

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

JONATHAN MORRIS SAMARA

**PROPOSTA DE UM MODELO PARA REPRESENTAR CENÁRIOS DE
ACIDENTE USANDO CONCEITOS DE NORMA, SANÇÃO E
VIOLAÇÃO**

DISSERTAÇÃO

CURITIBA

2019

JONATHAN MORRIS SAMARA

**PROPOSTA DE UM MODELO PARA REPRESENTAR CENÁRIOS DE
ACIDENTE USANDO CONCEITOS DE NORMA, SANÇÃO E
VIOLAÇÃO**

Dissertação 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 “Mestre em Ciências” – Área de Concentração: Informática Industrial.

Orientador: Cesar Augusto Tacla

CURITIBA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

T137 Morris Samara, Jonathan
Proposta de um modelo para representar cenários de acidente usando conceitos de Norma, Sanção e Violação/ Jonathan Morris Samara. – 2019.
126 f. : il. ; 30 cm

Orientador: Cesar Augusto Tacla.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial. Curitiba, 2019.
Bibliografia: f. 122-124.

1. Sistema Multiagente. 2. Normas. 3. Sanção, Violação

CDD (22. ed.) 621.3

Biblioteca xxxxxx

Título da Dissertação Nº 596:

**“Esquema de Controle de Congestionamento para
TCP Baseado na Banda Disponível”.**

por

Marcos Talau

Esta dissertação foi apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de MESTRE EM CIÊNCIAS – Área de Concentração: Telemática, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial – CPGEI – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Câmpus Curitiba, às 09h30min. do dia 04 de maio de 2012. O trabalho foi aprovado pela Banca Examinadora, composta pelos professores:



Visto da coordenação:



Texto da dedicatória.

AGRADECIMENTOS

Texto dos agradecimentos.

Texto da epígrafe.

RESUMO

Morris Samara, Jonathan. PROPOSTA DE UM MODELO PARA REPRESENTAR CENÁRIOS DE ACIDENTE USANDO CONCEITOS DE NORMA, SANÇÃO E VIOLAÇÃO. 126 f. Dissertação – Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Texto do resumo (máximo de 500 palavras).

Palavras-chave: sistema multiagente, norma, sanção, violação

ABSTRACT

Morris Samara, Jonathan. TITLE IN ENGLISH. 126 f. Dissertação – Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Abstract text (maximum of 500 words).

Keywords: Keyword 1, Keyword 2, ...

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	– Arvore de objetivos definido pelo modelo Moise (HÜBNER et al., 2002)	27
FIGURA 2	– Linguagem para descrever um programa de multiagentes normativos com a possibilidade de violações e sanções na notação EBNF segundo o texto (DASTANI et al., 2009). Nesta notação, $\langle ident \rangle$ é usado para denotar uma <i>string</i> e $\langle int \rangle$ inteiros. Os termos $\langle b-prop \rangle$ e $\langle i-prop \rangle$ são usados para designar dois tipos de conjuntos de proposições que são disjuntos entre si	29
FIGURA 3	– Um programa descrito na linguagem proposta neste estudo onde um agente representa um passageiro em uma estação de trem que pode entrar com ou sem um <i>ticket</i> na plataforma e no trem (DASTANI et al., 2009).	30
FIGURA 4	– A estrutura geral das classes do modelo	37
FIGURA 5	– Diagrama de classes do Modelo	47
FIGURA 6	– Diagrama de atividades do modelo	59
FIGURA 7	– Ontologia que descreve <i>Domain Model</i> no model V3S (BAROT et al., 2013)	100
FIGURA 8	– Gráfico de BowTie do texto (CAMUS et al., 2012)	103

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	– Os agentes que constituem uma manutenção	66
TABELA 2	– Os papéis relevantes para a ocorrência da manutenção	67
TABELA 3	– Relação $hasRole(ag_n, \rho_m)$	67
TABELA 4	– Definindo todos os artefatos presentes na manutenção	68
TABELA 5	– Define e descreve os objetivos bem como os respectivos pré-requisitos ...	70
TABELA 6	– Define as condições necessárias para que a manutenção tenha possibilidade de acontecer	71
TABELA 7	– Descrição das entidades em função das relações	72
TABELA 8	– Descrição das entidades em função das relações	73
TABELA 9	– Define o impacto que o erro em um relacionamento gera em outro relacionamento	74
TABELA 10	– Define o impacto que o erro em um relacionamento gera em outro relacionamento	75
TABELA 11	– Define o impacto que o erro em um relacionamento gera em outro relacionamento por mudar a possibilidade de algo errado acontecer.	76
TABELA 12	– Objetivos que devem ser atingidos pelo agente que assumir um dada função	77
TABELA 13	– Objetivos que devem ser atingidos pelo agente que assumir um dada função	78
TABELA 14	– Objetivos que devem ser atingidos pelo agente que assumir um dada função	79
TABELA 15	– Objetivos que devem ser atingidos pelo agente que assumir um dada função	80
TABELA 16	– Entidades que formam os conjuntos eg_n . Cada conjunto destes estão relacionados com um objetivo e determinam as entidades necessárias para que o mesmo tenha condição de ser alcançado.	81
TABELA 17	– Relacionamentos que formam os conjuntos rg_n . Cada conjunto rg_n está relacionado com um objetivo A relação entre rg_n e $goal_m$ determina os relacionamentos necessários para que um dado objetivo tenha condição de ser atingido.	82
TABELA 18	– Relacionamentos que formam os conjuntos rg_n . Cada conjunto rg_n está relacionado com um objetivo A relação entre rg_n e $goal_m$ determina os relacionamentos necessários para que um dado objetivo tenha condição de ser atingido.	83
TABELA 19	– Todas as condições que constituem o conjunto cg_n . Este conjunto está relacionando com um ou mais objetivos e determina quais são as condições que devem ser mantidas para que o agente tenha uma situação razoável para tentar alcançar um certo objetivo	83
TABELA 20	– Define a relação entre os objetivos, conjuntos rg_n , eg_n e cg_n	83
TABELA 21	– Define a relação entre os objetivos, conjuntos rg_n , eg_n e cg_n	84
TABELA 22	– Construtores da linguagem <i>ACTIVITY-DL</i> (BAROT et al., 2013)	101
TABELA 23	– As pré-condições possíveis para as atividades (BAROT et al., 2013)	102
TABELA 24	– Análise comparativa sobre a expressividade desses modelos no que tange aos objetivos deste estudo. A sigla P.E.R significa Possibilidade de Algo Errado, a sigla C.A consiste em Condições Ambientais, a sigla I.AG.AR significa Interação entre Agente e Artefato e a sigla D.C.A significa	

Descrição de Cenário de Acidente	109
--	-----

LISTA DE QUADROS

LISTA DE SIGLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 MOTIVAÇÃO	13
1.2 RELEVÂNCIA	14
1.3 OBJETIVOS	15
1.3.1 Objetivo Geral	15
1.3.2 Objetivos Específicos	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 AGENTES	18
2.2 ARTEFATOS	21
2.3 SISTEMA MULTIAGENTE	23
2.3.1 Conceitos Gerais de uma Organização de Sistemas Multiagentes	23
2.3.2 Formalização de Conceitos Específicos para SMA	25
2.4 NORMAS	28
2.5 RISCOS	30
2.6 LÓGICA MODAL	32
3 METODOLOGIA	35
3.1 ANÁLISE DOS MODELOS	35
3.2 ACOMPANHAMENTO DE PROFISSIONAIS EM ATIVIDADE DE RISCO	35
3.3 CONSTRUÇÃO DO MODELO	35
3.4 IMPLEMENTAÇÃO	35
4 RESULTADOS	36
4.1 ESTRUTURA CONCEITUAL	37
4.1.1 Módulos	37
4.1.2 Predicados	42
4.1.3 Diagrama de Classes	47
4.1.4 Regras	49
4.1.5 Diagrama de Atividades	58
4.1.6 Predicados Abertos e Fechados	61
4.2 CASO DE ESTUDO	65
4.3 RACIOCÍNIO	84
4.3.0.1 Raciocínio - 1	84
4.3.0.2 Raciocínio - 2	87
4.3.0.3 Raciocínio - 3	88
4.3.0.4 Raciocínio - 4	89
4.3.0.5 Raciocínio - 5	90
4.3.0.6 Raciocínio - 6	92
4.3.0.7 Raciocínio - 7	93
4.4 VALIDAÇÃO	94
5 DISCUSSÃO	95
5.1 ANÁLISE COMPARATIVA	95
5.1.1 Modelo MOISE+	95

5.2	MODELO PARA AGENTES NORMATIVOS DE <i>DASTANI</i>	99
5.3	MODELO V3S	100
5.4	MODELO NORMMAS	107
5.4.1	Comparação Genérica entre os Modelos	108
5.5	CONSISTÊNCIA DOS RESULTADOS	110
5.6	APLICAÇÕES	118
6	CONCLUSÃO	121
6.1	AVALIAÇÃO DOS OBJETIVOS	121
6.2	TRABALHOS FUTUROS	121
	REFERÊNCIAS	122
	Apêndice A – NOME DO APÊNDICE	125
	Anexo A – NOME DO ANEXO	126

1 INTRODUÇÃO

Hoje em dia é comum que diversas pessoas se submetam a atividades (na grande maioria das vezes, profissionais) que acarretam algum tipo de risco as suas vidas. Trabalhos como de eletricitas, bombeiros, área petroquímica, serviços de telecomunicações e de transporte (motoristas de ônibus e de carro) são apenas alguns exemplos onde profissionais são expostos a condições de risco.

Acidentes em situações assim ocorrem pelos mais diversos motivos. Investigar as cadeias de causalidade que resultam nessas situações podem trazer um entendimento de como lidar com circunstâncias assim. Conseqüentemente, isso traz um potencial para diminuir o número de acidentes. Assim sendo, é grande contribuição para comunidade a realização de estudos desse tipo. A computação é uma ciência que apresenta um grande potencial de contribuição para esse problema. Isso envolve criar representações que permitam formalizar raciocínios relevantes sobre o assunto.

Nesse estudo em específico, os pesquisadores têm o interesse de investigar essa questão usando sistemas multiagentes normativos. A seção 1.1 apresenta os motivos pelos quais é razoável fazer uso de sistemas multiagentes normativos para estudar questões envolvendo riscos e acidentes de trabalho. O entendimento do porque esse trabalho é importante é algo que será feito em 1.2. Os objetivos desse estudo estarão sintetizados na seção 1.3.

1.1 MOTIVAÇÃO

Nesse estudo os pesquisadores assumem que um acidente acontece porque alguém cometeu algum erro. Não é possível afirmar que essa proposição é verdade para todos os casos de acidente, contudo é possível verificar que existe situações de acidentes que se enquadram nessa condição. Acidentes de carro são exemplos disso, pois ocorrem (em muitos casos) porque pelo menos um condutor cometeu algum erro.

Os pesquisadores entendem que uma representação baseada em sistemas multiagentes

normativos é apropriada para tratar situações assim. Modelos baseados nesse tipo de representação tratam os seguintes conceitos; normas (instruções claras que devem ser fornecidas a um agente), violação (ocorre quando um agente descumpri uma norma) e sanção (consequências decorrentes de uma violação desta norma) (DASTANI et al., 2009) (LÓPEZ; LUCK, 2004), (WRIGHT, 1969). Nessa linha de raciocínio é possível conceber os profissionais como os agentes, o que eles devem fazer é possível representar por meio de normas, os erros são as violações e as consequências são dadas por sanções.

No que tange a investigação acadêmica, a motivação para realizar esse trabalho reside em entender como toda estrutura conceitual na área de agentes normativos (concebida pela comunidade acadêmica) pode ser usada para representar cenários de atividades que definem um potencial de acidentes. Outra motivação reside verificar quais são as vantagens e desvantagens perante os modelos que são apropriados para essa condição. Além desses duas motivações, é de grande interesse acadêmico analisar os raciocínios que podem se construídos e qual é o potencial desses no que diz respeito a correspondência com a realidade dos fatos.

1.2 RELEVÂNCIA

Esse estudo apresenta contribuições para três grandes campos (sendo que dois são da computação) do conhecimento. O primeiro campo é a representação computacional. Isso se da pelo fato de que esse estudo propõem uma representação que usa conceitos e estruturas (norma, violação e sanção) para resolver problemas envolvendo situações que apresentam potencial para acidente. Nesse aspecto existe duas condições a serem consideradas; a primeira situação consiste nos modelos que não são estruturados para representar cenários específicos de acidentes porém que podem ser usados para essa finalidade. Nessa situação a inovação e relevância desse estudo reside em aproveitar estruturas desses modelos para construir vocábulos e regras específicas para representar cenários dessa categoria. A segunda situação consiste em analisar modelos cujo foco implica representar cenários de acidentes. Nessa condição esse estudo é relevante porque aborda formas diferentes de fazer isso, o que gera consequências diferentes onde cada conjuntura específica apresenta vantagens e desvantagens únicas.

O segundo campo para o qual esse estudo é relevante são Sistemas Multiagentes. Existe diversos modelos e aplicações onde esse tipo de sistema é interessante e isso está atrelado a um espectro que vai desde a criação de novas tecnologias a entendimento das dinâmicas de seres humanos em termos computacionais. Assim sendo, esse estudo apresenta uma forma específica de SMA normativos a fim de entender, em termos computacionais, a dinâmica de trabalhadores que são expostos a riscos e acidentes. Como será tratado no texto adiante, existe

modelos de *SMA* que têm esse propósito. Contudo o modelo apresentado nesse estudo possui características específicas justamente por se basear em agentes normativos e por trazer regras específicas de violação e sanção para questões atreladas a acidentes tendo em vista análises e observações dos pesquisadores (sendo que essas análises foram feitas em estudos relacionados a temática de agentes e relacionados a acidentes de trabalho). É digno de nota que esse estudo não se preocupa em conceber representações que lidam com aspectos internos dos agentes, mas sim com a dinâmica sistêmica dos mesmos.

Entendimento de como se dá a segurança do trabalho é o terceiro campo para o qual esse estudo gera contribuição. O interesse desse texto é primeiramente computacional e não entra no mérito da ciência da Segurança no trabalho propriamente dito. Isso pois o interesse dos pesquisadores está relacionado a construir um modelo usando, em partes, os conceitos presentes nessa área o que não envolve elaborar um novo conceito de segurança propriamente dito. Contudo, o fato de conceber um sistema computacional para lidar com riscos e situações inesperadas em condições de trabalho consiste em um dialogo com a área de segurança por fornecer uma maneira formal de lidar com situações assim. Nessa situação, a relevância nessa área não é tão significativa como nos campos anteriores, contudo não é desprezível e merece ser notada.

1.3 OBJETIVOS

Essa subseção tem a finalidade de apresentar o objetivo geral bem como os objetivos específicos dessa pesquisa.

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Como objetivo geral os pesquisadores propõem, dentro do contexto computacional, um modelo capaz de representar cenários onde os agentes podem cometer erros durante a execução de algum atividade. Tendo em vista esses erros, eles podem prejudicar a si mesmos como seus colegas. Assim sendo, esse estudo investiga esse cenário por meio de um modelo que incorpora conceitos de norma, violação e sanção. Não apenas isso, mas nesse cenário há a consideração de que essas questões estão atreladas aos artefatos que são usados pelos agentes. Esses artefatos são objetos que estão sujeitos a influencia da ação dos agentes. Os artefatos são usados para representar objetos como ferramentas e máquinas, por exemplo.

Os pesquisadores consideram, neste estudo, que as violações não estão relacionadas apenas aos artefatos, mas também nas relações entre todas as entidades existentes ao longo

do cenário. As entidades compõem todos os elementos (agentes e artefatos) vinculados ao meio. As condições ambientais onde os agentes e os artefatos estão inseridos também são considerados neste estudo. O entendimento que se tem por condição ambiental consiste em um dado processo que existe no ambiente e que, de certa forma, pode influenciar a execução das atividades dos agentes. Como condições ambientais têm-se por exemplo os seguintes eventos; chuva, sol, vento e neve.

Não é do interesse deste estudo investigar condições normativas cuja caráter punitivo advém de sanções administrativas e jurídicas que ocorre no que tange a decisão de uma certa autoridade. Assim sendo, o modelo resultante deve ser capaz de representar situações onde os agentes sofrem consequências físicas negativas resultantes de uma cadeia de causalidade que foi ocasionada pelo erro de alguém (usando, para isso, o conceito de norma, violação e sanção). Dada essa circunstância, a representação tratada neste estudo deve trabalhar, em sua estrutura interna, o conceito de risco. É digno de nota que o termo risco apresenta um espectro semântico bastante amplo podendo ser usado nos mais diferentes contextos possíveis (ex. risco financeiro de um dado ativo). Por conta disto, é necessário frisar que neste texto o vocábulo risco é usado no mesmo significado atribuído pela comunidade de Segurança (isso será melhor abordado mais adiante).

Neste estudo, os pesquisadores têm interesse em apresentar um vocabulário específico no que tange ao objeto em interesse a ser representado. Esse modelo, portanto, deve ser capaz de representar organizações tais como trabalhadores em uma obra, indústrias, profissionais no âmbito hospitalar e estruturas deste gênero entendendo como se dá as violações em âmbitos específicos (falta de ferramentas, não conseguir executar procedimentos apropriados, executar uma atividade cujo momento não era adequado para isso).

Para o propósito aqui posto, se não há infinitas maneiras, há ao menos um numero muito variado de formas para construir um modelo com os objetivos aqui definidos. Contudo, esse texto desbrava ao menos uma das formas de se realizar isso.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A lista a seguir apresenta os cenários cujos quais o modelo proposto tem como por finalidade representar;

- Uma organização entre pessoas que atuam em prol de objetivos em comum.
- Pessoas que devem ser capazes de seguir instruções.

- Situações onde alguém comete algum erro por fazer algo que viola o que deve ser feito.
- Situações em que pessoas sofrem acidentes por consequência de suas próprias ações ou por consequência das ações de outros.
- Apresentar as consequências a integridade física (ferimentos, morte) que um acidente ocasiona.
- Aspectos aleatórios atrelados ao acidente (eventos ruins que apresentam uma possibilidade de ocorrer).
- A relação entre condições ambientes, objetos (ferramentas, máquinas) e pessoas.
- Conjecturas de condições ambientes, objetos e pessoas que contribuem (e como se dá essa contribuição) para ocorrência de eventos desagradáveis.

Esse estudo pretende construir essa representação considerando conceitos que estão expressos na lista que se segue;

- As pessoas são representadas usando conceito de agentes.
- Os objetos que são sujeitos a manipulação das pessoas são representados usando artefatos.
- Uma organização entre pessoas em prol de algum objetivo é representada por sistemas multiagentes.
- As instruções sobre o que deve ou não deve ser feito é representado usando conceitos de normas.
- Os erros cometidos por pessoas são representados por violações.
- As consequências negativas decorrentes dos erros são representados por sanções.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os estudos que fundamentam essa pesquisa. Isso consiste em todos os estudos acadêmicos que dão base para os vocábulos e regras que estruturam o modelo aqui proposto. Esses estudos abrangem as seguintes áreas; Agentes, Artefatos, Sistemas Multiagentes, Normas (em conjunto com Violações e Sanções), Riscos e Lógica Modal.

2.1 AGENTES

Não existe uma definição universal para tratar o conceito de agente sendo que esse tópico se encontra em meio a debates e controvérsias. Contudo, existe um entendimento generalizado de que um comportamento *autônomo* é o cerne de noção que se tem por agente (JENNINGS; LESPÉRANCE, 2000). Apesar disso, a construção de um modelo computacional não pode ser feito sem uma definição. Assim sendo, nesse texto um agente é um sistema computacional que está situado em um dado ambiente e que apresenta comportamento autônomo (JENNINGS; LESPÉRANCE, 2000) (JENNINGS; LESPÉRANCE, 2000). Não apenas isso, mas um agente faz uso do seu comportamento autônomo com o propósito de atingir objetivos que a ele é designado (JENNINGS; LESPÉRANCE, 2000).

Como a definição de agente faz uso do conceito de ambiente, não é possível ter uma compreensão plena daquele sem considerar aspectos deste. Assim sendo, o termo ambiente é aquilo que apresenta as propriedades definidas na lista a seguir (RUSSELL; NORVIG, 2003) (JENNINGS; LESPÉRANCE, 2000);

- *Acessibilidade vs Inacessibilidade*; Um ambiente acessível é aquele onde um agente consegue ter informações claras, precisas e atualizadas no que tange a característica do ambiente.
- *Determinístico vs Não-Determinístico*; Um comportamento determinístico é aquele onde uma ação possui um efeito claro e garantido, sem incertezas sobre o estado que irá resultar.

