$w(\alpha \leftrightarrow \beta) = T$ se, e somente se, $w(\alpha) = w(\beta)$

$w(\alpha \leftrightarrow \beta) = F$ se, e somente se, $w(\alpha) \neq w(\beta)$

Exemplo 28. Seja $\Sigma = \{\neg a, a \vee b\}$. Existem quatro interpretações para Σ : (1) $a = T, \neg a = F, b = T, a \vee b = T$, (2) $a = T, \neg a = F, b = F, a \vee b = F$, (3) $a = F, \neg a = T, b = T, a \vee b = T$ e (4) $a = F, \neg a = T, b = F, a \vee b = F$, onde cada interpretação é uma linha na tabela-verdade.

Uma fórmula válida (ou tautologia) é uma fórmula em que todas as interpretações são satisfeitas. Uma fórmula é inconsistente (contradição) se nenhuma interpretação for satisfeita.

Exemplo 29. Fórmulas válidas (tautologias): $(\alpha \vee \neg\alpha)$, $(\alpha \rightarrow \alpha)$ e $(\beta \vee \alpha \vee \neg\alpha \vee \gamma)$. Fórmulas inconsistentes (contradições): $(\alpha \wedge \neg\alpha)$, $(\alpha \leftrightarrow \neg\alpha)$ e $((\alpha \wedge \neg\alpha) \wedge (\alpha \rightarrow \beta))$.

A.2 Argumentos lógicos

Efstathiou e Hunter (2011) e Efstathiou e Hunter (2008) utilizam grafo de conexões para reduzir o espaço de busca ao construir argumentos. A partir de uma base de conhecimentos Σ com fórmulas na forma normal conjuntiva e de uma conclusão α para um argumento, também em forma normal conjuntiva, pode-se formar um grafo de conexões onde cada nó é uma cláusula que aparece como uma conjunção em alguma fórmula de Σ .

Seja $\phi = \gamma_1 \wedge \dots \wedge \gamma_n$ uma fórmula em forma normal conjuntiva onde cada elemento $\gamma_1, \dots, \gamma_n$ é uma disjunção de literais. Seja $\psi = \delta_1 \vee \dots \vee \delta_n$ uma fórmula em forma normal disjuntiva onde cada elemento $\delta_1, \dots, \delta_n$ é uma conjunção de literais. A função *Conjuncts*(ϕ) retorna o conjunto de cláusulas disjuntivas de ϕ (*Conjuncts*(ϕ) = $\{\gamma_1, \dots, \gamma_n\}$). A função *Disjuncts*(ψ) retorna o conjunto de cláusulas conjuntivas em δ (*Disjuncts*(ψ) = $\{\delta_1, \dots, \delta_n\}$).

Exemplo 30. Considere $\phi = (a \vee b) \wedge (a \vee d) \wedge q$. Tem-se que *Conjuncts*(ϕ) = $\{a \vee b, a \vee d, q\}$. Considere $\psi = (a \wedge c) \vee (d \wedge p)$. Tem-se que *Disjuncts*(ψ) = $\{a \wedge c, d \wedge p\}$.

Dois funções são definidas para comparar pares de cláusulas:

Preattacks(ϕ, ψ) = $\{b \mid b \in \text{Disjuncts}(\phi) \text{ e } \neg b \in \text{Disjuncts}(\psi)\}$. A função *Preattacks* retorna o conjunto de literais complementares entre as duas cláusulas informadas.

Se *Preattacks*(ϕ, ψ) = $\{b\}$ para algum b (conjunto unitário), então *Attacks*(ϕ, ψ) = b ,

caso contrário, $Attacks(\phi, \psi) = null$. A função $Attacks$ retorna um único literal que está contido em $Preattacks$.

Exemplo 31. Usando as funções $Preattacks$ e $Attacks$, tem-se que:

$Preattacks(a \vee \neg b \vee \neg c \vee d, a \vee b \vee \neg d \vee d) = \{\neg b, d\}$ e $Attacks(a \vee \neg b \vee \neg c \vee d, a \vee b \vee \neg d \vee d) = null$.