- *Episódico vs Não-Episódico*; Um ambiente tende a ser o mais episódico possível tanto quando o desempenho do agente estiver associado a um episódio discreto e específico no ambiente.
- *Estático vs Dinâmico*; Um ambiente é estático se não houver outros processos em paralelo aos eventos associados ao agente.
- *Discreto vs Contínuo*; Um ambiente é discreto se existe um número finito de ações e percepções.

Outro aspecto que está presente na definição de agente é o termo autônomo. Assim sendo, a pesquisa retratada neste texto estrutura a ideia de agente da seguinte forma; Uma entidade que possui essa natureza é uma entidade que tem a capacidade agir por si mesma. Essa entidade não precisa de nenhum outro fator externo (ex. ser humano) para efetuar uma decisão (JENNINGS; LESPÉRANCE, 2000).

Há uma série de exemplos que se enquadram dentro dessa definição. Sistemas de controle é um desses exemplos. Um *termostato* é um sistema de controle que está em um dado ambiente (como um quarto ou uma sala) (JENNINGS; LESPÉRANCE, 2000), gera dois sinais de saída (um desses sinais indica que a temperatura está baixa demais (ou alta demais dependendo da aplicação e o outro sinal demonstra que a temperatura está no nível aceitável). O termostato tem o seu comportamento autônomo baseado em duas regras (JENNINGS; LESPÉRANCE, 2000):

- Se a temperatura estiver abaixo (ou acima) do nível de temperatura definido, então ligar o atuador.
- Se a temperatura estiver dentro do nível estabelecido, então desligar o atuador.

Outro exemplo de agentes consiste nos programas *Daemons* em sistemas *UNIX*. Esses algoritmos trabalham em segundo plano e monitoram um dado ambiente de *software*. Com base em certas regras, na ocorrência de um dado evento no ambiente, esses programas realizam uma dada atuação (JENNINGS; LESPÉRANCE, 2000).

Os exemplos presentes neste texto são apropriados dentro do conceito de agentes. Contudo, esse exemplo não está de acordo com a definição de agentes inteligentes (JENNINGS; LESPÉRANCE, 2000). Uma entidade que se enquadra dentro das características de um agente inteligente deve necessariamente respeitar a definição já apresentada e deve apresentar as seguintes propriedades; reatividade (capaz de perceber as mudanças que ocorrem no ambiente

e responder a elas de maneira apropriada no que condiz aos objetivos do agente), proatividade (apresenta comportamento orientado a objetivos sendo que o agente toma as decisões a fim de satisfazer os objetivos em interesse) e habilidades sociais (capacidade de interagir com outros agentes a fim de poder satisfazer os próprios objetivos) (JENNINGS; LESPÉRANCE, 2000) (RUSSELL; NORVIG, 2003).

Os agentes podem ser definidos em categorias. Uma dessas são agentes puramente reativos. Esses agentes tomam decisões considerando apenas informações que estão no instante presente. Por consequência, o comportamento deles ocorre por respostas diretas ao ambiente (JENNINGS; LESPÉRANCE, 2000).

Outra categoria de agentes são aqueles que possuem estados. Essas entidades possuem uma dada estrutura de dados interna que são considerados quando agente toma uma certa decisão (JENNINGS; LESPÉRANCE, 2000).

Uma outra maneira de analisar os agentes se dá por meio das arquiteturas e modelos disponíveis para representar os agentes (tomada de decisão, estado interno). Para o propósito do estudo que está sendo apresentando neste texto, é o suficiente considerar de forma sucinta quatro dessas arquiteturas. A primeira consiste nos agentes baseados em lógica que realizam deduções em prol de uma decisão (GENESERETH; NILSSON, 1987), a segunda arquitetura consiste nos agentes reativos que tomam decisões com base em um dado mapeamento de uma certa situação em uma ação (BONASSO et al., 1995), a terceira arquitetura é *BDI* cujo comportamento ocorre da manipulação de estruturas de dados que representam crenças, desejos e intenções do agente (RAO; GEORGEFF, 1991) e a quarta arquitetura consiste em uma estrutura em camadas onde a tomada de decisão acontece por intermédio de diversas camadas de abstração a cerca do ambiente (WOOLDRIDGE; JENNINGS, 1995) (JENNINGS; LESPÉRANCE, 2000).

Existe um modelo de agentes que faz uso da arquitetura *BDI* com propósito de representar situações de risco. Esse modelo é denominado por *MASVERP* que define o agente como tendo habilidades e objetivos a serem atingidos. Não só isso, mas o agente também pertence a certo círculo social. Os pesquisadores deste estudo implementaram o modelo *COCOM* que define parâmetros físicos e cognitivos a fim de que os agentes articulem suas ações no que tange a execução de objetivos (EDWARD et al., 2008). Esse modelo considera situações que delimitam quando um agente não está habilitado a atingir uma dada atividade, que são; fome, sede, cansaço físico, carga cognitiva, cansaço em relação a vigilância, estresse, motivação para determinar uma dada agitação, motivação e condições regulares (EDWARD et al., 2008). O *MASVERP* incorpora o conceito de *BTCU* (será tratado na seção 2.5). Em termos genéricos, *BTCU* consiste em condições limites que são aceitas para que um dado agente possa

realizar a atividade. No *MASVERP* a decisão do agente no que tange a executar ou não uma dada atividade é parametrizada com base no *BTCU*. Outro ponto consiste verificar se o agente possui a ferramenta. Se o agente não a tem e se ele estiver no modo de estratégia ou no modo tático e se ele não estiver com pressa, então o agente deverá perguntar para os demais sobre a ferramenta. Se os outros agentes também não possuem ou não sabem onde a ferramenta está, essa situação gera um aumento no estresse dele. Se o agente estiver operando no modo oportunista, ele raciocinará por analogia tentando adaptar ou usar outra ferramenta no lugar (EDWARD et al., 2008).

2.2 ARTEFATOS

A definição de um artefato pode ser feita por analisar, antes, o comportamento de um agente. De maneira genérica, existe duas formas que podem ser usadas para caracterizar o comportamento de um agente, e essas são *goal-governed* e *goal-oriented* (CASTELFRANCHI et al., 2018) (RICCI et al., 2006).

Um agente que é caracterizado como *goal-governed* são aqueles que apresentam capacidades cognitivas, que podem representar os seus respectivos objetivos e, portanto, são capazes de estruturar seu interesse (CASTELFRANCHI et al., 2018) (RICCI et al., 2006). Em contraste com isso, *goal-oriented* consiste nos agentes que são programados com a finalidade de alcançar um determinado objetivo (CASTELFRANCHI et al., 2018) (RICCI et al., 2006). Em um sistema multiagente muitas vezes uma dada entidade não é adequadamente representada por nenhuma dessas duas categorias.

Assim sendo, artefatos são entidades que não se enquadram em *goal-governed*, não se enquadram em *goal-oriented*, são explicitamente projetados com o propósito de serem explorados pelos agentes para que possam alcançar seus objetivos individuais e sociais (RICCI et al., 2006) (RICCI et al., 2007).

Para ilustrar usando como referência a sociedade humana; se agentes (entidades autônomas) estão para seres humanos então artefatos são as ferramentas (não autônomas) que são usadas para uma determinada finalidade (ex. um marceneiro (agente), usa um martelo (artefato) para pregar um prego (artefato)) (RICCI et al., 2006).

Uma outra distinção entre agentes e artefatos se torna claramente explícita quando verificada sobre o ponto de vista conceitual e filosófico. Isso, pois agentes apresentam a capacidade de se comunicar com outros agentes, em contraste com isso artefatos não apresentam essa condição (RICCI et al., 2006).

Existem quatro elementos que podem ser usados para caracterizar um artefato (RICCI et al., 2006), que são; *interface de uso*, *instruções de operação*, *funcionalidade* e *estrutura-comportamento*.

A *interface de uso* consiste no conjunto de operações que podem ser invocadas pelo agente a fim explorar as suas funcionalidades (RICCI et al., 2006). A *instruções de operação* consiste na descrição de como fazer o uso das funcionalidades do artefato. Isso implica protocolos de uso das operações que devem ser invocadas pelo agente (RICCI et al., 2006). A *Funcionalidade* do artefato consiste no propósito definido pelo programador do sistema (RICCI et al., 2006). A *estrutura-comportamento* consiste nos aspectos internos do artefato, que é como o artefato é implementado a fim de providenciar as suas funcionalidades (RICCI et al., 2006).

Cartago (*Common "Artefacts for Agents" Open Framework*) é um framework usado para especificar as relações entre agentes e artefatos. Tendo em vista o fato de ser um dos principais *frameworks* na descrição das interações entre agentes e artefatos, não é possível falar no tema de artefatos em SMA sem ao menos comentar a estrutura conceitual presente no Cartago. Esse modelo é composto de três blocos, que são; *agent bodies*, *artifact* e *workspace* (RICCI et al., 2007).

Agent bodies é o que possibilita a inteligência do agente se relacionar com o ambiente. Para cada agente criado, há um *agent bodies* construído. Um *agent bodies* possui *effectors* (efetores) que tem o propósito de executar ações sobre o ambiente de trabalho e possui sensores (captam sinais do ambiente em sua volta). A relação completa entre agente-*agent bodies*-artefato, no Cartago, é dada da seguinte forma; eventos observáveis são gerados pelos artefatos, sensores (componentes presentes no *agent bodies*) são sensibilizados, essa informação é transmitida para a inteligência do agente (esta, por sua vez, realiza os raciocínios e toma as decisões necessárias), o agente comunica ao *agent bodies* a ação que deve ser feita ao meio e, por último, através do *effectors* uma dada ação é produzida no ambiente de trabalho.

Artifacts (artefatos) são os tijolos básicos na gerência do Cartago. Cada artefato apresenta um nome lógico e número de identificação (id) único que são definidos pelo *artifact creator* no momento da instanciação. O nome lógico consiste num caminho ágil para o agente poder referenciar e compartilhar o respectivo artefato com os demais agentes. O id é requisitado na identificação dos artefatos quando uma dada ação é executada. Os artefatos também apresentam nome completo que inclui o nome do(s) *workspace(s)* onde está logicamente localizados (RICCI et al., 2007).

A localização lógica dos artefatos ocorre dentro de *workspace*, que pode ser usado para definir a topologia do ambiente de trabalho. Neste âmbito, o *workspace* é feito com a finalidade

de especificar nome lógico e id. Está dentro do escopo deste item definir uma topologia de ambiente possibilitando que uma estrutura de interação entre agentes e artefatos. Assim sendo o agente só pode usar um artefato que está no mesmo *workspace* onde ele está contido.

2.3 SISTEMA MULTIAGENTE

Um sistema multiagente (SMA) organizado é aquele constituído por agentes autônomos que interagem visando um propósito em comum tendo como consequência um comportamento global (HÜBNER et al., 2002) (ABBAS et al., 2015). Assim sendo, uma organização com essas características deve ser capaz de manifestar conhecimento em comum, cultura, memória, história, distribuição de atividades e a capacidade de distinguir um agente em específico (ABBAS et al., 2015). Deste fato é possível identificar o fenômeno "supra-individual" que implica em um comportamento que existe além dos comportamentos e atributos particulares no que diz respeito as entidades constituintes do sistemas.

Uma organização de um sistema multiagente deve conter relações sociais no que tange a agentes, institutos e grupos sociais (ABBAS et al., 2015). Ainda sobre isso, uma organização SMA deve apresentar uma *extensão de um espaço abstrato*. Isso implica uma representação dos seguintes conceitos; estrutura espacial, estrutura temporal, símbolos, semântica e capacidade de dedução. Há organizações que não se enquadram em todas essas restrições, contudo são suficientes para tratar o problema dentro de uma perspectiva computacional (ABBAS et al., 2015).

O sub-tópico *Conceitos Gerais de uma Organização de Sistemas Multiagentes* tem como por finalidade detalhar melhor os elementos presentes da Teoria da Organização dentro do contexto de SMA em relação a esse estudo. Já o Sub-tópico *Formalização de Conceitos Específicos para SMA* tem como por objetivo realizar uma verificação analítica dos elementos presentes no modelo de SMA denominado por MOISE+. Os conceitos que serão analisados são; objetivos, planos e papéis (ABBAS et al., 2015).

2.3.1 CONCEITOS GERAIS DE UMA ORGANIZAÇÃO DE SISTEMAS MULTIAGENTES

A finalidade desta subseção consiste trabalhar com uma maior riqueza de detalhes todos os conceitos que constituem a ideia de uma organização de um sistema multiagente. Esses conceitos estão estruturados no texto que se segue.

Divisão em tipos de atividades: Uma organização não é uniformemente estruturada.

Isso, pois as atividades são distribuídas de forma desigual entre as diferentes entidades. Dentro do ponto de vista fenomenológico as atividades são sujeitas a classificação e ocorrem com diferentes frequências e em diferentes regiões dentro das definições espaciais da organização (ABBAS et al., 2015).

Integração: Dentro de uma organização ocorre a presença de interdependência entre diferentes espaços de atividades. Essas, por sua vez, estão relacionadas em uma estrutura única definida dentro de um contexto alinhado e integrado (ABBAS et al., 2015).

Composição Uma organização é composta por elementos menores. No caso dos multiagentes, os elementos atômicos que estruturam a organização são os agentes (ABBAS et al., 2015).

Estabilidade/Flexibilidade: Uma organização apresenta padrões de atividades. Esses padrões possuem características que podem ser enquadradas em dois aspectos; estáveis e flexíveis. No que tange as características estáveis, essas são constituídas por elementos/processos que definem o padrão em si mesmo. Em contraste com isso um comportamento flexível acontece quando o sistema é submetido a situações incomuns (ABBAS et al., 2015).

Coordenação: Todo sistema é dependente de algum dado recurso. Assim sendo, se faz necessário que esse recurso seja utilizado de forma inteligente a fim de que possa se manter ao longo do tempo. Para isso, se faz necessário que a organização se comporte como uma amplificadora de recursos a fim de que as estruturas operacionais tenham um comportamento cada vez mais organizado (ASHBY, 1962), (FOERSTER, 2003), (LENDARIS, 1964). Contudo as incertezas relacionadas aos efeitos combinados resultam em influências negativamente nas eficiências. Portanto, para manter a eficiência organizacional se faz necessário a existência de elementos otimizadores sobre os padrões de atividades (ABBAS et al., 2015).

Recursividade: Uma organização é constituída por sub-organizações. Isso ocorre em diferentes níveis de estrutura e se dá por intermédio de um padrão recursivo (ABBAS et al., 2015).

Representação Multi-Nível e Causalidade: Uma organização é estruturada por suborganizações em diferentes níveis estruturas. Isso, por sua vez, resultam em atividades ocorrendo em diferentes escalas espaciais, temporais e estruturais. Como consequência disto, as cadeias causais presentes em estruturas organizacionais são processos multi-níveis (ABBAS et al., 2015).

Potenciais e Diferenciais: Diversos são os sistemas físicos onde as forças entre

partículas são decorrentes de balanços de potenciais. Como esse comportamento está presente em diversos sistemas físicos, existe modelos abstratos de sistemas auto-organizáveis que levam em consideração a presença de forças potenciais e diferenciais em organizações (PRIGOGINE; NICOLIS, 1985). Esse conceito é trabalhado dentro de sistemas multiagentes. Um exemplo notório a respeito disto consiste no conceito de *Poder* o qual é entendido como a capacidade de influenciar uma dada organização (ABBAS et al., 2015)

Regras e Gramáticas: Organizações podem ser compreendidas como potenciais configurações de atividades e processos. Essas configurações podem ser descritas usando gramática (PENTLAND, 1995) (PENTLAND; RUETER, 1994). Tanto as gramáticas como as regras que compõem uma organização apresentam três interpretações, essas são; como estruturas (especificações procedurais do que deve ser feito), como coação as ações são definidas no que pode e não pode ser feito e como um compilado das experiências (ABBAS et al., 2015).

Incerteza: Não é possível conceber o conceito de uma organização sem ao menos entendê-la como uma estrutura que distribui informação em si mesma. Sobre essa ótica, a distribuição de informação inequivocamente implica geração de incerteza o que por sua vez se manifesta como um complicante no que tange a comunicação entre as partes bem como a atividade organizacional em si mesma.

2.3.2 FORMALIZAÇÃO DE CONCEITOS ESPECÍFICOS PARA SMA

A apresentação desses conceitos será feita por intermédio de estudos relacionados ao *MOISE+*. Apesar de ser um *framework*, o *MOISE+* trata a rigor acadêmico na ótica da computação clássica a tratativa dada para os conceitos em interesse a esse estudo. Assim sendo, uma análise aprofundada do modelo, bem como dos textos em referência, satisfazem com excelência os fundamentos teóricos para as análises em interesse.

A constituição do *MOISE+* é estruturada em três categorias de especificação, essas são; estrutural, funcional e deôntica. O texto a seguir exhibe com maior riqueza de detalhes cada uma dessas especificações.

A especificação estrutural acontece em três níveis, individual, social e coletivo. O nível individual trata de definir os papéis ρ dos agentes. Uma relação que se dá entre dois papéis é a hereditariedade em que se ρ' é filho de ρ . Isso implica afirmar que ρ' é uma especialização de ρ . Um exemplo apropriado para isso é o jogo de futebol onde existe o papel jogador dado por ρ e existe o papel atacante dado por ρ' (HÜBNER et al., 2002) (FERBER; GUTKNECHT, 1998)

(FOX et al., 1996) (CARRON; BOISSIER, 2001). Em termos formais, essa relação é dada por;

$$\rho_a \sqsubset \rho_b$$

O nível social estabelece relações de ligação dado pelo predicado $link(\rho_s, \rho_d, t)$. Existe três possíveis valores para t , os quais são $t = \{aut, com, acq\}$. O valor *auth* significa autoridade (neste caso ρ_s exerce autoridade sobre ρ_d), o valor *com* significa comunicação (neste caso ρ_s pode se comunicar com ρ_d) e o valor *acq* significa conhecimento (ρ_s tem conhecimento da existência de ρ_d) (HÜBNER et al., 2002) (HÜBNER et al., 2002) (CARRON; BOISSIER, 2001). O MOISE+ define as seguintes relações de implicabilidade

$$\begin{aligned} link(\rho_s, \rho_d, auth) &\rightarrow link(\rho_s, \rho_d, com) \\ link(\rho_s, \rho_d, com) &\rightarrow link(\rho_s, \rho_d, acq) \end{aligned} \quad (1)$$

O modelo também determina como se dá as relações de hereditariedade para o predicado de *link*, é dado por (HÜBNER et al., 2002) (CARRON; BOISSIER, 2001);

$$\begin{aligned} link(\rho_s, \rho_d, t) \wedge \rho'_s \sqsubset \rho_s &\rightarrow link(\rho'_s, \rho_d, t) \\ link(\rho_s, \rho_d, t) \wedge \rho'_d \sqsubset \rho_d &\rightarrow link(\rho_s, \rho'_d, t) \end{aligned} \quad (2)$$

O nível coletivo determina a existência de compatibilidade entre os papéis (HÜBNER et al., 2002). Essa é uma relação reflexiva e o seu conceito se dá através da seguinte proposição; Se papel ρ_a possui a capacidade de realizar um determinado objetivo, então o papel ρ_b também tem essa capacidade. Em termos formais, essa relação se dá da seguinte forma (HÜBNER et al., 2002) (CASTELFRANCHI, 1995).;

$$\rho_a \bowtie \rho_b \wedge \rho_a \neq \rho_b \wedge \rho_a \sqsubset \rho' \rightarrow \rho' \bowtie \rho_b$$

O nível coletivo também apresenta o conceito de grupo dado por *gt* o qual é constituído por;

$$gt = \langle R, SG, L^{intra}, L^{inter}, C^{intra}, C^{inter}, np, ng \rangle$$

Em que R é o conjunto dos papéis não abstratos, SG são subgrupos que estão contidos neste grupo, L^{intra} consiste dos *links* intra-grupos, L^{inter} dos links inter-grupos, C^{intra} das relações de compatibilidade intra-grupos e C^{inter} das relações de compatibilidade inter-grupos. O símbolo np denota a cardinalidade mínima e máxima para uma dada função e o símbolo ng realiza o mesmo para os subgrupos (HÜBNER et al., 2002).