$Preattacks(a \vee b \vee \neg d, a \vee b \vee c) = \emptyset$ e $Attacks(a \vee b \vee \neg d, a \vee b \vee c) = null$.

$Preattacks(a \vee b \vee \neg d, a \vee b \vee d) = \{\neg d\}$ e $Attacks(a \vee b \vee \neg d, a \vee b \vee d) = \neg d$.

Um **grafo de conexão** para uma base de conhecimentos Σ é um grafo (N, A) onde N é um conjunto de vértices (cada vértice corresponde a uma cláusula em Σ) e A é um conjunto de arestas que conectam pares de cláusulas com seus literais complementares, ou seja, $N = \Sigma$ e $A = \{(\phi, \psi) | Preattacks(\phi, \psi) \neq \emptyset\}$.

Exemplo 32. (EFSTATHIOU; HUNTER, 2008)

Seja $\Sigma = \{k, k \rightarrow l, \neg l, k \rightarrow \neg m, \neg k \rightarrow m \vee d, \neg d, e \wedge \neg c \rightarrow \neg d, c \rightarrow d, \neg e \rightarrow \neg c, \neg c \rightarrow f, f \rightarrow g, \neg e, \neg f, \neg f \rightarrow \neg g, \neg a \wedge \neg q \rightarrow n, n \rightarrow \neg q, \neg n, \neg a \rightarrow r, \neg a \rightarrow t, r \rightarrow \neg t\}$. Representando Σ na forma normal conjuntiva, tem-se $\Sigma = \{k, \neg k \vee l, \neg l, \neg k \vee \neg m, k \vee m \vee d, \neg d, \neg e \vee c \vee \neg d, \neg c \vee d, e \vee \neg c, c \vee f, \neg f \vee g, \neg e, \neg f, f \vee \neg g, a \vee q \vee n, \neg n \vee \neg q, \neg n, a \vee r, a \vee t, \neg r \vee \neg t\}$. O grafo de conexão entre as fórmulas é apresentado na Figura 27

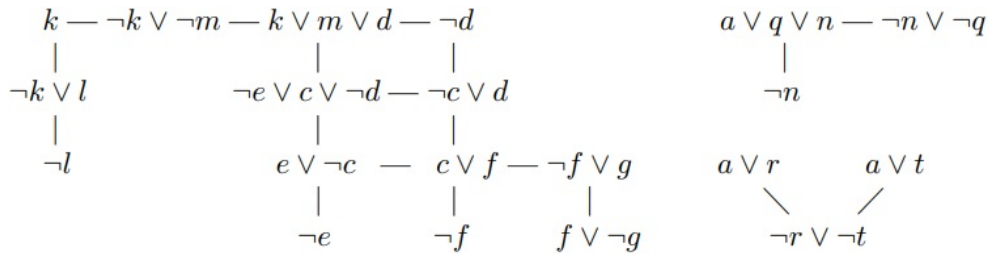


Figura 27 – Grafo de conexão entre fórmulas (EFSTATHIOU; HUNTER, 2008).

Um **grafo de ataque** para uma base de conhecimentos Σ é um subgrafo (N, A) do grafo de ataques, onde N é um conjunto de vértices (cada vértice corresponde a uma cláusula em Σ) e A é um conjunto de arestas que conectam pares de cláusulas com exatamente um literal complementar, ou seja, $N = \Sigma$ e $A = \{(\phi, \psi) | Attacks(\phi, \psi) \neq null\}$.

Exemplo 33. (Cont. Exemplo 32) O grafo de ataques entre as fórmulas de Σ é representado na Figura 28. As elipses pontilhadas representam as arestas removidas do grafo de conexão. Como $Preattacks(\neg k \vee \neg m, k \vee m \vee d) = \{\neg k, \neg m\}$ e $Attacks(\neg k \vee \neg m, k \vee m \vee d) = null$, então não existe uma aresta ligando os dois vértices. O mesmo ocorre nas arestas removidas, identificadas por elipses pontilhadas.