A Especificação Funcional tem como por finalidade descrever os objetivos a serem atingidos dentro de uma estrutura de árvore. A figura a seguir define como se dá esse tipo de especificação;

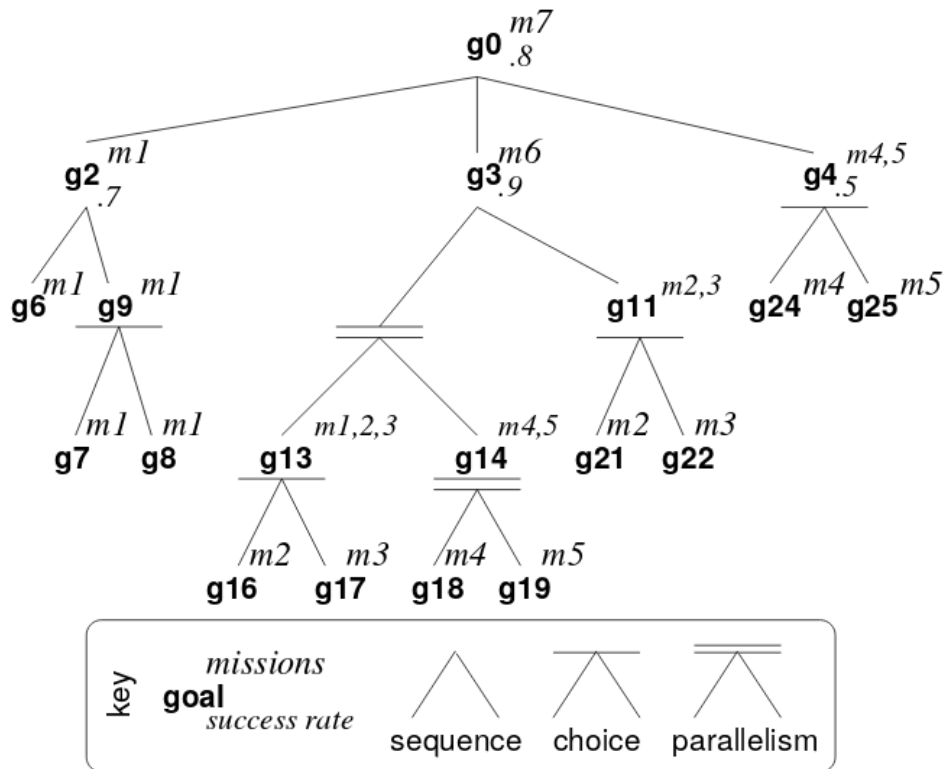


Figura 1: Árvore de objetivos definido pelo modelo Moise (HÜBNER et al., 2002)

A figura 1 define três tipos de relação de subobjetivos; *sequence* onde todos os subobjetivos devem necessariamente ser concluídos em seqüência, *choice* onde o agente tem a possibilidade de escolher qual objetivo ele deseja seguir e *parallelism* onde todos os objetivos devem ser concluídos, contudo sem uma seqüência definida (EXPLORING..., 1996) (SO; DURFEE, 1996). Esta parte do modelo é baseada em um *framework* de distribuição de

atividades denominado por *TAEMS* (GARVEY; LESSER, 1996). Como é possível observar na figura, os objetivos são agrupados em conjuntos de missões m (CARRON; BOISSIER, 2001). A relação a seguir define isso melhor;

$$m_k = \{g_n, \dots, g_m\}$$

A Especificação Deontica define predicados para estabelecer permissões e obrigações entre os papéis e as missões. Toda obrigação implica necessariamente em uma permissão. A relação a seguir estabelece isso (HÜBNER et al., 2002) (CASTELFRANCHI, 1995);

$$obl(\rho, m, tc) \rightarrow per(\rho, m, tc)$$

$$obl(\rho, m, tc) \wedge \rho \sqsubset \rho' \rightarrow obl(\rho', m, tc) \quad (3)$$

$$per(\rho, m, tc) \wedge \rho \sqsubset \rho' \rightarrow per(\rho', m, tc) \quad (4)$$

$$(5)$$

Onde o predicado *obl* define uma obrigação e o predicado *per* define permissão. O argumento *tc* define uma periodicidade de tempo para o qual a relação deontica é valida.

2.4 NORMAS

Quando se trata de normas em sistemas multiagentes é de crucial importância definir claramente este termo. Isso, pois há diversos estudos que tratam o conceito de norma sobre perspectivas diferentes. Por exemplo, os estudos (ESTEVA et al., 2002) (MOSES; TENNENHOLTZ, 1995) apresentam normas, em sistemas multiagentes, para representar a presença de sociedades, institutos e organizações. Há estudos que tratam normas como maneiras dos agentes trabalharem de forma coordenada com propósito de cumprir um objetivo global e também como uma maneira de obedecer as autoridades do sistema (LOPEZ; LUCK, 2003) (LÓPEZ; LUCK, 2004). No *MOISE+* normas são tratadas sobre a ótica da lógica deontica e é usada para especificar os agentes com dado papel as suas obrigações em relação as missões (HÜBNER et al., 2002) (HÜBNER et al., 2002).

O estudo (DASTANI et al., 2009) apresenta uma linguagem formal para especificar sistemas multiagentes normativos. Essa linguagem contem os conceitos de normas que são os mesmos usados neste texto. A figura 2 apresenta a linguagem em notação EBNF (DASTANI et

al., 2009).

```

N-MAS_Prog  := "Agents: " (<agentName> <agentProg> [<nr>])+ ;
              "Facts: " <bruteFacts>
              "Effects: " <effects>
              "Counts-as rules: " <counts-as>
              "Sanction rules: " <sanctions>;

<agentName>  := <ident>;
<agentProg>  := <ident>;
<nr>         := <int>;
<bruteFacts> := <b-literals>;
<effects>    := ({<b-literals>} <actionName> {<b-literals>})+;
<counts-as>  := ( <literals> ⇒ <i-literals> )+;
<sanctions>  := ( <i-literals> ⇒ <b-literals> )+;
<actionName>:= <ident>;
<b-literals> := <b-literal> {"," <b-literal>};
<i-literals> := <i-literal> {"," <i-literal>};
<literals>   := <literal> {"," <literal>};
<literal>    := <b-literal> | <i-literal>;
<b-literal>  := <b-prop> | "not" <b-prop>;
<i-literal>  := <i-prop> | "not" <i-prop>;

```

Figura 2: Linguagem para descrever um programa de multiagentes normativos com a possibilidade de violações e sanções na notação EBNF segundo o texto (DASTANI et al., 2009). Nesta notação, *< ident >* é usado para denotar uma *string* e *< int >* inteiros. Os termos *< b – prop >* e *< i – prop >* são usados para designar dois tipos de conjuntos de proposições que são disjuntos entre si

Os *Facts* implementados em forma de *brute facts* definem os estados iniciais do sistema dentro de um ambiente compartilhado por todos os agentes. O termo *Effects*, implementado por meio de *effects* define como se dá a transição de estados do sistema. A tag *< actionName >* representa os eventos que geram transição dos estados. Uma norma, portanto, é definida em termos de *Counts-as rules*. O termo *< counts – as >* aponta para transição entre *< literals >* e *< i – literals >*. Isso representa os fatos que resultam em violações. Portanto, em (DASTANI et al., 2009) as normas são descritas por intermédio de suas violações. Violação, dentro deste contexto, é dado como o descumprimento da norma (WRIGHT, 1969).

O termo *Sanction Rules* aponta para *< sanctions >* e esses, por sua vez, para a transição entre *< i – literals >* e *< b – literals >* sendo que esses *< i – literals >* advêm de *Counts-as Rules*. Assim sendo, *Sanction Rules* define as consequências da violação. Essas consequências denotam caráter negativo ao agente tendo como foco uma natureza de ordem punitiva (DASTANI et al., 2009).

A figura 3 apresenta um programa escrito nessa linguagem.

```

Agents:      passenger  PassProg  1
Facts:       {-at_platform, -in_train, -ticket}
Effects:     {-at_platform} enter {at_platform},
             {-ticket} buy_ticket {ticket},
             {at_platform, -in_train} embark {-at_platform, in_train}
Counts_as rules: {at_platform, -ticket} ⇒ {viol1},
                 {in_train, -ticket} ⇒ {viol1}
Sanction rules: {viol1} ⇒ {fined10}

```

Figura 3: Um programa descrito na linguagem proposta neste estudo onde um agente representa um passageiro em uma estação de trem que pode entrar com ou sem um *ticket* na plataforma e no trem (DASTANI et al., 2009).

Esse programa contém um agente chamado de *passenger* (especificações desse agente são detalhadas com maior rigor em *PassProg*). Os *Facts* deste programa são *-at_plataform* (agente não está na plataforma), *-in_train* (agente não está no trem) e *-in_ticket* (agente não possui o *-in_ticket*). As regras de *Effects* apresentam dois *< actionName >*. O primeiro é denominado por *enter* que tem por finalidade alternar entre os estados *-at_plataform* e *at_plataform*, ou seja, é uma ação onde o agente muda o estado de não está na plataforma para está na plataforma. O segundo estado é o *buy_ticket* que gera a transição entre os fatos *-ticket* para *ticket*, ou seja - na ocorrência *buy_ticket* o agente passa a ter um *ticket* (DASTANI et al., 2009).

O programa especifica duas regras em *Counts_as rules*. A primeira regra denota a ocorrência de uma violação para um agente que entra numa plataforma sem um *ticket*. A segunda regra define que uma violação que acontece para o caso de um agente entrar em um trem sem um *ticket* (DASTANI et al., 2009).

O programa também define uma regra para *Sanction rules*. Essa regra se aplica a *viol₁*, que - se verdade - então resulta no fato *fined₁₀*, cuja semântica denota um pagamento no valor de 10 unidades de moeda (DASTANI et al., 2009).

2.5 RISCOS

O primeiro estudo teórico sobre acidentes de trabalho se dá no texto (RASMUSSEN, 1997). Essa pesquisa conclui que os erros em indústria não podem ser definidos apenas nas falhas de humanos, mas sim como consequência de um comportamento global da instituição. Ainda dentro deste âmbito, esse comportamento advém de uma forte pressão tendo em vista eficiência e otimização dos processos de produção (RASMUSSEN, 1997) (FADIER et al., 2003).

Com base neste entendimento, o estudo (FADIER et al., 2003) apresenta um

framework a fim de identificar as redes de causalidade que resultam em acidentes de trabalho. Assim sendo, a gestão de segurança se dá com base nos seguintes fatores;

- Políticas; *leis, diretrizes, padrões e regras*
- Corporativo; *regras, estratégias, políticas internas, gerenciamento*
- Projeto de Equipamentos de Trabalho; *especificação, integração de segurança*

O item Política é mais relevante que os itens Corporativo e Projeto de Equipamentos de Trabalho. Esses dois últimos apresentam a mesma importância para uma estrutura de prevenção de acidentes bem sucedida.

A primeira análise a ser feita diz respeito ao nível Corporativo-Projeto de Equipamentos de Trabalho. Muitas vezes a equipe adota atividades paliativas a fim de otimizar os processos de produção. Isso envolve assumir níveis de tolerância no que diz respeito ao desempenho e a segurança. Essa situação está dentro do conceito, para o *framework*, de *atividades limites*, isso pois tratam de situações que trabalham no limiar com os riscos. Assim sendo, as decisões feitas pelo profissional podem resultar muito facilmente em acidentes ou incidentes (FADIER et al., 2003). Dentro desta perspectiva que se apresenta o ator *BATU* - *Boundary Activities Tolerated during Use* (Atividades Limites Toleradas Durante o Uso).

Existe dois tipos de *BATU* que devem ser verificados tendo como base os processos de trabalho. Esses são; operacional e gerencial (administrativo - termo identificado no texto original; *managerial*). Aquele faz referência as atividades relacionadas a melhoria da produtividade com o propósito de resultar em aumento das metas produção, qualidade e segurança. Este diz respeito a decisões administrativas independentes dos processos operacionais mas que os impactam.

Outro conceito presente em (FADIER et al., 2003) é o de *Boundary Conditions Tolerated by Use* - *BCTU* (Condições Limites Toleradas Durante o Uso). O termo condição faz referência a uma situação, um estado, circunstâncias externas às quais pessoas ou até mesmo entidades são afetados no que diz respeito a uma certa decisão. Assim sendo, *BCTU* consiste em uma série de elementos e circunstâncias (ambiental, material, humana, produtos) que por conta de sua natureza ou de como se relaciona com as demais entidades e processos apresenta um certo potencial na geração de situações particulares, tendo em vista causas decorrentes de operações dinâmicas. Tanto os *BATUs* bem como os *BCTUs* não podem ser analisados diretamente, mas devem ser analisados por intermédio das ações e escolhas dos operadores e dos atores que constituem esse trabalho (FADIER et al., 2003).

Existe dois tipos de *BCTU*. O primeiro consiste no *BCTU* interno que se apresenta como uma concepção global de trabalhos e situações no que tange as relações de política da empresa. Nesta concepção, *BCTU* interno faz referência as diferenças hierarquias em termos de nível e decisões centrais. Em contraste com esse ponto, o *BCTU* externo aponta para o projeto da instalação. Como resultado, há o surgimento de quatro derivações, que são; soluções de segurança - funções de segurança (diz respeito as questões que podem fazer com que um dispositivo de segurança venha a falhar), soluções técnicas - requisições de trabalho (quando as soluções técnicas são incompatíveis com as requisições de trabalho), modelo de projeto - modelo de instalação (se da quando a solução final não é ótima ou está degradada quando comparada com a solução inicial) e condições nominais preventivos - condições reais de operação (FADIER et al., 2003).

As relações entre *BATUs* e *BCTUs* são dinâmicas e são dependentes do processo. Para exemplificar, pode-se considerar o seguinte cenário; O projeto de uma máquina de dobra de papel obriga o operador a adotar uma dada posição que o faz assumir riscos para acessar determinados pontos da máquina. Assim sendo, as escolhas do projeto da máquina (relacionada ao *BCTU*) não levam em consideração todos os aspectos relacionados a dinâmica profissional-máquina fazendo o que o profissional envolvido tenha que atuar dentro de um certo intervalo de tolerância no que diz respeito a segurança profissional *BATU*.

2.6 LÓGICA MODAL

A lógica modal consiste em uma linguagem para tratar proposições que necessariamente ocorrem e proposições que possivelmente ocorrem. As proposições dadas como necessárias são aquelas que necessariamente são verdade. Por exemplo, A água sobre 1 atm e entre 0,1 °C - 99 °C se apresenta no estado líquido. O conceito de possibilidade é totalmente dependente do conceito de necessidade. Isso pois uma proposição possível é aquela que necessariamente não é falsa (GARSON, 2018).

A lógica modal é do tipo **K** e isso significa que nela está condita símbolos \sim para não, \rightarrow para "se ... então" e \Box para "Isto é necessário".

De **K** e \Box , tem-se as seguintes regras;

Sendo que $isTheorem(A, \mathbf{K})$ representa "Se A é teorema de **K**".

$$isTheorem(A, \mathbf{K}) \rightarrow \Box A \quad (6)$$

$$\Box(A \rightarrow B) \rightarrow (\Box A \rightarrow \Box B) \quad (7)$$

O operador \Diamond apresenta o seguinte correspondente semântico; "Isto é possível". A relação entre \Box e \Diamond é dada pela regra que se segue.

$$\Diamond A = \sim \Box \sim A \quad (8)$$

As relações a seguir apresentam outras regras válidas para essa lógica;

$$\Box(A \wedge B) \rightarrow \Box A \wedge \Box B \quad (9)$$

$$\Box A \vee \Box B \rightarrow \Box(A \vee B) \quad (10)$$

$$\Box A \rightarrow A \quad (11)$$

$$\Box A \rightarrow \Box \Box A \quad (12)$$

$$\Diamond A \rightarrow \Box \Diamond A \quad (13)$$

$$\Box \Box \dots \Box = \Box \quad (14)$$

$$\Diamond\Diamond\dots\Diamond = \Diamond \tag{15}$$

$$A \rightarrow \Box\Diamond A \tag{16}$$

3 METODOLOGIA

3.1 ANÁLISE DOS MODELOS

3.2 ACOMPANHAMENTO DE PROFISSIONAIS EM ATIVIDADE DE RISCO

3.3 CONSTRUÇÃO DO MODELO

3.4 IMPLEMENTAÇÃO

4 RESULTADOS

Essa capítulo tem como por propósito apresentar o modelo, sua utilização para um dado estudo de caso e sua implementação em Prolog (linguagem de programação com viés na Lógica Matemática). O modelo foi construindo usando Teoria de Conjuntos e Lógica de Predicado.

Os conjuntos são usados para representar um dado conceito. Os elementos de um conjunto representam os objetos atrelados ao conceito. Por exemplo, supondo que uma loja de Carros venda os seguintes veículos; *Jetta*, *Gol*, *Uno*. Nesta situação, o conceito de carro é representado pelo conjunto C e os modelos são elementos do mesmo. Portanto, numa linguagem matemática formal tem-se a seguinte situação $C = \{Jetta, Gol, Uno\}$.

Dentro do conceito matemático, uma relação é uma correspondência entre elementos de conjuntos não vazio, sendo dada por $R \subseteq A \times B = \{(a, b) | a \in A \wedge b \in B\}$. A Lógica de Predicados foi usada para representar essas relações. Para representação das regras foi feito uso das relações de inferência \rightarrow "Se ..., então ...".

O *UML* também é uma ferramenta que foi usada para criar representações do modelo. O propósito disto consiste nos seguintes aspectos; apresentar perspectiva global do modelo, definir melhor os critérios existenciais (agregação, composição), tornar o processo de apresentação mais didático e aproxima-lo de mecanismos de implementação (ex. linguagens de programação).

A figura 4 apresenta a estrutura de módulos (a fim de evitar poluição visual, as relações serão apresentadas em outra figura).

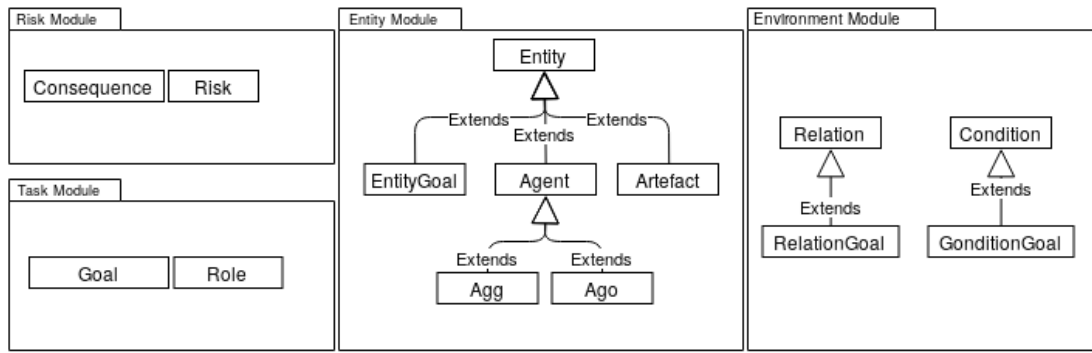


Figura 4: A estrutura geral das classes do modelo

Assim sendo, assumindo que existe Ω_{Model} (um conjunto global onde todos os outros conjuntos do modelo estão contidos nele), os módulos são representados da seguinte maneira;

$$\Omega_{Model} = \{M_{Risk}, M_{Task}, M_{Entity}, M_{Environment}\} \quad (17)$$

4.1 ESTRUTURA CONCEITUAL

Essa parte do texto é estruturado em; Módulo (exibe informações sobre os módulos e os conceitos neles contidos), Predicados (apresenta os predicados e justifica a sua existência) e as regras (exibe as regras e explica porque sua existência dentro do modelo é necessária).

4.1.1 MÓDULOS

A organização estrutural dos conceitos em módulos se justificativa por intermédio da grande quantidade de conceitos presentes dentro deste modelo. Um desses é o módulo da entidade *Entity Module* representado por M_{Entity} .

O mundo sobre o qual este modelo pretende representar trabalha com o fato de que tanto agentes como artefatos possuem algumas propriedades em comum, que é; existem, ocupam lugar no espaço, estão sujeitos ao tempo, apresentam estados e participam de processos. Essa premissa possui os seus fundamentos alicerçados em 2.1 e 2.2 e isso será demonstrado com maior rigor no texto que se segue. Tendo em vista a ocorrência de certos conceitos necessários para lidar com essas questões, se fez necessário definir um módulo de entidades para agrupá-los em uma estrutura única. Esse módulo é composto pelos seguintes conceitos;

$$M_{Entity} = \{Entity, Agent, Artefact, EntityGoal, Agg, Ago\} \quad (18)$$

Entity - O termo entidade é sujeito a profundos debates filosóficos, porém neste texto o termo é usado para referenciar uma "coisa" que pode ser identificada, como uma pessoa, companhia ou um evento (CHEN, 1976). É dado que as propriedades anteriormente mencionadas caracterizam as "coisas" que podem ser identificadas, logo entidades. É digno de nota a existência de entidades que não se adequam a todas essas propriedades. Contudo, essas propriedades fazem referência ao que se caracteriza por entidade respeitando o conceito padrão (CHEN, 1976) e restringindo para o escopo deste modelo. Isso contempla tanto os agentes assim como artefatos, como fica claro na relação 19. O texto a seguir demonstra como essas propriedades se aplicam a agentes e a artefatos (se isso ficar demonstrado, logo fica demonstrado que são entidades).

Existe - Dado como quantificador, se há um ou mais, então existe. Assim sendo, tanto agentes como artefatos existem porque, dentro da representação, ambos fazem referência a coisa que correspondem a um ou mais.

Ocupa lugar no espaço, estão sujeitos ao tempo - Como definido em 2.1 e 2.2, ambos são situados em ambientes. Isso possibilita inferir que se faz necessário a presença de um conceito que se apresente como uma propriedade de estado para agentes e artefatos. Um ambiente, no contexto onde os agentes e artefatos são usados para representar atividades das pessoas, condiz com a relação de espaço e tempo.

Participa de Processos - Processos podem constituir entidades bem como entidades necessariamente constituem processos por intermédio a ação que aquelas manifestam nesses. No que se verifica ao primeiro caso, é possível usar o ser humano como exemplo - onde a entidade humano é formulada por uma série de processos bio-químicos. Sobre o segundo caso, relações climáticas exemplificam isso, onde a água é uma entidade presente em processos termodinâmicos.

Apresenta estados - O fato de que artefatos bem como agentes apresentam atributos (que podem mudar e podem assumir diferentes valores no que tange aos eventos externos e internos), então ambos também apresentam a concepção de estados (sendo esse termo usado diretamente em certos pontos dos textos presentes tanto em 2.1 2.2).

$$(Agent \cup Artefact) \subset Entity \quad (19)$$

Agent - Esse estudo adota a definição de agentes presentes no primeiro parágrafo da seção 2.1. Isso implica entidades autônomas, ou seja -que apresenta a capacidade de agir por si mesma quando diante de condições onde isso é necessário. A seção 2.1, apresenta o conceito de agentes inteligentes e esse mesmo conceito é adotado neste modelo.

Não é preocupação deste estudo delimitar as representações do agente bem como definir algoritmos para verificar como se dá as relações de tomada de decisão. Assim sendo, fica em aberto para o modelador definir como se dá os processos de tomada de decisão, estados internos e modelos de representação que serão usados para definir o comportamento do agente.

Artefact - são entidade que existem para que os agentes possam cumprir com os seus objetivos e que apresentam interface de uso, instruções de operação, funcionalidade e estrutura-comportamento. Essas entidades não são orientados a objetivos e não apresentam capacidade de comunicação como definido na seção 2.2. Predicados que contemplam esses aspectos do artefato serão apresentados mais adiante ao decorrer do texto.

Os agentes são autônomos e orientados a objetivos sendo esses dois elementos descaracterizantes do que se defini como por artefato. Logo, apesar de agentes e artefatos serem entidades, não é possível existir um agente que seja artefato ou um artefato que seja agente, o que é dado por 20.

$$Agent \cap Artefact = \emptyset \quad (20)$$

EntityGoal - Condiz a subconjuntos de **Entity** que, por intermédio de um predicado que será apresentado posteriormente, se relacionam com elementos do conjunto **Goal** (representam os objetivos). Assim sendo, consiste nas entidades necessárias que devem estar presentes no ato da execução de um certo objetivo para que este possa ser alcançado. Para exemplificar é possível conceber o seguinte cenário;

Exemplo da Redação: "O Professor Aristóteles definiu uma atividade; Escrever uma redação sobre o livro Metafísica. Para isso, o aluno Alexandre o Grande deve escrever um dado texto, deve ler o livro sobre o tópico em definido, deve pegar uma folha, deve pegar um lápis e escrever a redação".

Neste modelo, esse cenário pode ser especificado da seguinte forma; $E = \{aristoteles, alexadre, folha, lapis, livro\}$, em termos de objetivo (esse conceito será descrito com maior detalhe no texto em diante) há três $G = \{g_0, g_1, g_2\}$ onde g_0 corresponde ao ato do professor definir a atividade, g_1 corresponde ao ato de ler o livro e g_2 ao ato de escrever a redação. Então, é possível definir três subconjuntos de E , esses são os conjuntos

EntityGoal, $E_g = \{eg_0, eg_1, eg_2\}$, onde $eg_0 = \{aristoteles\}$, $eg_1 = \{alexandre, livro\}$ e $eg_2 = \{aluno, folha, lapis\}$. Em termos de relação, que será melhor trabalhado em partes futuras deste texto, considera-se que eg_0 se relaciona com g_0 , eg_1 se relaciona com g_1 e eg_2 com g_2 .

Agg, Ago - ambos correspondem ao conjunto de agentes que atingiram um determinado objetivo. Contudo, **Agg** faz referência aos agentes que atingiram o objetivo sem serem obrigados a isso, e **Ago** condiz aos agentes que atingiram o objetivo sendo obrigados a isso. Em um primeiro momento essa diferença para ser desnecessária, mas é relevante para criação de regras que serão apresentadas futuramente. A necessidade deste conjunto pode por ser demonstrada com o **Exemplo da Redação**, pois Alexandre e Aristóteles são obrigados a alcançar os objetivos. Então, é definido por $Ago = \{ago_0, ago_1, ago_2\}$ onde $ago_0 = \{\emptyset\}$, $ago_1 = \{\emptyset\}$ e $ago_2 = \{\emptyset\}$. Ao atingir g_0 o $ago_o = \{aristoteles\}$ pois o professor cumpriu com o objetivo de passar a atividade. O mesmo ocorre para ag_1 , g_1 e para ag_2 , g_2 .

O Módulo de Atividades - *Task Module* representado por M_{Task} condiz com os conceitos relacionados aos objetivos que devem ser atingidos bem como aos papéis que são assumidos pelos agentes.

$$M_{Task} = \{Goal, GoalPreRequisite, Role\} \quad (21)$$

Goal - faz referência aos objetivos que devem ser atingidos pelos agentes. Os fundamentos semânticos deste conjunto está presente na seção 2.3 mais especificamente na subseção 2.3.2. Neste modelo, um objetivo é descrito em termos de eg e rg (conjuntos de relacionamentos, será explicado com maior detalhes no texto adiante), que são as entidades e os relacionamentos (será explicado) que devem ser feitos para que o objetivo possa ser dado como concluído. Com o propósito de explorar com maior granularidade as relações entre o agente e o objetivo, neste modelo o conceito de missão foi removido. Como será apresentado posteriormente, as relações deônticas entre os papéis se dão com o objetivo e não com a missão. O estudo presente no *MOISE+* faz uso de grafos para representar objetivos-subobjetivos. Esse modelo não importou a estrutura em grafos para descrever o comportamento de objetivos.

Role - apresenta o papel que um agente pode adotar dentro de um *SMA*. Esse conceito também é importado no *MOISE+* 2.3.2 e define as relações deonticas entre os agentes e os objetivos. Para exemplificar, pode-se considerar o **Exemplo da Redação** onde existe dois agentes $Agent = \{aristoteles, alexandre\}$, existe dois papéis $Role = \{professor, aluno\}$. Neste caso, o agente *aristoteles* é o *professor* e o agente *alexandre* é o *aluno*.

O Módulo de Ambiente - *Environment Module* - consiste em conjuntos que

representam relações e condições ambientes, esses são;

$$M_{Environment} = \{Relation, RelationGoal, Condition, ConditionGoal\} \quad (22)$$

Relation - Uma entidade estabelece relações com outras entidades ao seu redor (CHEN, 1976). No modelo proposto neste texto, os pesquisadores optaram por definir um conjunto que representa essas relações. Os pesquisadores optaram por um conjunto para representar os relacionamentos entre as entidades porque isso possibilita identifica-los. Isso facilita o desenvolvimento de raciocínios. O uso dos relacionamentos podem ser exemplificado por meio do **Exemplo da Redação**. Ao definir uma atividade, o professor Aristóteles, que é uma entidade, estabeleceu uma relação com o seu aluno Alexandre, representado aqui por *relAristotelesAlexandre*. Para cumprir com essa tarefa o aluno teve de ler o livro - *relAlexandreLivro*, teve de pegar uma folha - *relAlexandreFolha*, teve de pegar um lápis *relAlexandreLapis* e teve de escrever a redação o que implica em uma relação entre lápis e folha *relLapisFolha*. Portanto, o conjunto de relacionamentos se dá da seguinte maneira;

$$M_{Environment} = \{relAristotelesAlexandre, relAlexandreFolha, relAlexandreLivro, relAlexandreLapis, relLapisFolha\}$$

Obviamente, cada entidade do grupo *Relation* tem um vínculo com elementos do grupo *Entity*, como por exemplo *relAlexandreFolha* apresenta um dado vínculo com as entidades *Alexandre* e *Folha*. Há um predicado que trata disto e será exibido posteriormente. Assim como o conjunto *EntityGoal*, existe relacionamentos que devem estar presentes para que dados objetivos possam ser atingidos, revelando - portanto - a necessidade de um conjunto para representar esse tipo de situação, que neste caso é *RelationGoal*. O exemplo em análise é descrito por três objetivos. O objetivo g_0 corresponde ao ato do professor definir a atividade. Esse objetivo não pode ser cumprido sem relacionamento *relAristotelesAlexandre*. Portanto, existe rg_0 associado a g_0 onde $rg_0 = \{relAristotelesAlexandre\}$ e que $rg_0 \subset RelationGoal$. O conjunto g_1 está relacionado com rg_1 e esse, por sua vez, é composto por $\{relAlexandreFolha\}$. O conjunto g_2 está relacionado com rg_2 e os elementos correspondem a $\{relAlexandreLapis, relLapisFolha, relAlexandreFolha\}$.

Condition - Esse conjunto representa as condições que devem ser mantidas para que um dado objetivo possa ser alcançado. Em analogia a *EntityGoal* e a *RelationGoal*, há um

conjunto denominado de *ConditionGoal* que define essas condições para os objetivos. Para exemplificar o uso deste conjunto é possível considerar o **Exemplo da Redação**. Com certeza nenhum dos três objetivos se tornam viáveis se não houver luz suficiente para que todos possam ver. O ambiente deve ser mantido em um certo silêncio, do contrário não há possibilidade do professor e do aluno exercer suas atividades intelectuais. Assim sendo é possível definir duas entidades; $Condition = \{luz, silencio\}$. Ambas as condições são válidas para todos os objetivos (para esse exemplo), portanto existe um $cg_1 = \{luz, silencio\} | ConditionGoal = \{cg_1\}$, sendo que cg_1 estabelece relações com g_0 , g_1 e g_2 .

Módulo de Risco - *Risk Module* contem conjuntos que correspondem a conceitos relacionados a temática da segurança. O módulo de risco é dado pela relação que se segue;

$$M_{Risk} = \{Risk, Consequence\} \quad (23)$$

Risk - Na seção 2.5 o termo risco é usado para referenciar a um evento que apresenta um potencial de ocorrer e que gera consequências negativas as pessoas associadas quando acontece. Para exemplificar pode-se considerar uma condição onde um eletricista está trocando um disjuntor de um quadro elétrico. Nesse processo, o eletricista está sujeito ao risco de ser eletrocutado. Essas consequências negativas também são representadas por um conjunto, e esse é **Consequence**. O uso deste conjunto pode ser apresentado utilizando esse mesmo exemplo do eletricista, pois a consequência de se submeter a um evento desses implica morte (nem sempre é assim, mas para efeitos didáticos pode-se considerar que o quadro elétrico é de certa potência que a morte é certa para o profissional que for eletrocutado).

4.1.2 PREDICADOS

O predicado $thereIsRelation(r_l, e_i, e_k) | r_l \in Relation \wedge e_i, e_k \in Entity$ é usado para tratar as questões de identificar o vínculo entre duas entidades com a sua relação. Esse predicado se lê da seguinte forma: O relacionamento r_l possui a entidade e_i e a entidade e_k . Para demonstrar como se dá o uso desse predicado pode-se considerar o **Exemplo da Redação**. A entidade *alexandre* apresenta uma relação com *folha* que é identificada como *relAlexandreFolha*. Portanto, com o predicado, a representação fica; $thereIsRelation(relAlexandreFolha, alexandre, folha)$

O predicado $hasRole(ag_n, \rho_m) | ag_n \in Agent \wedge \rho_m \in Role$ que tem sua origem nos estudos do *MOISE+* onde cada agente tem uma função dentro do contexto do *SMA*. Esse predicado se lê da seguinte forma: O agente ag_n tem um papel ρ_m . Usando o **Exemplo da**

Redação tem-se o seguinte: $hasRole(artistoteles, professor)$.

O predicado $hasObligation(\rho_m, g_j) | \rho_m \in Role, g_j \in Goal$ tem suas origens nos estudos da lógica deôntica também presentes no modelo *MOISE+*. Esse predicado pode ser lido da seguinte maneira: O agente que assumir o papel ρ_m tem a obrigação de concluir o objetivo g_j . No exemplo padrão deste texto (**Exemplo da Redação**), o primeiro objetivo é uma obrigação do professor, portanto: $hasObligation(professor, g_0)$

O predicado $hasPermission(\rho_m, g_j) | \rho_m \in Role, g_j \in Goal$ também está associado aos estudos da lógica deôntica relacionada ao *MOISE+*. A leitura se dá desta maneira: O agente que ρ_m tem a permissão de concluir o objetivo g_j . Usando o exemplo padrão como base, onde *professor* tem a obrigação para executar g_0 , então também tem permissão (isso será melhor explicado em uma regra que será apresentada mais tarde). Portanto; $hasPermission(professor, g_0)$.

O predicado $isReached(g_k) | g_k \in Goal$ define que todos os agentes, que eram obrigados a concluir o objetivo g_k , concluíram. A existência desse predicado se dá devido ao fato de que em certos raciocínios é necessário identificar que um dado objetivo foi atingido.

O predicado $stopIn(g_n, ag_m) | g_n \in Goal, ag_m \in Agent$ apresenta a seguinte leitura: Toda a atividade foi encerrada no objetivo g_n por uma ação associada ao agente ag_m . Para certos raciocínios se faz necessário identificar o encerramento das atividades como um todo e por quem isso aconteceu. Em certos casos não há a necessidade de identificar o agente ag_m . Para isso há uma outra versão deste mesmo predicado escrito da seguinte forma: $stopIn(g_n)$ e sua semântica indica que a atividade foi encerrada do objetivo g_n .

O predicado $nextGoal(g_i, g_j) | g_i, g_j \in Goal$ possui a seguinte semântica: O objetivo g_i tem um próximo o objetivo que é g_j . Sua necessidade advém do fato de que este modelo trabalha os mesmos conceitos presentes em *MOISE+* porém sobre uma abordagem diferente. Em vez de usar estrutura de super-sub objetivos e definindo operadores de série e paralelo, os objetivos não possuem estruturas e suas relações se dão por um objetivo apontado para o próximo. Então, para exemplificar pode-se considerar uma atividade descrita por quatro objetivos, sendo que g_0 é pré-requisito para g_1 e g_2 . Em contrapartida g_3 só começar a ser atingido depois da finalização de g_1 e g_2 . Assim sendo, na linguagem proposta neste estudo, esse problema é escrito da seguinte forma: $nextGoal(g_0, g_1), nextGoal(g_0, g_2), nextGoal(g_1, g_3), nextGoal(g_2, g_3)$.

O predicado $hasCondition(g_i, cg_n) | g_i \in Goal, cg_n \subset GoalCondition$ é lido da seguinte forma: O objetivo g_i só pode ser iniciado se todas as condições presentes em cg_n estiverem presentes quando o agente iniciar a tentativa de alcançá-lo. O uso deste predicado pode ser

exemplificado por meio do exemplo padrão. Tendo em vista que o objetivo g_0 pode começar apenas se as condições $cg_1 = \{luz, silencio\}$, então para este caso, é possível escrever o seguinte predicado: $hasCondition(g_0, cg_1)$.

O predicado $hasEntity(g_i, eg_m) | g_i \in Goal, eg_m \subset EntityGoal$ é lido da seguinte forma: Para que o objetivo g_i seja atingido, as entidades presentes em eg_m devem estar presentes. O propósito deste predicado reside na necessidade de identificar quais são as entidades que devem estar presentes para que um dado objetivo possa ser executado. No **Exemplo da Redação**, um objetivo g_2 só pode ser atingido se as entidades $eg_2 = \{aluno, folha, lapis\}$ estiverem presentes. Para essa situação, esse predicado é escrito da seguinte forma $hasEntity(g_2, eg_2)$.

O predicado $hasEntity(g_i, rg_m) | g_i \in Goal \wedge rg_m \subset RelationGoal$ é lido da seguinte forma: Para que o objetivo g_i seja atingido se faz necessário a realização de todos os relacionamentos contidos em rg_m . Dentro do exemplo padrão, o objetivo g_2 só pode ser atingido se os relacionamentos rg_2 estiverem presentes. Portanto, a especificação para esse situação é escrita da seguinte forma: $hasRelagion(g_2, rg_2)$.

O predicado $isPresent(X) | X = cg_n \vee X = c_k \vee X = rg_k \vee X = r_k \vee X = eg_k \vee X = e_k$. Esse predicado é lido da seguinte forma: X está presente neste instante. Em alguns raciocínios e de importância verificar se um elemento ou um conjunto de elementos está presente durante a tentativa de um dado agente tentar executar algum objetivo.

O predicado $tryReach(ag_i, g_j) | ag_i \in Agent \wedge g_j \in Goal$ é lido da seguinte forma: Um dado agente ag_i está tentando atingir o objetivo g_j . Para algumas situações é de crucial importância identificar quando um agente está tentando atingir um dado objetivo, fazendo-se necessário a existência de um predicado apenas para esse propósito. Para exemplificar pode-se considerar o exemplo presente no quadro do professor Aristóteles com o seu aluno Alexandre. Para que o professor *Aristoteles* possa alcançar o objetivo g_0 , ele precisa tentar fazer isso. Neste modelo, essa situação é representada da seguinte maneira: $tryReach(aristoteles, g_0)$. Seguindo a linha desse predicado, há também o $ableTryReach(ag_i, g_j) | ag_i \in Agent \wedge g_j \in Goal$ cuja semântica expressa que o agente ag_i está habilitado para tentar buscar o objetivo g_j . Contudo, não significa que o agente fará o correspondente de $tryReach(ag_i, g_j)$. O que definirá a transição de estado: habilitado a alcançar um dado objetivo para o estado: tentando alcançar um dado objetivo consiste em estados internos do agente. Contudo, não é do interesse deste estudo aprofundar na dinâmica do agente em si - deixando esse processo em aberto para o programador decidir como resolverá essa questão.