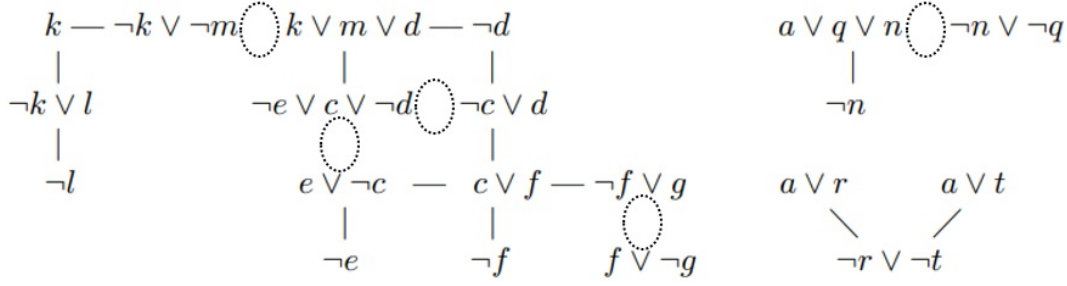


Figura 28 – Grafo de ataque entre fórmulas (EFSTATHIOU; HUNTER, 2008). Elipses pontilhadas representam as arestas removidas do grafo de conexão.

Um **grafo fechado** para uma base de conhecimentos Σ é o maior subgrafo do grafo de ataques, onde, para cada cláusula ϕ no subgrafo e para cada disjunção b em ϕ , existe uma outra cláusula ψ no subgrafo, tal que $Attacks(\phi, \psi) = b$ ocorra, ou seja, para cada $b \in Disjunct(\phi)$ existe um $\psi \in N$ onde $Attack(\phi, \psi) = b$.

Exemplo 34. (Cont. Exemplo 33) O grafo fechado a partir do grafo de ataques para a base Σ é apresentado na Figura 29. O vértice $\neg k \vee \neg m$ não está presente no grafo, pois existe $Attacks(\neg k \vee \neg m, k) = \neg k$, mas não existe outra fórmula ψ onde $Attacks(\neg k \vee \neg m, \psi) = \neg m$. O mesmo ocorre com os demais vértices removidos do grafo de ataques.

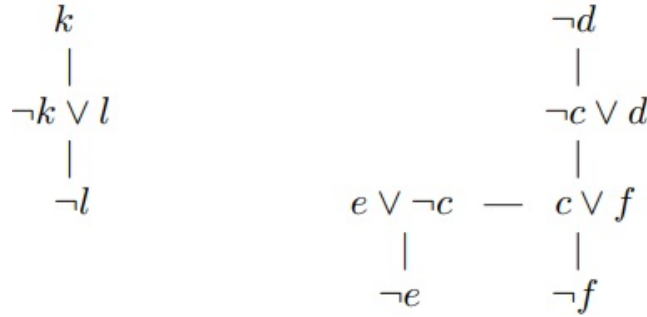


Figura 29 – Grafo fechado a partir do grafo de ataques (EFSTATHIOU; HUNTER, 2008).

Um **grafo focal** é um subgrafo do grafo fechado para uma base de conhecimentos Σ que é especificado por uma cláusula $\phi \in \Sigma$ chamada de epicentro e corresponde a uma parte do grafo fechado que contém ϕ . Um componente de um grafo significa que cada vértice é conectado por um caminho a outros vértices no componente. Se um componente X de um grafo fechado contém o vértice ϕ , então grafo focal é X , ou então, o grafo focal é vazio.