O predicado $violationCondition(ag_i, g_j, c_k)$ sendo que $ag_i \in Agent \wedge g_k \in Goal \wedge c_k \in Condition \wedge c_k \in cg_n \wedge cg_n \subset ConditionGoal$. Esse predicado deve ser lido da seguinte

maneira: O agente ag_i comete uma violação de condição no objetivo g_j por tentar realizar uma determinada atividade em que a condição c_k era essencial porém não estava presente. Os fundamentos deste predicado está vinculado com a seção 2.4. No modelo em 2.4 para representar aspectos normativos dos agentes, a regra do tipo *Count-as* apresenta quais são as circunstâncias que ocasionam numa violação. Esse predicado cumpre com esse propósito para o conjunto **Conditions**. Para exemplificar, no **Exemplo da Redação**, se o professor Aristóteles lecionar sem que haja luz suficiente para isso, então ele cometeu uma violação de condição caracterizada da seguinte maneira: $violationCondition(aristoteles, g_0, luz)$

O predicado $violationRelation(ag_i, g_j, r_k)$ sendo que $ag_i \in Agent \wedge g_k \in Goal \wedge c_k \in relation \wedge r_k \in rg_n \wedge rg_n \subset RelationCondition$. Esse predicado possui a mesma situação presente em $violationCondition(ag_i, g_j, c_k)$ contudo o foco diz respeito aos relacionamentos. A leitura se dá desta forma: O agente ag_i pratica uma violação de relação no objetivo g_j por executar a atividade sem que a relação r_k esteja presente. O uso deste predicado por ser feito considerando o exemplo em análise com a adição de uma breve descrição de uma situação que possa ocorrer que é o seguinte; A ponta do lápis que Alexandre tenta usar para escrever a redação está quebrada. Portanto, a relação $relLapisFolha$ não pode ser feita. Se o agente *Alexandre* alcançar o objetivo g_2 sem ter as circunstâncias necessárias para isso, então cometeu uma violação de relação sendo escrito da seguinte forma: $violationRelation(alexandre, g_2, r_2)$.

O predicado $violationEntity(ag_i, g_j, e_k)$ sendo que $ag_i \in Agent \wedge g_j \in Goal \wedge e_k \in Entity \wedge e_k \in eg_n \wedge eg_n \subset EntityGoal$. Esse predicado advém das mesmas situações dos dois predicados acima. A leitura deste predicado se dá da seguinte forma: O agente ag_i cometeu uma violação por tentar alcançar o objetivo g_j sem que a entidade e_k esteja presente. No exemplo padrão o uso deste predicado consiste em Alexandre tentar executar g_2 sem ter a entidade lápis o que resulta no seguinte: $violationEntity(alexandre, g_2, lapis)$.

O predicado $hasRisk(X, risk_j, cs_k) | risk_k \in Risk \wedge cs_k \in Consequence \wedge (X = c_k \vee X = r_k)$ é baseado nos estudos presentes na seção 2.5 e tem a finalidade definir os riscos associados ao tentar executar alguma atividade sem que c_k ou r_k esteja presente. Portanto, a leitura deste predicado é dada da seguinte forma; A ocorrência de uma violação onde X está envolvido ocasiona em um evento associado ao $risk_j$ com a consequência cs_k . Ao explicar sobre o conjunto **Consequence**, foi dado um exemplo sobre um eletricitista que tem o potencial de ser eletrocutado. Para esse exemplo, o uso deste predicado apresenta o seguinte formato: $hasRisk(relFerramentaIsolanteBarramento, eletrocutado, morte)$.

O predicado $possibilityHappensBadEvent(r_l) | r_l \in Relation$ tem seus fundamentos associados ao estudo da lógica modal, presente na seção 2.6, no operador \Diamond cuja semântica

denota possibilidade. Contudo, neste estudo esse termo apresenta o seguinte conceito semântico: há a possibilidade de acontecer um evento ruim associado ao risco r_l vinculado ao agente que está associado a essa relação mesmo que esse agente não tenha cometido nenhum erro durante o procedimento. Esse predicado tem como por finalidade representar situações onde um evento ruim acontece não pelo erro do profissional diretamente associado a situação, mas sim por outras cadeias causais complexas de serem identificadas e justamente por isso são abstraídas por conceitos de aleatoriedades, idem possibilidades. Para exemplificar pode-se considerar a situação onde um eletricista de linha viva usa um bastão isolante para acessar um barramento altamente energizado. Contudo, esse bastão pode estar com isolamento comprometido. Em testes que deveriam ser feitos antes do eletricista fazer uso desta ferramenta, esse comportamento pode ser revelado eliminado qualquer possibilidade de que os riscos venham a se tornar eventos reais, pois se o bastão estiver em bom estado então o eletricista não se envolverá em um acidente por esse fator, se o bastão estiver em mal estado - isso será identificado e a ferramenta será adequadamente substituída. Contudo, considerando um cenário onde por negligencia de profissionais a medição não é feita, surge uma possibilidade do isolamento estar comprometido. Essa situação torna verdade o seguinte predicado *possibilityHappensBadEvent(relBastaoBarramento)*.

O predicado *affectsOtherRelations(r_k, r_n) | $\{r_k, r_n\} \subset Relation$* trabalha em conjunto *possibilityHappensBadEvent(r_l)*. Esse predicado se lê da seguinte forma: Se r_k não foi realizado, ou se for realizado de forma inapropriada, isso afeta r_n tornando verdade *possibilityHappensBadEvent(r_n)*. Ambos são importantes em raciocínios onde se deseja mostrar que a não execução de um dada relação não gera consequências negativas imediatas a ninguém, mas resulta em consequências futuras inclusive sobre pessoas que não compartilham da mesma situação. No exemplo do eletricista, a relação *relBastaoBarramento* é afetada pela não execução da relação *relBastaoMedidor* (que define a relação entre o aparelho medidor de corrente de fulga e o bastão isolante). Esse exemplo é escrito da seguinte maneira: *affectsOtherRelations(relBastaoMedidor, relBastaoBarramento)*

O predicado *consequenceOfBadEvenet($g_k, ag_i, risk_k, cs_m$)* pode ser lido da seguinte maneira; ocorreu um evento ruim no objetivo g_k associado ao agente ag_i e associado ao risco $risk_k$ que atribuiu ao agente ag_i consequências cs_m . Esse predicado tem por finalidade traduzir semanticamente as consequências ruins sobre alguém quando ocorre o pior caso. Sobre o exemplo do eletricista que acessa um barramento de alta tensão, esse predicado é escrito da seguinte forma: *consequenceOfBadEvenet($g_{acessoBarramento}, eletricista, eletrocutado, morte$)*. Associado a isso há o predicado *happensBadEvent(r_m)* cujo propósito define que um evento ruim aconteceu no relacionamento r_m .

O predicado $lastGoal(g_i, \rho_m) | g_i \in Goal, \rho_m \in Role$ apresenta um ultimo objetivo g_i que deve ser alcançado por agentes com determinado papel ρ_m . Esse predicado tem sua existência justificada em certos raciocínios, que serão demonstrados mais adiante, onde esse tipo de informação é relevante.

4.1.3 DIAGRAMA DE CLASSES

Diferente da figura 4, o foco da figura 5 consiste em apresentar como se dá a estrutura de classes e dos relacionamentos. Ambas situações poderiam ser representadas em uma única figura, contudo os pesquisadores decidiram por sectionar em duas a fim de tornar o processo mais didático. Por esse mesmo motivo não está apresentado neste *UML* todas as classes e propriedades.

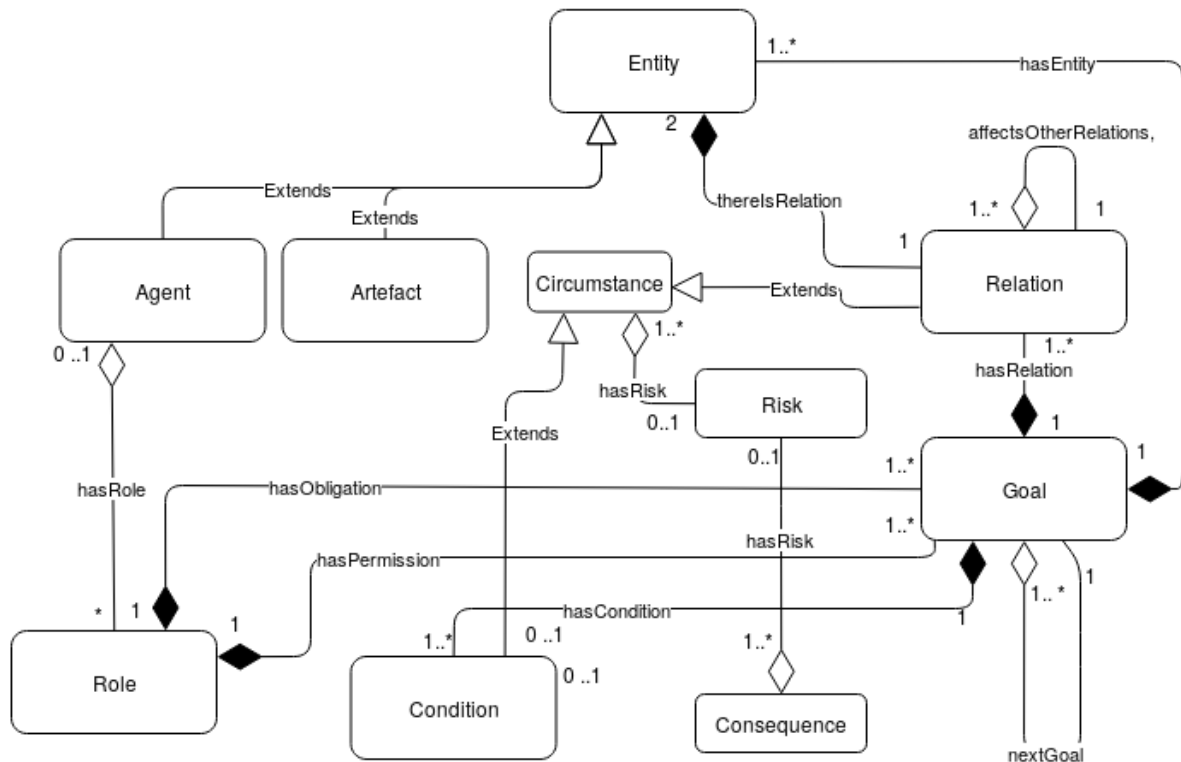


Figura 5: Diagrama de classes do Modelo

Uma vantagem deste tipo de diagrama em relação a representação por conjuntos consiste na ocorrência de uma sintaxe específica para tratar dois pontos relevantes dentro do contexto computacional: cardinalidade e relações existenciais. Um dos predicados interessantes de serem analisados, neste contexto, é *hasRole* que define um relacionamento fracamente agregado entre *Agent* e *Role*. Isso, pois (dentro do escopo deste modelo) um agente pode existir sem ter um papel, portanto este não é um critério necessário para definir aquele. A cardinalidade

se justifica tendo como base o fato de que um agente pode ter um ou mais papeis.

As relações *hasObligation*, *hasPermission* se dão por meio de agregações fortes tendo vista que não há sentido para um papel ρ existir sem que esteja vinculado a ao menos um objetivo. Como um papel se relaciona com diversos objetivos, os engenheiros adotaram a cardinalidade de 1 para 1..*.

A relação *hasRisk* ocorre entre *Consequence*, *Condition*, *Relation* e *Risk*. Contudo, esse relacionamento não se dá entre as quatro classes no mesmo instante, sendo assim: *Consequence*, *Condition*, *Risk* ou assim: *Consequence*, *Relation*, *Risk*. A representação desta situação presente na subseção 4.1.2 se deu de forma relativamente simples, criando uma variável que poderia assumir instâncias de *Relation* ou de *Condition*. Contudo, isso não se aplica em UML. Para resolver esse problema, os engenheiros criaram uma classe chamada *Circumstance*, que é pai de *Relation* e de *Condition*. Essa classe não possui sentido semântico dentro do modelo e sua existência se deve apenas para resolver esse problema neste tipo de linguagem de representação. De 0 a 1 risco pode ter 1 ou mais relacionamentos com *Circumstance* e o mesmo ocorre com *Consequence*.

Um objetivo não pode ser definido sem saber quais são as entidades *Entity*, relações *Relation* e consequências *Consequence* necessários para que seja alcançado. Por isso os predicados *hasCondition*, *hasEntity* e *hasRelation* estabelecem composição forte de suas respectivas classes com *Goal*. Como um objetivo pode apontar para diversas instâncias dessas classes, os pesquisadores optaram - para cada uma das relações - trabalhar com a cardinalidade 1 – 1..*.

No modelo proposto *Relation* deve estar relacionada com duas entidades. Por esse motivo o predicado *thereIsRelation* faz composição forte com *Entity* e a sua cardinalidade é dada 1 – 2.

A classe *Goal* possui uma relação consigo mesma dada por *nextGoal*. Essa é uma agregação fraca, pois do contrário seria impossível haver uma única instância desta classe. Isso se deve ao fato de que a primeira instância necessitaria de uma instância de *Goal* para existir. Contudo, como não há um elemento de *Goal* antes do primeiro elemento de *Goal*, logo esse primeiro elemento não pode existir. Um objetivo poder ter como próximo um ou mais objetivos, justificando a ocorrência da cardinalidade 1..n.

O predicado *affectsOtherRelations*, por motivos similares a *nextGoal* deve ter agregação fraca. Como uma relação pode afetar uma ou mais, a cardinalidade adequada para essa circunstância é dada pro 1 - 1..*

4.1.4 REGRAS

A regra 24 tem os fundamentos teóricos na lógica deôntica e em modelos como *MOISE+*. Assim sendo, todas as relações de obrigação implicam relações de permissão. O que essa regra determina consiste no fato de que se um agente g_j é obrigado a trabalhar sobre o objetivo g_j , então esse agente também tem a permissão de para trabalhar sobre o objetivo g_j

$$\begin{aligned} hasObligation(\rho_m, g_j) \rightarrow hasPermission(\rho_m, g_j), \\ \rho_m \in Role \wedge g_j \in Goal \end{aligned} \quad (24)$$

As regras 25, 26, e 27 são fundamentadas em 2.4 onde o conceito do que pode ou não pode ser feito é definido em termos das regras *Count-as*. Essas regras determinam quais são os elementos que resultam em violação. Inspirando nesse tipo de estrutura é que os pesquisadores trataram de trabalhar as referidas regras.

A complexidade de estudo é extramente ampla, e com certeza existe mais tipos de violações do que as consideradas a seguir, contudo optou-se por estudar essas violações porque são essenciais para os objetivos deste estudo. Outro questionamento que pode surgir consiste no porque definir três tipos de violações? Isso reside no fato de que essas violações resultam em consequências diferentes, por conta disto em um primeiro momento os engenheiros do modelo decidiram trata-las em estruturas diferentes.

A explicação das regras será feita sempre analisando a semântica do predicado que é implicado e em relação aos estudos pelos quais elas se fundamentam. Partindo desta premissa o entendimento da relação 25 só pode ser feito na ocorrência de uma investigação sobre quais são os elementos que semanticamente correspondem ao predicado $violationCondition(ag_m, g_i, c_k)$. O primeiro ponto reside em verificar quais são as condições necessárias de g_i . Quem tem essa finalidade é o predicado $hasCondition(g_i, cg_n)$. Contudo, saber todas as condições não são o suficientes, pois a violação acontece na ausência de uma condição c_k e isso deve ser verificado nesta relação de implicabilidade. Então se faz necessário considerar um predicado que analisa se c_k está presente no ato da manutenção e é com esse propósito que $isPresent(c_k)$ faz parte da relação. Contudo, as informações ficam desencontradas se c_k não estiver contido em cg_n , por isso é de importância fazer essa análise também. Para isso, neste estudo, os pesquisadores fizeram uso de um operador de conjuntos cujo simbolo é \in que nessas relações tem a finalidade de verificar se c_k está contido em cg_n . Esses são componentes essenciais, porém não são suficientes porque não consideram a condição do agente. Isso, pois afirmar sobre a ocorrência

de uma violação sobre um agente sem considerar se ele esta efetivamente tentando alcançar um objetivo consiste em desconsiderar a semântica daquilo que está sendo implicado. Isso é resolvido por considerar o termo $tryReach(ag_m, g_i)$.

$$\begin{aligned}
 &hasCondition(g_i, cg_n) \wedge \neg isPresent(c_k) \wedge (c_k \in cg_n) \wedge tryReach(ag_m, g_i) \rightarrow \\
 &\quad violationCondition(ag_m, g_i, c_k) \\
 &g_i \in Goal, cg_n \subset ConditionGoal, c_k \in Condition, ag_m \in Agent \quad (25)
 \end{aligned}$$

O propósito da regra 25 quando definido em termos de linguagem natural tem a finalidade de exprimir o seguinte: Se um agente tentar executar um dado objetivo sem que haja todas as condições ambientes necessárias para isso, então esse agente comete uma violação de condição neste respectivo objetivo.

A regra 26 define as condições que resultam em uma violação de relação. O predicado $violationRelation(ag_m, g_i, r_k)$ considerada que a violação se dá por um agente ag_m em um objetivo g_i na relação r_k . Portanto, para respeitar a semântica deste predicado se faz necessário considerar ao menos um termo que vincule o objetivo g_i com a relação r_k . Para esse propósito é que se considera o termo $hasRelation(g_i, rg_n)$ pois define quais são as relações que devem estar presentes para que o objetivo g_i possa ser alcançado. Contudo, só isso não é o suficiente, pois se faz necessário analisar se r_k está presente ou não e se pertence ao conjunto rg_n . A primeira situação é resolvida considerando o termo $isPresent(r_k)$ e a segunda situação é resolvida verificando se $r_k \in rg$. A semântica de $violationRelation$ só é conservada em sua inteireza se a presença do agente também for analisada. Para esse propósito é que se verifica a necessidade do uso de $tryReach(ag_m, g_i)$ que deverá retornar se o agente está tentando alcançar o objetivo g_i .

$$\begin{aligned}
 &hasRelation(g_i, rg_n) \wedge \neg isPresent(r_k) \wedge (r_k \in rg_n) \wedge tryReach(ag_m, g_i) \rightarrow \\
 &\quad violationRelation(ag_m, g_i, r_k) \\
 &g_i \in Goal, rg_n \subset RelationGoal, r_k \in Relation, ag_m \in Agent \quad (26)
 \end{aligned}$$

Traduzindo a regra 26 para linguagem natural obtêm-se a seguinte expressão: Se um agente tentar alcançar um dado objetivo sem que todas as relações necessárias para isso estejam presentes (considerando as relações sobre o domínio dele, tal como manuseio de uma dada ferramenta específica, e considerando as relações que são independente dele), então esse agente

comete uma violação de relação.

A regra 27 tem o propósito de definir quais são as condições que resultam em uma violação de entidade. O predicado $violationEntity(ag_m, g_i, e_k)$ define semanticamente que uma violação de entidade corresponde em relação a um dado ag_m em um g_i vinculado a entidade e_k . Assim como nas demais regras de violação, o sentido deste termo considera a necessidade de verificar a existência de uma entidade necessária para um dado objetivo, por isso é essencial verificar o predicado $hasEntity(g_i, eg_n)$, verificar se $e_k \in eg_n$ e verificar se e_k está ou não presente no momento da manutenção $isPresent(e_k)$. A semântica do predicado também considera o momento em que o agente está atuando sobre o objetivo g_i , por isso o predicado $tryReach(ag_m, g_i)$ também é posto na relação de implicabilidade.

$$\begin{aligned}
 & hasEntity(g_i, eg_n) \wedge \neg isPresent(e_k) \wedge (e_k \in eg_n) \wedge tryReach(ag_m, g_i) \rightarrow \\
 & \quad \quad \quad violationEntity(ag_m, g_i, e_k) \\
 & g_i \in Goal, eg_n \subset EntityGoal, e_k \in Entity, ag_m \in Agent \quad (27)
 \end{aligned}$$

Em termos de linguagem natural, 27 se apresenta da seguinte forma: Se um agente tentar alcançar um dado objetivo sem ter todas as entidades presentes para isso, então esse agente cometeu uma violação de entidade.