Exemplo 35. (Cont. Exemplo 34) O grafo fechado contém dois componentes: $X_1 = \{k, \neg k \vee l, \neg l\}$, $X_2 = \{\neg d, \neg c \vee d, c \vee f, \neg f, e \vee \neg c, \neg e\}$. O grafo focal de $\neg l$ em Σ é o componente X_1 , pois que $\neg l \in \{k, \neg k \vee l, \neg l\}$, representado na Figura 30.

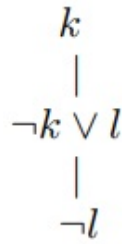


Figura 30 – Grafo focal para epicentro $\neg l$ em um componente do grafo fechado (EFSTATHIOU; HUNTER, 2008).

O grafo focal pode ser utilizado para reduzir o espaço de busca ao procurar por argumentos para uma cláusula α em uma base de conhecimentos Σ . Para isso, deve-se utilizar cada uma das conjunções de $\neg\alpha$ como epicentro para grafo focal de Σ . Todos os grafos focais determinados pelas conjunções de $\neg\alpha$ formam os componentes de um grafo chamado grafo de consulta de α em Σ . O conjunto de cláusulas que aparecem como vértices no grafo de consulta contém todas as fórmulas necessárias em Σ que podem fornecer suporte (premissa) ao argumento para α . Um **grafo de consulta** para uma cláusula α é, portanto, o grafo focal de $\neg\alpha$ com $\Sigma \cup \{\neg a_i | a_i \in \text{Disjuncts}(\alpha)\}$.

Exemplo 36. (Cont. Exemplo 32) Para a base de conhecimentos Σ e a cláusula $\alpha = \neg m$, tem-se que $\Sigma' = \Sigma \cup \{m\}$. Para a cláusula $\alpha = \neg c$, tem-se $\Sigma' = \Sigma \cup \{c\}$. O grafo de consulta para $\alpha = \neg m$ (em (a)) e o grafo de consulta para $\alpha = \neg c$ (em (b)) são apresentados na Figura 31a e 31b, respectivamente.

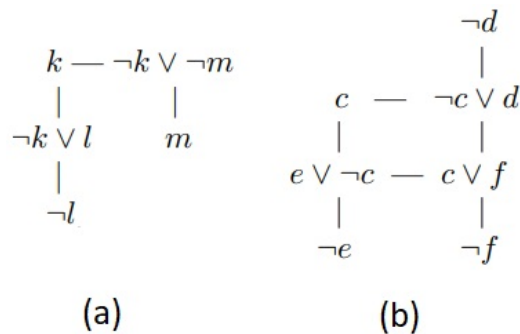


Figura 31 – Grafo de consulta para a cláusula $\neg m$ (a) e $\neg c$ (b) (EFSTATHIOU; HUNTER, 2008).

O grafo de consultas para uma cláusula α obtido a partir de uma base de conhecimentos Σ apresenta um subgrafo de Σ que contém fórmulas que podem ser a premissa de um argumento para α . O grafo de consultas também apresenta como as fórmulas se relacionam umas com as outras, no sentido de criar um conjunto de cláusulas que podem ser utilizadas como suporte para a conclusão α .

Uma **árvore de pré-suporte** é criada, a partir do grafo de consulta, para representar os passos da busca por um argumento cuja conclusão seja α . Nesta árvore, seu vértice raiz é formado por $\neg\alpha$ e os demais são formados por elementos do grafo de consulta. A árvore de pré-suporte é definida como uma tupla (N, A, f) onde (N, A) é uma árvore, com N representando os vértices e A as arestas, e f é um mapeamento de N para Σ , tal que:

1. Se x for a raiz da árvore, então $f(x) = \neg\alpha$ e existe exatamente um único filho y de x ($Attacks(f(y), f(x)) = \alpha$).