As regras 28 e 29 são inspiradas nos estudos presentes na seção 2.4 onde as consequências de uma violação são definidas como sanções no que é denominado por *SanctionRule*. A estrutura dessas regras, em 2.4 e em (DASTANI et al., 2009) é dada como $violation \rightarrow \dots$. Contudo, este estudo leva em consideração não apenas o termo que se refere a violação, mas também as circunstâncias que são consideradas juntos, que neste caso advêm do predicado $hasRisk$. Assim como em 2.4, o modelo deste estudo define que uma sanção corresponde a uma penalidade que o agente deve pagar. Na estrutura da problemática em análise, a penalidade ocorre pelo fato do agente sofrer fisicamente os efeitos dos seus erros. Esse comportamento é dado pelo predicado $consequenceOfBadEvent(g_i, ag_m, risk_j, cs_m)$ cujo correspondente semântico define que o agente ag_m sofre sobre o evento associado em $risk_j$, no objetivo g_i a consequência cs_m . Se os engenheiros deste modelo considerarem apenas $violationCondition(ag_m, g_i, c_k)$ para a relação 28 e $violationRelation(ag_m, g_i, r_k)$, o correspondente semântico de $consequenceOfBadEvent(g_i, ag_m, risk_j, cs_m)$ é desrespeitado, não especificando $risk_j, cs_m$. Contudo, isso é resolvido por levar em consideração o predicado $hasRisk(c_k, risk_j, cs_m)$ para 28 e o predicado $hasRisk(r_k, risk_j, cs_m)$ para 29.

$$\begin{aligned}
& \text{violationCondition}(ag_m, g_i, c_k) \wedge \text{hasRisk}(c_k, risk_j, cs_m) \rightarrow \\
& \quad \text{consequenceOfBadEvent}(g_i, ag_m, risk_j, cs_m) \\
& ag_m \in Agent, g_i \in Goal, c_k \in Condition, risk_k \in Risk, cs_m \in Consequence
\end{aligned} \tag{28}$$

Em termos de linguagem natural, a relação em 28 é definida da seguinte maneira: "Uma violação de condição sobre um determinado agente, em um dado objetivo ocasiona em uma consequência ruim a ele. Essa consequência ruim está associada ao risco da condição violada".

$$\begin{aligned}
& \text{violationRelation}(ag_m, g_i, r_k) \wedge \text{hasRisk}(r_k, risk_j, cs_m) \rightarrow \\
& \quad \text{consequenceOfBadEvent}(g_i, ag_m, risk_j, cs_m) \\
& ag_m \in Agent, g_i \in Goal, r_k \in Relation, risk_k \in Risk, cs_m \in Consequence
\end{aligned} \tag{29}$$

A regra 29, quando posto em linguagem natural é definido desta forma: "Uma violação de relação sobre um determinado agente, em um dado objetivo resulta em uma consequência ruim a ele. Essa consequência está atrelada ao risco da relação violada".

Neste estudo o termo *risco* deve ser analisado com muito cuidado. Isso, pois, dependendo do contexto, a complexidade deste termo é praticamente infinita e neste estudo a concepção deste termo se reduz a dois dos muitos possíveis usos. Neste modelo, risco é analisado como um evento que tem potencial de acontecer, contudo - nas relações de implicação um dos usos do termo risco advêm de considera-lo como evento que acontece apenas na ausência de uma dada condição ou de uma dada relação. Os pesquisadores optaram por essa tratativa ao estudar os conceitos presentes no referencial teórico em 2.5 e ao analisar o caso de estudo (que será apresentado mais tarde). Com base nestes estudos verificou-se que acidentes acontecem porque profissionais tentam executar uma dada atividade sem ter as condições apropriadas para isso e é a essa circunstância sobre o qual o risco está associado (em (FADIER et al., 2003), isso é explicado visando a melhoria da eficiência e da produção). Por exemplo, para poder navegar em alto mar a fim de poder pescar, um barco pesqueiro deve ter a sua disposição uma dada condição climática. Se a tripulação decidir por navegar sem a presença da condição climática apropriada, então o barco está submetido ao risco de naufragar sobre as consequências de morte da tripulação inteira. Portanto é com essa semântica que as relações de implicação 28 e 29 empregam o conceito de risco.

Obviamente, existe a possibilidade do barco poder desbravar um mar sem as apropriadas condições e voltar em terra salvo. Contudo, considerar situações assim, apesar de serem interessantes, levam a um aprofundamento da complexidade deste modelo. Não que isso seja uma justificativa coerente para não se fazer isso, contudo - neste estudo o interesse reside em uma primeira versão que torne possível a modelagem de condições assim por meio de um vocabulário mais específico. Assim sendo, os pesquisadores decidiram por simplificar essa situação e considerar que toda a ação tomada por um agente sem que as condições necessárias estejam presentes ou as relações apropriadas sejam feitas resultam em penalidades associadas ao risco da ausência desses elementos.

Dentro do que condiz ao conceito de sanção que é tratado neste estudo, apenas as regras 28 e 29 são sanções. Isso se deve ao fato de que essas regras consideram que o equívoco do agente gerou penalidades a ele mesmo. Apesar de levar em consideração predicados associados a violação, as demais regras não são consideradas como regras de sanção porque elas apresentam uma condição onde o comportamento inapropriado de um dado agente A resulta em consequências ruins a outros agentes. Como o erro do agente A não recai sobre si, é um inequívoco - dentro do escopo deste estudo - afirmar que ele sofreu uma sanção por conta disto.

A regra 30 é usada com o propósito de demonstrar que uma dada violação em uma certa relação afeta outras relações. Isso, pois muitas vezes o ato de não executar uma dada relação não gera consequências imediatas no instante a ser considerado, contudo essas consequências se manifestam em relações futuras. Não somente isso, mas a regra 30 também considera um dado componente de aleatoriedade que está atrelado com este tipo de raciocínio. O predicado *possibilityHappensBadEvent*(r_n) semanticamente corresponde que existe a possibilidade de acontecer algo errado associado ao relacionamento r_n . O sentido deste termo é correspondido quando se verifica os elementos que causam este tipo de condição - que no caso desta regra isso envolve a ocorrência de uma violação em r_k , sendo que esse relacionamento afeta r_n .

$$\begin{aligned}
 & \text{violationRelation}(ag_m, g_i, r_k) \wedge \text{affectsOtherRelations}(r_k, r_n) \\
 & \rightarrow \text{possibilityHappensBadEvent}(r_n) \\
 & ag_m \in \text{Agent}, g_i \in \text{Goal}, r_k, r_n \in \text{Relation},
 \end{aligned} \tag{30}$$

O entendimento desta regra pode ser feito ao considerar um exemplo que já foi mencionado neste texto ao apresentar o correspondente do predicado *possibilityHappensBadEvent* e o predicado *affectsOtherRelations*, onde um eletricitista usa um bastão isolante para acessar um dado barramento. Naquela parte do texto

o problema é modelado por meio de duas relações; *relBastaoMedidor* (que define a relação que deve ser feita entre o bastão isolante com um dado aparelho medidor de corrente de fuga) e *relBastaoBarramento* (que consiste na relação entre o bastão com o barramento elétrico do quadro de energia). Tendo em vista que a ausência de uma medida em *gmedida* afeta a possibilidade de ocorrer algum evento grave em *relBastaoBarramento*, é dado - para esse caso - como verdade o seguinte predicado *affectsOtherRelations(relBastaoMedidor, relBastaoBarramento)*. Assim sendo, em um cenário onde ocorre a violação de relação em *gmedida*, o seguinte raciocínio pode ser feito:

$$violationRelation(eletricista_{medidor}, gmedida, relBastaoMedidor) \wedge affect(relBastaoMedidor, relBastaoBarramento) \rightarrow possibilityHappensBadEvent(relBastaoBarramento).$$

A regra 30 demonstra como um agente pode ser submetido a consequências ruins sem necessariamente ser culpado por isso. Contudo, essa regra denota apenas possibilidade, não demonstrando o que acontece efetivamente quando o agente é submetido ao lado não favorável da possibilidade. Essa situação está atrelada a 41. Para lidar com as situações onde um agente é submetido a condições ruins, fez-se o uso do predicado *consequenceOfBadEvent(g_i, ag_m, risk_j, cs_m)*. Entretanto, diferente das regras 28, 29, essas consequências negativas tem seus correspondentes semânticos em outros predicados. O predicado *possibilityHappensBadEvent(r_k)* é invocado com o propósito demonstrar que *r_k* apresenta a possibilidade da ocorrência de um evento ruim mesmo que o agente que esteja executando essa relação não faça nada de errado. Contudo, esse predicado só denota a possibilidade. Para que o sentido semântico de que a possibilidade de um evento ruim realmente acontece foi considerado o uso do predicado *happensBadEvent(r_k)*. Para o contexto desta regra, a semântica deste predicado exhibe o seguinte significado: "O evento ruim associado a essa relação realmente aconteceu". Nesta situação que se faz necessário adotar a outra concepção associada ao termo risco que é adotado a este modelo. Nesta regra, esse termo é adotado como um evento em potencial devido a incerteza associada ao evento.

Para compreender melhor essa situação é possível voltar ao exemplo do eletricista-bastão isolante-quadro de energia. Como já citado anteriormente o fato do agente medidor não executar sua atividade gera uma incerteza sobre a condição do isolamento do bastão. Se a medida for executada com sucesso (partido do pressuposto de que o medidor está em condições apropriadas de funcionamento), a condição do bastão é revelada eliminando qualquer incerteza a respeito disto. Contudo, como está sendo considerado um cenário onde isso não foi feito, a não execução de *relBastaoMedidor* resultou no surgimento do risco *eletrocutado* com uma consequência de morte. Esse risco é dado como um potencial evento até que o eletricista

de acesso ao barramento faz uso da ferramenta. Por conta disto, se faz o uso do predicado $hasRisk(r_k, risk_j, cs_m)$. Tendo em vista que isso se dá por uma relação que está atrelada a um objetivo, se faz necessário considerar $hasRelation(g_i, rg_n) \wedge (r_k \in rg_n)$. Para verificar a ação do agente nesta situação, o predicado $tryReach(ag_m, g_i)$ também deve compor a regra.

$$\begin{aligned}
 & possibilityHappensBadEvent(r_k) \wedge happensBadEvent(r_k) \wedge hasRelation(g_i, rg_n) \wedge (r_k \in rg_n) \\
 & \quad \wedge hasRisk(r_k, risk_j, cs_m) \wedge tryReach(ag_m, g_i) \\
 & \quad \rightarrow consequenceOfBadEvent(g_i, ag_m, risk_j, cs_m) \\
 & r_k \in Relation, g_i \in Goal, rg_n \subset RelationGoal, risk_k \in Risk, cs_m \in Consequence(31)
 \end{aligned}$$

O exemplo em voga pode ser implementado nesta regra da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 & possibilityHappensBadEvent(relBastaoBarramento) \\
 & \quad \wedge happensBadEvent(relBastaoBarramento) \\
 & \quad \wedge hasRelation(g_{acessoBarramento}, rg_{acessoBarramento}) \\
 & \quad \wedge (relBastaoBarramento \in rg_{acessoBarramento}) \\
 & \quad \wedge hasRisk(relBastaoBarramento, eletrocutado, morte) \\
 & \quad \wedge tryReach(eletricista_{executor}, g_{acessoBarramento}) \\
 & \rightarrow consequenceOfBadEvent(g_{acessoBarramento}, eletricistaExecutor, eletrocutado, morte) \quad (32)
 \end{aligned}$$

O exemplo se traduz na situação onde um bastão apresenta uma possibilidade de estar com o seu isolamento comprometido e isso resulta em um risco de eletrocutar o profissional que usa-lo resultando na morte dele. Contudo, o momento da ferramenta ser usada e ao fazer isso o eletricista morre eletrocutado por que esse bastão pertencia as ferramentas cujo isolamento estava deteriorado.

A violação de entidade, dada pela regra 33 demonstra que a violação de entidade, diferente das demais, resulta apenas no encerramento da atividade no objetivo onde ocorreu. Os engenheiros deste modelo definiram essa regra partindo do pressuposto que a ausência de uma ferramenta, profissional, peça de substituição ou máquina simplesmente gera o impedimento do prosseguimento das atividades. Voltando ao exemplo do eletricista, se o profissional não tiver o bastão isolante para executar a ação, ele simplesmente não consegue dar prosseguimento ao

objetivo fazendo com que o procedimento seja encerrado naquele exato instante.

$$\begin{aligned} & violationEntity(ag_m, g_i, e_k) \rightarrow stopIn(g_i) \\ & ag_m \in Agent, g_i \in Goal, e_k \in Entity \end{aligned} \quad (33)$$

Em termos de linguagem natural, a regra 33 é definida da seguinte forma: Se acontecer uma violação de entidades, então o procedimento é encerrado no objetivo onde aconteceu.

A regra 42 advém do pressuposto de que na ocorrência de uma calamidade onde um profissional sai extremamente ferido ou morto (ocorrência do acidente), os demais envolvidos na manutenção não continuam por executar os procedimentos.

$$\begin{aligned} & consequenceOfBadEvent(g_k, ag_m, risk_j, cs_m) \rightarrow stopIn(g_k) \\ & g_k \in Goal, risk_j \in Risk, cs_m \in Consequence \end{aligned} \quad (34)$$

Essa regra, no escopo da linguagem natural, pode ser lida desta forma: Se acontecer um evento ruim onde um profissional sai morto ou gravemente ferido, então a manutenção é encerrada no objetivo onde a fatalidade aconteceu. Não há como afirmar que as regras 33 e 42 se aplicam para todo tipo de situação em qualquer procedimento. Operações militares, por exemplo, não se enquadram em situações assim. Isso, pois a morte de um soldado ferido não impede que o resto do batalhão continue em conflito. Contudo, os pesquisadores deste estudo entendem que o pressuposto dessas duas regras englobam diversos cenários que implica no interesse deste estudo, tais como; cenário industrial, subestação, usinas de produção de energia, certas atividades hospitalares e entre outras da mesma natureza.

A regra 35 define o critério para quando um dado objetivo é considerado como atingido. O primeiro predicado, $stopIn(g_k, ago_n)$ no contexto desta regra define que todos os agentes que tinham permissão para alcançar g_k fizeram isso sem a ocorrência de alguma interrupção (ou seja, não houve nenhum evento onde alguém saiu ferido, morto ou onde alguma dada ferramenta tenha sido esquecida). O termo $(ago_n \subset agg_n)$ denota que os agentes que são obrigados a concluir esse objetivo devem estar contidos em agg_n . Se isso não for considerado, a regra 24 entra em contradição com a 35, pois caso contrário haveria a possibilidade de um objetivo ser considerado como concluído quando agentes que são obrigados a concluir não o

fizeram.

$$\neg stopIn(g_k, agg_n) \wedge (ago_n \subset agg_n) \rightarrow isReached(g_k)$$

$$g_k \in Goal, agg_n \in Agg, ago_n \in Ago \quad (35)$$

A linguagem natural essa expressão é dada da seguinte forma: Se todos os agentes que têm permissão para alcançar um dado objetivo fizeram sem que esse tenha sido interrompido e considerando que um subgrupo deles é constituído por agentes que são obrigados a isso, então o objetivo é dado como alcançado.

A regra 36 apresenta a condição adequada para quando um agente está habilitado para atingir novos objetivos. Para isso, ele deve possuir um papel onde existe uma permissão para que ele possa atingir o próximo objetivo. Isso é traduzido por $hasRole(ag_n, \rho_m) \wedge hasPermission(\rho_m, g_j)$. Não apenas isso, mas o objetivo atual do agente deve ter sido atingido $isReached(g_i)$ e o objetivo em interesse deve estar associado como predicado $nextGoal(g_i, g_j)$. O termo $ableTryReach(ag_i, g_j)$ corresponde semanticamente apenas que o agente está habilitado para buscar novos objetivos mas não significa que isso implicará em $tryReach(ag_i, g_j)$ pois o que decide esses processos de transição consiste em aspectos que não correspondem a esse modelo. Essa dinâmica é discutida mais tarde na seção de *Predicados Abertos*.

$$hasRole(ag_n, \rho_m) \wedge hasPermission(\rho_m, g_j) \wedge nextGoal(g_i, g_j) \wedge isReached(g_i)$$

$$\rightarrow ableTryReach(ag_i, g_j)$$

$$ag_i, ag_n \in Agent, \rho_m \in Role, g_j \in Goal, g_i \in Goal \quad (36)$$

Em linguagem natural, a regra 36 exhibe o seguinte: "Se um agente que alcançou um objetivo atual tem um papel que lhe dá permissão para buscar o próximo objetivo, então esse agente está habilitado para fazer isso"

A regra 37 apresenta a condição de parada do agente em relação ao seu papel. Isso, pois se o agente, que tem um dado papel, cumpriu com todos os objetivos designados a ele, então ele deve encerrar sua operação. A verificação do papel é dado por $hasRole(ag_n, \rho_m) \wedge hasPermission(\rho_m, g_i)$, a análise semântica sobre o último objetivo associado a um dado papel é dado por $lastGoal(g_i, \rho_m)$ e a verificação se aquele último objetivo foi atingido é dado por

$isReached(g_i)$.

$$\begin{aligned}
 & hasRole(ag_n, \rho_m) \wedge hasPermission(\rho_m, g_i) \wedge lastGoal(g_i, \rho_m) \wedge isReached(g_i) \\
 & \qquad \qquad \qquad \rightarrow stopIn(g_i) \\
 & ag_n \in Agent, \rho_m \in Role, g_i \in Goal \qquad (37)
 \end{aligned}$$

Portanto, a regra 37 em linguagem natural é definida da seguinte maneira; Se um agente cumpriu com todos os objetivos associados a permissão do papel dele, então esse agente deve encerrar suas atividades (em relação a esse papel).

4.1.5 DIAGRAMA DE ATIVIDADES

A figura 6 apresenta a aplicação das regras em termos de diagrama de atividades. Essa figura deve ser entendida como uma proposta de orientação das regras registradas na subseção 4.1.4. Há outras maneiras de organizar essas regras em diferentes diagramas de atividades. Contudo, a proposta presente neste modelo aponta para uma estrutura que corresponde as expectativas das semânticas do vocabulário aqui proposto.

O primeiro termo desta figura corresponde a "carregar todos os agentes". Esse elemento é indiferente a estrutura das regras do modelo. A existência desta atividade no diagrama se dá por finalidades de implementação, uma vez que para a uma máquina poder processar todos as atividades, primeiramente se faz necessário que informações sobre os agentes sejam carregadas na memória. As atividades "selecione um dos agentes", "carregar os objetivos", "há objetivos que não foram alcançados" e "o agente escolhe por tentar alcançar o objetivo" fazem referência as regras 36 e 24. Aquela analisa qual é a próxima regra que esta em condições de serem atingidas pelo agente e esta verifica a permissão do agente no que tange a possibilidade de poder adotar o objetivo.

O ponto de decisão "todas as condições necessárias para esse objetivo estão presentes?" e a atividade "violação de condição" fazem referência a regra 25, que define uma violação de condição para o caso do agente tentar executar alguma atividade sem que todas as condições estejam presentes naquele instante.

O ponto de decisão "todas as entidades necessárias para esse objetivo estão presentes?" e a atividade "violação de relação" fazem referência a regra 27, pois definem o ocorrido no que diz respeito a ausência de uma entidade ao verificar um dado objetivo em

análise.

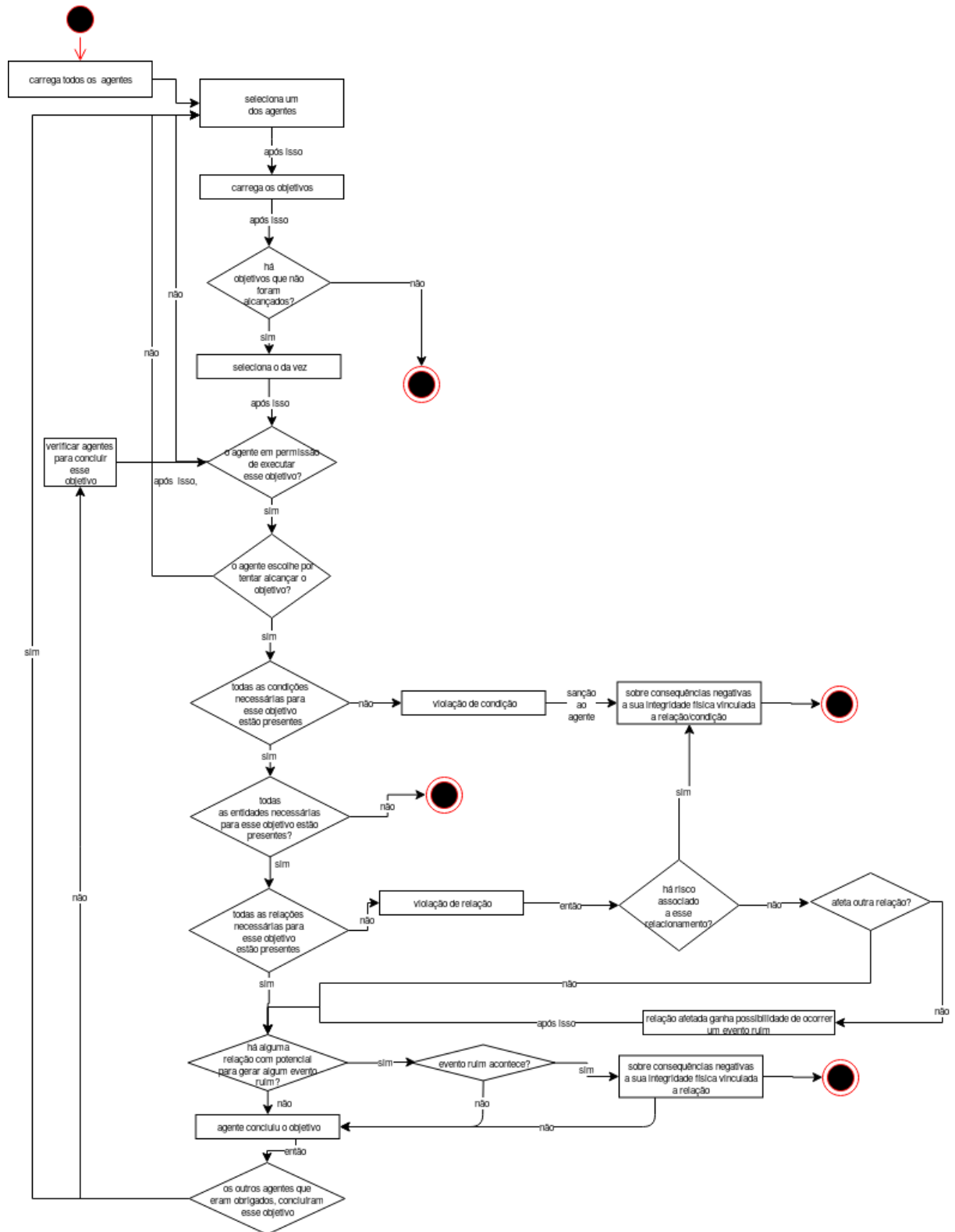


Figura 6: Diagrama de atividades do modelo

O ponto de decisão "todas as relações para esse objetivo estão presentes" e "violação de

relação”representam a regra 26. Isso se deve ao fato de que essas atividades avaliam se uma das relações necessárias para cumprir com o objetivo não está presente resultando em uma violação de relacionamento.

As atividades ”violação de condição”e ”sobre consequências negativas a sua integridade física vinculada a relação/condição”condizem com a regra 28 que define as consequências de uma violação de condição. A atividade ”violação de relação”em conjunto com a segunda atividade das presentes na sentença anterior fazem referência a regra 29, pois apresenta as sanções relacionadas a uma violação de relacionamento.

O ponto de decisão ”há risco associado a esse relacionamento?”, ”afeta outra relação”e ”relação afetada ganha possibilidade de ocorrer um evento ruim”apontam para a regra 30 pois ambas situações representam como a ocorrência de uma violação de relacionamento afeta um outro relacionamento. A regra 41 corresponde aos seguintes aspectos do diagrama ”há alguma relação com potencial para gerar algum evento ruim?”, ”evento ruim acontece?”, ”sobre consequências negativas a sua integridade física vinculadas a relação”tendo em vista a equivalência semântica entre esses elementos sendo que ambas representações se preocupam com a análise de relações que possuem possibilidades de algum evento ruim surgir sobre o agente do objetivo.

A regra 33 é representada por ”violação de entidade”e pelo elemento que indica o fim do programa. Isso se deve ao fato de que a regra 33 determina o encerramento do processo na ocorrência de uma violação de entidade.

Os eventos ”agente concluiu o objetivo”, ”os outros agentes que eram obrigados, concluíram esse objetivo”e ”verificar agentes para concluir esse objetivo”apontam para as regras 36, 37. Esse conjunto de atividades e pontos de decisões apresentam os critérios para definir quando um objetivo foi totalmente alcançado (que é a mesma finalidade dessas regras justificando a equivalência entre ambos formalismos). A regra 35 é explicitada no diagrama toda vez que a atividade ”sobre consequências negativas a integridade física vinculada a relação/condição”aponta para o fim do programa, tendo em vista que ambas representações definem o encerramento das atividades na ocorrência de feridos.

O diagrama 6 apresenta 25 como a primeira regra de violação a ser executada. O motivo disto reside no fato de que essa regra verifica se o agente respeitou todas as condições do ambiente. Se o agente não fizer isso, ele está sujeito a penalidades físicas encerrando o programa. Ou seja, não abre margens para verificação de outras violações, porque em um caso real, alguém que executa uma atividade sem que todas as condições estejam presentes, então esse alguém está fadado a encerrar qualquer ação em curso. Mesmo que esse alguém estivesse

na condição de cometer outras violações, não seria possível fazer - pois esta primeira violação cometida por ele foi o suficiente para interromper os procedimentos como um todo. Esse mesmo princípio fundamenta o sequenciamento das demais regras, sendo que logo em seguida é a 27 pois se alguma entidade não necessária (ferramenta) não estiver presente no cenário, então não existe possibilidade da continuidade dos procedimentos inviabilizando a realização das relações não fazendo sentido verificar 26. Contudo, os engenheiros definem essa estrutura apenas como uma proposta que deve ser modificada em função dos interesses da aplicação. Por exemplo, supondo que uma equipe tenha o interesse de usar este modelo para desenvolver jogos sérios com a intenção de analisar todas as violações que podem ser cometidas por um jogador sobre dado cenário, então para esse caso não há sentido usar esse fluxo de atividades. Em uma condição assim, os engenheiros do jogo devem - usando as mesmas regras - mudar o fluxo do diagrama de atividade para verificar todas as regras de violação antes de analisar se o programa deve ou não ser interrompido.

4.1.6 PREDICADOS ABERTOS E FECHADOS

Esse estudo apresenta duas categorias de predicados: *abertos* e *fechados*. Os predicados fechados são aqueles cujo usuário do modelo não possui a liberdade de definir sua estrutura interna por intermédio de outras regras lógicas ou por valores. Isso se deve ao fato de que esses vocábulos tem sua estrutura alicerçada nas concepções deste modelo sendo que são essenciais para que o modelo funcione como foi concebido para ser. Assim sendo, o modelador deve fazer uso delas apenas com o propósito de especificar os objetos de interesse. Em termos práticos não existe dificuldade em identificar esses predicados, pois sua própria natureza não abre margem para que o modelador consiga escrever novos predicados e novas regras para determinar o seu respectivo valor.

Esses predicados são *thereIsRelation*(r_l, e_i, e_k), *hasRole*(ag_n, ρ_m), *hasObligation*(ρ_m, g_j), *hasPermission*(ρ_m, g_j), *isReached*(g_k), *stopIn*(g_n, ag_m), *nextGoal*(g_i, g_j), *hasCondition*(g_i, cg_n), *hasEntity*(g_i, eg_m), *hasRelation*(g_i, rg_m), *violationCondition*(ag_i, g_j, c_k), *violationRelation*(ag_i, g_j, r_k), *violationEntity*(ag_i, g_j, e_k), *hasRisk*($X, risk_j, cs_k$), *possibilityHappensBadEvent*(r_l), *affectsOtherRelations*(r_k, r_n), *consequenceOfBadEvent*($g_k, ag_i, risk_k, cs_m$) e *lastGoal*(g_i, ρ_m).

Para exemplificar, pode-se considerar o predicado *thereIsRelation*(r_l, e_i, e_k). Se existir uma entidade A , uma entidade B e uma relação entre $relAB$, então esse termo é escrito desta forma: *thereIsRelation*($relAB, A, B$). O valor verdade deste predicado não pode ser modificado para a criação de algum cenário e nem pode ser determinado por outras regras. Se modelador

fizer isso então estará modificando a estrutura do modelo. Ou seja, esse é um predicado fechado no que tange a aspectos fundamentais aos aspectos semânticos desta representação.

Por outro lados os predicados *abertos* possuem um correspondente sintático e semântico no modelo mas os seus valores devem ser forçados conforme o cenário que se deseja criar ou conforme outras regras de implicabilidade. A não determinação destes predicados inviabilizam que o modelo seja analisado de forma procedural. Faz parte deste conjunto os seguintes termos: $isPresent(X)$, $tryReach(ag_i, g_j)$ e $happensBadEvent(r_m)$.

Pode-se considerar o seguinte exemplo: Um agente ag_a deve executar o objetivo g_1 e g_2 , os predicados a seguir implementam este modelo para o exemplo:

- $nextGoal(g_1, g_2)$
- $thereIsRelation(rAB, entA, entB)$
- $thereIsRelation(rCE, entC, entE)$
- $entA \in eg_1, entB \in eg_1$
- $entC \in eg_2, entD \in eg_2$
- $rAB \in rg_1,$
- $rCE \in rg_2$
- $cond_1 \in cg_1$
- $hasCondition(g_1, cg_1)$
- $hasCondition(g_2, cg_2)$
- $hasEntity(g_1, eg_1)$
- $hasEntity(g_2, eg_2)$
- $hasRelation(g_1, rg_1)$
- $hasRelation(g_2, rg_2)$
- $affectsOtherRelations(rAB, rCE)$
- $hasRisk(cg_1, risk_1, cs_1)$
- $hasRisk(rCE, risk_2, cs_2)$

- $hasRole(ag_a, \rho_1)$
- $hasObligation(\rho_1, g_1)$
- $hasObligation(\rho_1, g_2)$

Apesar de todos os predicados denotarem uma dada condição e de serem o suficientes para definir uma certa representação de mundo, não é possível fazer raciocínio algum. Isso, pois não se sabe quais são as ações dos agentes e não se sabe quais condições e cenários se deseja representar.

Para isso, se faz necessário definir um cenário de mundo. Por exemplo, pode-se definir o seguinte cenário; $tryReach(ag_a, g_1)$, $\neg isPresent(rAB)$, $tryReach(ag_b, g_2)$ e $possibilityHappensBadEvent(rCE) \rightarrow happensBadEvent(rCE)$.

Para esse caso é possível obter as seguintes relações de inferência:

$$hasRelation(g_1, rg_1) \wedge \neg isPresent(rAB) \wedge (rAB \in rg_1) \wedge tryReach(ag_a, g_1) \rightarrow violationRelation(ag_a, g_1, rAB) \quad (38)$$

$$violationRelation(ag_a, g_1, rAB) \wedge affectsOtherRelations(rAB, rCE) \rightarrow possibilityHappensBadEvent(rCE) \quad (39)$$

$$possibilityHappensBadEvent(rCE) \rightarrow happensBadEvent(rCE) \quad (40)$$

$$\begin{aligned}
& possibilityHappensBadEvent(rCE) \wedge \\
& happensBadEvent(rCE) \wedge \\
& hasRelation(g_2, rg_2) \wedge \\
& (rCE \in rg_2) \wedge \\
& hasRisk(rCE, risk_2, cs_2) \wedge \\
& tryReach(ag_a, g_2) \\
& \rightarrow consequenceOfBadEvent(g_2, ag_a, risk_2, cs_2)
\end{aligned} \tag{41}$$

$$consequenceOfBadEvent(g_2, ag_a, risk_2, cs_2) \rightarrow stopIn(g_2) \tag{42}$$

Esses raciocínios e conclusões só foram possíveis porque o modelador forçou o valor de três predicados e definiu uma relação de implicação. Isso acontece por conta de três motivos: 1 - Esse é um modelo de *SMA*, 2 - esse modelo apresenta grau de liberdade para escolher a disposição das entidades, condições e relações e 3 - não há como definir a solução de uma possibilidade.

Para o primeiro caso o predicado $tryReach(ag_i, g_j)$ é resultado de estados internos do agente. Por exemplo, o desenvolvedor pode programar um agente que possui o estado de medo, então sobre certas condições ele resolve não tentar alcançar o objetivo gerando valor falso para esse predicado, ou pode definir um agente que pondera pouco ao decidir se deve ou não tentar alcançar um dado objetivo. Isso pode ser feito por meio de modelos de agentes tais como: agentes lógicos, arquitetura BDI, agentes reativos e agentes em camada. Se for do interesse do modelador, o mesmo pode simplesmente definir o valor verdade para o predicado em certas condições.

O mesmo se aplica para o $isPresent(X)$ onde desenvolvedor pode definir um cenário que, por meio de estados internos os agentes esqueceram uma determinada ferramenta em um certo local ou, por exemplo, que o agente apresenta um algoritmo para determinar qual ferramenta é a mais apropriada para uma dada condição. Assim como o modelador é livre para gerar diferentes cenários simplesmente por definir valores diferentes para $isPresent(X)$. Por exemplo, supondo que uma equipe está desenvolvendo um jogo sério para avaliar profissionais de uma certa indústria. Para avaliar a competência dos trabalhadores, o modelador poderá usar este predicado por adicionar ou remover entidades e condições com base nas necessidades de

avaliação.

O terceiro motivo reside no fato de que o predicado *possibilityHappensBadEvent(X)* denota apenas que existe uma possibilidade de ocorrer algum determinado evento ruim *happensBadEvent(X)*. Contudo, se esse evento ocorrerá ou não, não é possível definir pois isso depende de questões estatísticas do objeto de estudo. Assim sendo, o usuário deste modelo possui algumas possibilidades de ação, tais como: quando *possibilityHappensBadEvent(X)* for verdade, então definir *happensBadEvent(X)* por meio de um número aleatório, para dadas situações onde ocorre *possibilityHappensBadEvent(X)* tratar *happensBadEvent(X)* como verdade e para dadas situações tratar *happensBadEvent(X)* como falso ou definir verdade para *happensBadEvent(X)* como base em algum estudo probabilístico. Isso dependerá da finalidade dos modeladores.

4.2 CASO DE ESTUDO

O estudo de caso desta pesquisa consiste em sete profissionais de linha viva (profissionais que realizam manutenção em equipamentos elétricos energizados) são designados com o propósito de realizar a substituição de um isolador de pedestal. Os papéis desses desses profissionais são; um supervisor e seis executores. A manutenção deve ser executada apenas sobre as seguintes condições: céu ensolarado e umidade relativa do ar menor que 70 por cento. Todos os profissionais devem possuir os EPI's necessários: capacete, óculos de sol, roupa isolante e antichamas, luvas isolantes e botas isolantes. Os profissionais que entram no potencial devem estar vestidos de roupa condutiva e cabo guarda. As ferramentas necessárias para resolver esse problema são: bastão garra de diâmetro 64 x 3600 mm, sela de diâmetro 65, colar, corda de fibra sintética, carretilha, chave com catraca, bastão universal, soquete adequado, locador de pino e bastão com soquete multiangular. O método selecionado para esse tipo de manutenção é a distância onde o eletricista não acessa diretamente o potencial, mas faz isso por intermédio de um bastão isolante. A substituição do isolador de pedestal pode ser escrita nos seguintes objetivos:

1. Limpar, secar e testar corda.
2. Instalar Bastão Garra na estrutura com o pedestal a ser substituído.
3. Instalar sela com colar na estrutura
4. Amarrar o bastão na parte superior da estrutura com a corda.
5. Amarrar o olhal do bastão ao cavalo da sela atrás de uma corda.

6. Instalar um segundo conjunto bastão e sela no lado oposto da estrutura.
7. Enforçar um estropo de Náilon no corpo do isolador.
8. Colocar a extremidade do estropo no gancho da corda de serviço.
9. Afrouxar os parafusos do conector que prendem a barra ao isolador.
10. Terminar de retirar os parafusos com o bastão com o soquete multiangular.
11. Elevar a barra através da corda que une a sela ao bastão.
12. Apertar o colar através da porca borboleta.
13. Segurar firmemente a corda de serviço.
14. Sacar parafusos da base da coluna.
15. Baixar o isolador ao solo
16. Içar o Isolador
17. Colocar Parafusos na base da coluna.
18. Baixar a barra para que a mesma apoie no novo isolador.
19. Colocar os parafusos do conector que prende a barra ao novo isolador.
20. Retirar Equipamentos

A tabela 1 apresenta todos os agentes que fazem parte da manutenção.

símbolo	significado
agente1	Um dos agentes participantes da manutenção
agente2	Um dos agentes participantes da manutenção
agente3	Um dos agentes participantes da manutenção
agente4	Um dos agentes participantes da manutenção
agente5	Um dos agentes participantes da manutenção
agente6	Um dos agentes participantes da manutenção
agente7	Um dos agentes participantes da manutenção

Tabela 1: Os agentes que constituem uma manutenção

A tabela 2 apresenta todas as funções que deverão ser exercidas pelos agentes.

papel	descrição
supervisor	Atribui papel a outros profissionais
executor1	Tem como por finalidade executar certas atividades manuais vinculadas a manutenção
executor2	Tem como por finalidade executar certas atividades manuais vinculadas a manutenção
executor3	Tem como por finalidade executar certas atividades manuais vinculadas a manutenção
executor4	Tem como por finalidade executar certas atividades manuais vinculadas a manutenção
executor5	Tem como por finalidade executar certas atividades manuais vinculadas a manutenção

Tabela 2: Os papéis relevantes para a ocorrência da manutenção

A tabela 3 define o predicado $hasRole(ag_n, \rho_m)$ onde ag_n é representado pela coluna agente e ρ_m é representado pela coluna papel.

agente	papel
agente1	supervisor
agente2	executor1
agente3	executor1
agente4	executor2
agente5	executor3
agente6	executor4
agente7	executor5

Tabela 3: Relação $hasRole(ag_n, \rho_m)$

A tabela 4 apresenta todos artefatos que fazem parte da descrição deste estudo de caso.

artefato	descrição
capacete	EPI usado pelo profissional para proteger a cabeça
óculos	Óculos usado para evitar dificuldades de enxergar presentes em dias claros
roupagem	Consiste em roupas isolantes e anti-chamas
luva	Luvas Isolantes
bota	Botas Isolantes para evitar que o profissional seja eletrocutado
bastaoGarra	bastão isolante que possui uma ferramenta em estrutura de garra. 64 X 3600 mm
sela	Possui diâmetro 65 mm, é fixada na torre para sustentar o bastão.
colar	Estrutura que fica fixa na sela, bastão isolante é travado no colar.
corda	Corda Isolante.
carretilha	Carretilha que, em conjunto com a corda, é usada para mover material na vertical.
bastaoUniversal	Bastão isolante que permite o acoplamento de múltiplas ferramentas.
soquete	Usado na manipulação de parafusos.
locador	Usado como pino direcional em alinhamento de furo de parafusos, auxiliado na inserção de pinos e parafusos.
bastaoGarra	Bastão Universal que possui uma garra.
isoladorVelho	Isolador de pedestal danificado a ser substituído
isoladorNovo	Isolador de pedestal novo que será posicionado no local do isolador velho.
torre	Estrutura metálica onde fica fixo o isolador
condutor	Em formato de cabo, fica fixo sobre o topo do isolador.e é por onde passa grandes quantidades de energia elétrica.
estropo	pano firme usado para segurar Isolador quando estiver suspenso
pano	pano usado para limpar ferramentas
glicerina	substância usada para limpar as ferramentas adequadamente
condutímetro	Medidor de corrente de fuga sobre o bastão universal.
parafuso	Parafusos prendem o conector condutor-Isolador e também prendem o Isolador a base
conector	Estrutura que tem como por finalidade manter condutor,cabeçote do isolador em conjunto.

Tabela 4: Definindo todos os artefatos presentes na manutenção

As etapas da atividade anteriormente postas foram analisadas em conjunto com engenheiros da área e foram estruturadas com base nos objetivos expostos na tabela 5. Essa tabela também apresenta as especificações para o predicado $nextGoal(g_i, g_j)$ onde *Objetivo*

representa g_i , *Próximo* g_j e *Descrição* é referente a g_i .