Esta condição inicializa a estrutura de árvore configurando sua raiz como uma conclusão negativa e assegurando que este vértice será atacado por alguma outra fórmula. Estabelecendo que a raiz possua apenas um único filho, garante que a largura do primeiro nível da árvore seja minimizada;

2. Para quaisquer vértices x, y no mesmo galho da árvore, se $x \neq y$, então $f(x) \neq f(y)$. Esta condição assegura que existam apenas árvores com profundidade finita e não haja repetição do mesmo vértice na árvore;

3. Para quaisquer vértices x, y no mesmo galho da árvore, se x é pai de y , então $Attacks(f(x), f(y)) \neq null$.

Esta condição assegura que todos os elementos das disjunções de uma cláusula em um vértice sejam atacados por um nó no mesmo galho da árvore, fazendo com que apenas o número necessário de filhos estejam em cada nível da árvore.

Exemplo 37. (Cont. Exemplo 36) Para a conclusão do argumento $\alpha = \neg c$, existem duas árvores de pré-suporte, apresentadas na Figura 32

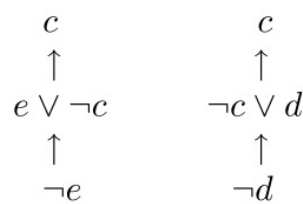


Figura 32 – Árvores de pré-suporte para a conclusão do argumento $\neg c$ (EFSTATHIOU; HUNTER, 2008).

Tem-se que uma árvore de pré-suporte é **consistente** quando, para quaisquer dois vértices x e y , onde x' é o pai de x e y' é o pai de y , ocorre $Attacks(f(x), f(x')) \neq Attacks(f(y), f(y'))$, ou seja, a árvore de pré-suporte é consistente se não contém pares de arcos $(x, x'), (y, y')$ tal que $Attacks(f(x), f(x')) = \neg\beta$ e $Attacks(f(y), f(y')) = \beta$ para algum $\neg\beta \in Disjuncts(f(x))$ e $\beta \in Disjuncts(f(y))$.

Exemplo 38. (EFSTATHIOU; HUNTER, 2008) Seja $\Sigma' = \{\neg d, \neg a \vee b \vee c, \neg b \vee \neg e, a \vee \neg e, \neg e, e, e \vee d, \neg d\}$ e $\Sigma'' = \{\neg d, \neg a \vee b \vee c, \neg b \vee e, a \vee \neg e, \neg e, e\}$ duas bases de conhecimento. A árvore de pré-suporte para $\alpha = c$ obtido a partir de Σ' (Figura 33a) é consistente, enquanto que a árvore de pré-suporte obtida a partir de Σ'' (Figura 33b) não é consistente:

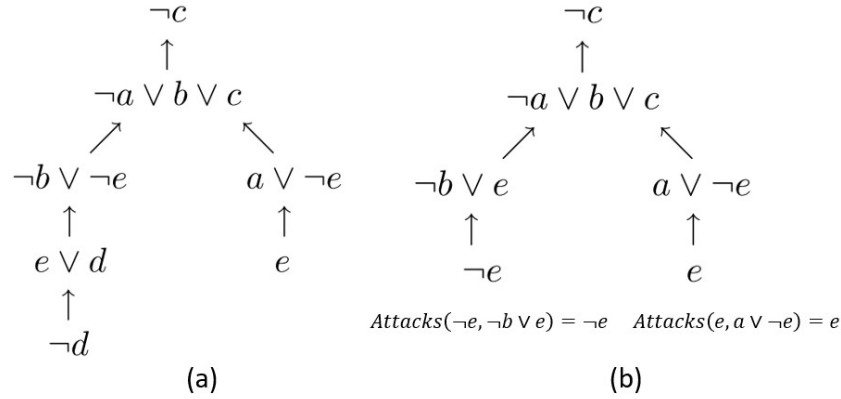


Figura 33 – Árvore de pré-suporte consistente (a) e não consistente (b) (EFSTATHIOU; HUNTER, 2008).

Seja $SubArvore(x)$ o conjunto de fórmulas em uma sub-árvore que possui x em sua raiz. Tem-se que uma árvore de pré-suporte é **mínima** quando:

1. Para quaisquer vértices x, y no mesmo galho da árvore, onde x' é pai de x e y' é pai de y : $Attacks(f(x), f(x')) \neq Attacks(f(y), f(y'))$.

Vértices que não são necessários para a dedução da conclusão não são incluídos nas ramificações de uma árvore mínima de pré-suporte;

2. Se, para dois vértices x e y , com x' sendo pai de x e y' sendo pai de y , ocorre que $Attacks(f(x), f(x')) = Attacks(f(y), f(y'))$, então $SubArvore(x) \subseteq SubArvore(y')$ ou $SubArvore(y) \subseteq SubArvore(x')$.

Se dois vértices x e y precisam ser atacados na mesma disjunção, então vértices comuns serão usados para atacá-los. Desta forma, não haverá mais de um conjunto de vértices deduzindo a mesma conclusão.

Exemplo 39. A árvore no Exemplo 38b é mínima. A árvore no Exemplo 38a não é mínima, pois viola a segunda condição para árvores de pré-suporte mínimas:

$Attacks(e \vee d, \neg b \vee \neg e) = e$ e $Attacks(e, a \vee \neg e) = e$. Entretanto, $SubArvore(e \vee d) \not\subseteq SubArvore(a \vee \neg e)$ nem $SubArvore(e) \not\subseteq SubArvore(\neg b \vee \neg e)$.

Caso $SubArvore(e)$ seja substituída por uma cópia de $SubArvore(e \vee d)$, então ela será uma árvore de pré-suporte mínima, conforme Figura 34.

Uma árvore de pré-suporte (N, A, f) é conhecida como **árvore de suporte** se, e somente se, ela for consistente e mínima.

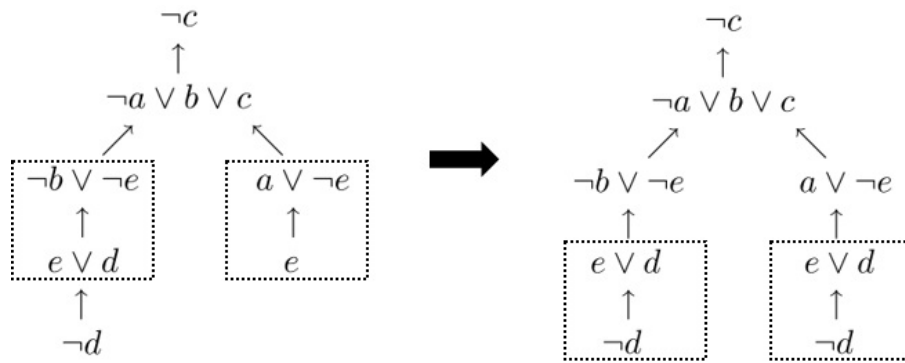


Figura 34 – Árvore consistente mínima (EFSTATHIOU; HUNTER, 2008)

Seja Φ um subconjunto de fórmulas em Σ . Diz-se que Φ é um **subconjunto inconsistente mínimo** quando: (i) $\Phi \vdash \perp$, e (ii) $\forall \Psi \subseteq \Sigma$, se $\Psi \subset \Phi$, então $\Psi \not\vdash \perp$.

A estrutura $\langle \Phi, \alpha \rangle$ é um argumento para α se, e somente se, $\Phi \cup \{-\alpha\}$ é um subconjunto inconsistente mínimo de $\Sigma \cup \{-\alpha\}$. Desta forma, uma a estrutura (N, A, f) é uma árvore de suporte na base Σ para um argumento com conclusão α se $\{f(x) | x \in N\} \setminus \{-\alpha\} \vdash \alpha$.

Efstathiou e Hunter (2010) e Hunter (2010) fornecem uma implementação computacional na linguagem Java para a geração de argumentos lógicos conforme apresentado. Outras bibliotecas em Java para a geração de argumentos dedutivos são disponibilizadas por Thimm (2015).