Objetivo	Próximo	Descrição
gSupervisor	g1,g6	Atribui objetivos aos demais agentes.
g0	gSupervisor	Vestir os AP'Is
g1	g2	Limpar, secar e testar ferramentas com material isolante.
g2	g3	Medir a corrente de fuga de ferramentas isolantes
g3	g4	Instalar sela com colar na estrutura
g4	g5	Passar o bastão garra por dentro do olhal do colar.
g5	g12	Amarrar o bastão garra na parte superior da estrutura com a corda, fixar no condutor
g6	g7	Amarrar o olhal do bastão garra ao cavalo da sela atrás de uma corda.
g7	g8	Instalar sela com colar no outro lado da estrutura estrutura
g8	g9	Passar o bastão universal por dentro do olhal do colar
g10	g11	Pender carretilha no bastão Universal.
g11	g12	Amarrar o bastão universal na parte superior da estrutura com a corda;
g12	g13	Rotacionar estrutura olhal garra em 45 graus.
g13	g14	Enforçar um estropo de Náilon no corpo do isolador velho.
g14	g15	Colocar a extremidade do estropo no gancho da corda de serviço.
g15	g16	Afrouxar os parafusos do conector que prendem a barra ao isolador.
g16	g17	Terminar de retirar os parafusos com o bastão com o soquete multiangular.
g17	g18	Elevar o condutor através da corda que une a sela ao bastão.
g18	g19	Apertar o colar através da porca borboleta.
g19	g20	Sacar parafusos da base da coluna.
g20	g21	Segurar firmemente a corda de serviço,baixar o isolador ao solo
g21	g22	Passar Estropo no Isolador Novo
g22	g23	Colocar a extremidade do estropo no gancho da corda de serviço.
g23	g24	Içar o Isolador
g24	g25	Colocar Parafusos na base da coluna.
g25	g26	Baixar o condutor para que a mesma se sustente no novo isolador.
g26	g27	Colocar os parafusos do conector que prende a barra ao novo isolador.
g27		Retirar Equipamentos

Tabela 5: Define e descreve os objetivos bem como os respectivos pré-requisitos

A tabela 6 apresenta c_k dado pela coluna condição e pela coluna descrição. Essa tabela define $hasRisk(c_k, risk_j, cs_m)$ onde $risk_j$ é descrito pela coluna risco e cs_m é descrito como consequência.

condição	descrição	risco	consequência
umidade70	Umidade Relativa do Ar deve ser inferior a setenta por cento.	eletrocutado	morte
noVento	Não deve haver vento durante os procedimentos de manutenção.	eletrocutado	morte
noChuva	Não deve haver chuva durante o ato da manutenção	eletrocutado	morte
sol	O dia deve estar ensolarado	eletrocutado	morte

Tabela 6: Define as condições necessárias para que a manutenção tenha possibilidade de acontecer

As tabelas 7, 8 apresentam a especificação para dois predicados onde uma deles é $thereIsRelation(r_l, e_i, e_k)$ tal que r_l é definido pela coluna *relacionamento*, e_i e e_k pelas *entidades envolvidas*. O outro predicado é dado por $hasRisk(r_k, risk_j, cs_m)$ onde $risk_j$ é dado pela coluna risco e cs_m é dado pela coluna *consequencia*. Algumas relações (instâncias do conjunto *Relation*) serão apresentadas usando o termo X . O objetivo disto consiste tornar as tabelas mais enxutas por intermédio de uma regra a qual é; A variável X deve ser substituída pelo agente que tem a permissão de executar alguma ação em dado objetivo em prol a sua função. Essa regra pode ser sintetizada na seguinte expressão para um agente ag_n que é referenciado por *AGENT*:

$$\begin{aligned}
 &hasRole(AGENT, \rho_m) \wedge hasPermission(\rho_m, g_i) \wedge (relXotherEntity \in rg_n) \\
 &\wedge hasRelation(g_i, rg_n) \rightarrow relAGENTotherEntity \quad (43)
 \end{aligned}$$

Para mostrar como se dá o uso desta regra pode-se considerar um relacionamento $relXCapacete$ entre X e *capacete* (essa relação será melhor descrita nas tabelas 7, 8). Essa relação acontece no objetivo g_0 onde o trabalhador deve colocar o capacete em sua cabeça, por conta disto se aplica a todos os agentes que representam esses profissionais. Nesta implementação, esses agentes são: *agente1*, *agente2*, *agente3*, *agente4*, *agente5*, *agente6* e *agente7*. Aplicando a regra 43 para esse caso, obtêm-se as seguintes relações: *relAgente1Capacete*, *relAgente2Capacete*, *relAgente3Capacete*, *relAgente4Capacete*, *relAgente5Capacete*, *relAgente6Capacete* e *relAgente7Capacete*. Portanto, nas tabelas 7, 8, ao ler:

$$relXCapacete|X, capacete| \quad (44)$$

Para o objetivo g_0 , essa linha é equivalente a:

$$\begin{aligned} &relAgente1Capacete|Agente1, capacete| \\ &relAgente2Capacete|Agente2, capacete| \\ &relAgente3Capacete|Agente3, capacete| \\ &relAgente4Capacete|Agente4, capacete| \\ &relAgente5Capacete|Agente5, capacete| \\ &relAgente6Capacete|Agente6, capacete| \\ &relAgente7Capacete|Agente7, capacete| \end{aligned}$$

(45)

relacionamento	entidades envolvidas	risco	consequência
relXCapacete	X, capacete	nenhum	nenhum
relXOculos	X, oculos	nenhum	nenhum
relXRoupagem	X, roupagem	nenhum	nenhum
relXLuva	X, luva	nenhum	nenhum
relXBotas	X, bota	nenhum	nenhum
relXPano	X, pano	nenhum	nenhum
relPanoGlicerina	pano, glicerina	nenhum	nenhum
relPanoCorda	pano, corda	nenhum	nenhum
relPanoBastaoUniversal	pano, bastaoUniversal	nenhum	nenhum
relPanoSoquete	pano, soquete	nenhum	nenhum

Tabela 7: Descrição das entidades em função das relações

relacionamento	entidades envolvidas	risco	consequência
relPanoBastaoUniversal	pano,bastaoGarra	nenhum	nenhum
relXSela	X,sela	nenhum	nenhum
relXColar	X,colar	nenhum	nenhum
relXBastaoGarra	X,bastaoGarra	nenhum	nenhum
relTorreSela	torre,sela	nenhum	nenhum
relSelaColar	sela,colar	nenhum	nenhum
relColarBastaoGarra	colar,bastaoGarra	nenhum	nenhum
relBastaoGarraCondutor	bastaoGarra,condutor	eletrocutado	morte
relXBastaoUniversal	X,bastaoUniversal	nenhum	nenhum
relCordaBastaoUniversal	corda,bastaoUniversal	nenhum	nenhum
relCordaCarretilha	corda,carretilha	nenhum	nenhum
relBastaoUniversalCarretilha	bastaoUniversal,carretilha	nenhum	nenhum
relBastaoUniversalColar	bastaoUniversal,colar	nenhum	nenhum
relBastaoUniversalEstropo	bastaoUniversal,estropo	nenhum	nenhum
relCordaEstropo	corda,estropo	eletrocutado	morte
relEstropoIsoladorVelho	estropo,isoladorVelho	nenhum	nenhum
relXChaveCatraca	X,chaveCatraca	nenhum	nenhum
relChaveCatracaBastaoUniversal	chaveCatraca,bastaoUniversal	nenhum	nenhum
relChaveCatracaParafuso	chaveCatraca,parafuso	eletrocutado	morte
relParafusoConector	parafuso,conector	eletrocutado	morte
relXBastaoSoquete	X,bastaoSoquete	nenhum	nenhum
relSoqueteParafuso	soquete,parafuso	eletrocutado	morte
relXCorda	X,corda	eletrocutado	morte
relXIsoladorVelho	X,isoladorVelho	nenhum	nenhum
relXIsoladorNovo	X,isoladorNovo	nenhum	nenhum
relCordaBastaoGarra	corda,bastaoGarra	nenhum	nenhum
relBastaoGarraSela	bastaoGarra, sela	nenhum	nenhum
relXCarretilha	X,carretilha	nenhum	nenhum
relBastaoUniversalCorda	bastaoUniversal,corda	nenhum	nenhum
relBastaoUniversalTorre	bastaoUniversal,torre	nenhum	nenhum
relEstropoCorda	estropo,corda	eletrocutado	morte
relEstropoIsoladorNovo	estropo,isoladorNovo	nenhum	nenhum
relBastaoUniversalSela	universal,sela	nenhum	nenhum
relBastaoGarraTorre	bastaoGarra,torre	nenhum	nenhum
relBastaoUniversalEstropo	bastaoUniversal,estropo	nenhum	nenhum
relXColar	X,colar	nenhum	nenhum
relParafusoTorre	parafuso,torre	eletrocutado	morte
relCondutivimetroCorda	condutímetro,corda	nenhum	nenhum
relCondutivimetroBastaoUniversal	condutímetro,bastaoUniversal	nenhum	nenhum
relCondutivimetroBastaoGarra	condutímetro,bastaoGarra	nenhum	nenhum
relCondutivimetroSoquete	condutímetro,soquete	nenhum	nenhum

Tabela 8: Descrição das entidades em função das relações

As tabelas 9,10 e 11 apresentam a relação $affectsOtherRelations(r_k, r_n)$ onde r_k é representado pela coluna relacionamento-errado e r_n é representado pela coluna relacionamento-afetado.

relacionamento-errado	relacionamento-afetado
relXCpacete	relBastaoGarraCondutor
relXCpacete	relCordaEstropo
relXCpacete	relChaveCatracaParafuso
relXCpacete	relParafusoConector
relXCpacete	relSoqueteParafuso
relXCpacete	relXCorda
relXCpacete	relEstropoCorda
relXOculos	relBastaoGarraCondutor
relXOculos	relCordaEstropo
relXOculos	relChaveCatracaParafuso
relXOculos	relParafusoConector
relXOculos	relSoqueteParafuso
relXOculos	relXCorda
relXOculos	relEstropoCorda
relXLuva	relBastaoGarraCondutor
relXLuva	relCordaEstropo
relXLuva	relChaveCatracaParafuso
relXLuva	relParafusoConector
relXLuva	relSoqueteParafuso
relXLuva	relXCorda
relXLuva	relEstropoCorda
relXBotas	relBastaoGarraCondutor
relXBotas	relCordaEstropo
relXBotas	relChaveCatracaParafuso
relXBotas	relParafusoConector
relXBotas	relSoqueteParafuso
relXBotas	relXCorda
relXBotas	relEstropoCorda
relXPano	relBastaoGarraCondutor

Tabela 9: Define o impacto que o erro em um relacionamento gera em outro relacionamento

relacionamento-errado	relacionamento-afetado
relXPano	relCordaEstropo
relXPano	relChaveCatracaParafuso
relXPano	relParafusoConector
relXPano	relSoqueteParafuso
relXPano	relXCorda
relXPano	relEstropoCorda
relPanoGlicerina	relBastaoGarraCondutor
relPanoGlicerina	relCordaEstropo
relPanoGlicerina	relChaveCatracaParafuso
relPanoGlicerina	relParafusoConector
relPanoGlicerina	relSoqueteParafuso
relPanoGlicerina	relXCorda
relPanoGlicerina	relEstropoCorda
relPanoCorda	relCordaEstropo
relPanoCorda	relXCorda
relPanoCorda	relEstropoCorda
relPanoBastaoUniversal	relBastaoGarraCondutor
relPanoBastaoUniversal	relChaveCatracaParafuso
relPanoBastaoUniversal	relParafusoConector
relPanoBastaoUniversal	relBastaoGarraCondutor
relPanoSoquete	relBastaoGarraCondutor
relPanoSoquete	relCordaEstropo
relPanoSoquete	relChaveCatracaParafuso
relPanoSoquete	relParafusoConector
relPanoSoquete	relSoqueteParafuso
relPanoSoquete	relXCorda
relPanoSoquete	relEstropoCorda
relCondutivimetroCorda	relBastaoGarraCondutor

Tabela 10: Define o impacto que o erro em um relacionamento gera em outro relacionamento

relacionamento-errado	relacionamento-afetado
relCondutivimetroCorda	relCordaEstropo
relCondutivimetroCorda	relChaveCatracaParafuso
relCondutivimetroCorda	relParafusoConector
relCondutivimetroCorda	relSoqueteParafuso
relCondutivimetroCorda	relXCorda
relCondutivimetroCorda	relEstropoCorda
relCondutivimetroCorda	relParafusoTorre
relPanoBastaoUniversal	relBastaoGarraCondutor
relPanoBastaoUniversal	relChaveCatracaParafuso
relPanoBastaoUniversal	relParafusoConector
relPanoBastaoUniversal	relParafusoTorre
relPanoBastaoUniversal	relBastaoGarraCondutor
relPanoSoquete	relBastaoGarraCondutor
relPanoSoquete	relCordaEstropo
relPanoSoquete	relChaveCatracaParafuso
relPanoSoquete	relParafusoConector
relPanoSoquete	relSoqueteParafuso
relPanoSoquete	relXCorda
relPanoSoquete	relEstropoCorda
relPanoSoquete	relParafusoTorre
relCondutivimetroCorda	relBastaoGarraCondutor
relCondutivimetroCorda	relCordaEstropo
relCondutivimetroCorda	relChaveCatracaParafuso
relCondutivimetroCorda	relParafusoConector
relCondutivimetroCorda	relSoqueteParafuso
relCondutivimetroCorda	relXCorda
relCondutivimetroCorda	relEstropoCorda
relCondutivimetroCorda	relParafusoTorre

Tabela 11: Define o impacto que o erro em um relacionamento gera em outro relacionamento por mudar a possibilidade de algo errado acontecer.

As tabelas 12, 13, 14 e 15, apresentam a relação $hasObligation(\rho_m, g_i)$ onde ρ_m é representado pela coluna papel e g_i é representado pela coluna objetivo.

papel	objetivo
executor1	g0
executor2	g0
executor3	g0
executor4	g0
executor5	g0
supervisor	g0
supervisor	gSupervisor
executor1	g1
executor2	g1
executor1	g2
executor2	g2
executor1	g3
executor2	g2
executor1	g4
executor2	g4
executor1	g5
executor2	g5
executor3	g6
executor4	g6
executor5	g6
executor3	g7
executor4	g7
executor5	g7
executor3	g8
executor4	g8
executor5	g8
executor3	g9
executor4	g9
executor5	g9

Tabela 12: Objetivos que devem ser atingidos pelo agente que assumir um dada função

papel	objetivo
executor3	g10
executor4	g10
executor5	g10
executor3	g11
executor4	g11
executor5	g11
executor1	g12
executor2	g12
executor3	g12
executor4	g12
executor1	g13
executor2	g13
executor3	g13
executor4	g13
executor1	g14
executor2	g14
executor3	g14
executor4	g14
executor2	g15
executor3	g15
executor4	g15
executor5	g15
executor2	g16
executor3	g16
executor4	g16
executor5	g16
executor1	g17

Tabela 13: Objetivos que devem ser atingidos pelo agente que assumir um dada função

role	g
executor3	g17
executor4	g17
executor5	g17
executor1	g18
executor3	g18
executor4	g18
executor5	g18
executor1	g19
executor3	g19
executor4	g19
executor5	g19
executor1	g20
executor3	g20
executor4	g20
executor5	g20
executor1	g21
executor3	g21
executor4	g21
executor5	g21
executor1	g22
executor2	g22
executor3	g22
executor5	g22
executor1	g23
executor2	g23
executor3	g23

Tabela 14: Objetivos que devem ser atingidos pelo agente que assumir um dada função

role	g
executor5	g23
executor1	g24
executor2	g24
executor3	g24
executor5	g24
executor1	g25
executor2	g25
executor3	g25
executor4	g25
executor1	g26
executor2	g26
executor3	g26
executor4	g26
executor1	g27
executor2	g27
executor3	g27
executor4	g27
executor5	g27

Tabela 15: Objetivos que devem ser atingidos pelo agente que assumir um dada função

A tabela 16 apresenta as entidades que constituem os conjuntos **eg**.

entidades	eg
capacete,óculos,roupagem,luvas,botas $X = \{\text{agentes em relação aos objetivos}\}$	eg0
pano,glicerina,carretilha,bastaoUniversal,corda,bastaoGarra, $X = \{\text{agentes em relação aos objetivos}\}$	eg1
pano,glicerina,carretilha,bastaoUniversal,corda,bastaoGarra,condutímetro, $X = \{\text{agentes em relação aos objetivos}\}$	eg2
sela,colar $X = \{\text{agentes em relação aos objetivos}\}$	eg3
colar,bastaoGarra $X = \{\text{agentes em relação aos objetivos}\}$	eg4
corda,bastaoGarra,bastaoGarraTorre,condutor $X = \{\text{agentes em relação aos objetivos}\}$	eg5
bastaoGarra,sela $X = \{\text{agentes em relação aos objetivos}\}$	eg6
sela,colar $X = \{\text{agentes em relação aos objetivos}\}$	eg7
sela,bastaoUniversal,Colar, $X = \{\text{agentes em relação aos objetivos}\}$	eg8
bastaoUniversal,carretilha, $X = \{\text{agentes em relação aos objetivos}\}$	eg9
corda,bastaoUniversal,corda,torre, $X = \{\text{agentes em relação aos objetivos}\}$	eg10
bastaoUniversal,corda,colar,sela $X = \{\text{agente que tenta alcançar o objetivo}\}$	eg11
colar, $X = \{\text{agentes em relação aos objetivos}\}$	eg12
bastaoUniversal,estropo,isoladorVelho $X = \{\text{agentes em relação aos objetivos}\}$	eg13
bastaoUniversal,corda,estropo $X = \{\text{agentes em relação aos objetivos}\}$	eg14
chaveCatraca,bastaoUniversal,prafuso $X = \{\text{agentes em relação aos objetivos}\}$	eg15
bastaoSoquete,parafuso, $X = \{\text{agentes em relação aos objetivos}\}$	eg16
bastaoGarra,condutorcorda $X = \{\text{agentes em relação aos objetivos}\},$	eg17
colar, $X = \{\text{agentes em relação aos objetivos}\},$	eg18
chaveCatraca,bastaoUniversal,prafusobastaoSoquete,parafuso,torre $X = \{\text{agentes em relação aos objetivos}\}$	eg19
corda $X = \{\text{agentes em relação aos objetivos}\}$	eg20
estropo, isoladorNovo, $X = \{\text{agentes em relação aos objetivos}\}$	eg21
bastaoUniversal,corda,estropo $X = \{\text{agentes em relação aos objetivos}\}$	eg22
corda $X = \{\text{agentes em relação aos objetivos}\}$	eg23
chaveCatraca,bastaoUniversal,prafusobastaoSoquete,parafuso,torre $X = \{\text{agentes em relação aos objetivos}\}$	eg24
bastaoGarra,condutorcorda $X = \{\text{agentes em relação aos objetivos}\},$	eg25
chaveCatraca,bastaoUniversal,prafuso $X = \{\text{agentes em relação aos objetivos}\}$	eg26
sela,colar,bastaoGarra,bastaoUniversal,bastaoSoquete,corda,carretilha,chaveCatraca,torre,condutor	eg27

Tabela 16: Entidades que formam os conjuntos eg_n . Cada conjunto destes estão relacionados com um objetivo e determinam as entidades necessárias para que o mesmo tenha codição de ser alcançado.

As tabelas 17,18 apresentam as relações que constituem os conjuntos **rg**.

relacionamentos	rg
relXcapacete relXoculos relXroupagem relXluva relXbotas	rg0
relXPano relPanoGlicerina relPanoCorda relPanoBastaoUniversal relPanoBastaoGarra relPanoSoquete	rg1
relCondutivimetroCorda relCondutivimetroBastaoUniversal relCondutivimetroBastaoGarra relCondutivimetroSoquete	rg2
relCondutivimetro	rg3
relXBastaoGarra relXcolarBastaoGarra	rg4
relXBastaoGarra relXCordarelCordaBastaoGarra relBastaoGarraTorre relBastaoGarraCondutor	rg5
relBastaoGarraSela relXBastaoGarra relXSela	rg6
relXSela relXcolar relTorreSela	rg7
relBastaoUniversalcolar relXBastaoUniversal	rg8
relXBastaoUniversal relXCarretilha relBastaoUniversalCarretilha	rg9
relXCorda relXBastaoUniversal relBastaoUniversalCorda relBastaoUniversalTorre	rg10
relXCorda relXBastaoUniversal relXcolar relBastaoUniversalcolar relBastaoUniversalSela	rg11
relXcolar	rg12
relXBastaoUniversal relBastaoUniversalEstropo relEstropoIsoladorVelho	rg13
relXBastaoUniversal relBastaoUniversalCordarelCordaEstropo relEstropoCorda	rg14
relChaveCatracaBastaoUniversal relXChaveCatraca relXBastaoUniversal relChaveCatracaParafuso	rg15
relXBastaoSoquete relSoqueteParafuso	rg16
relXCorda relCordaBastaoGarra relBastaoGarraCondutor	rg17
relXcolar	rg18
relChaveCatracaBastaoUniversal relXChaveCatraca relXBastaoUniversal relChaveCatracaParafuso relParafusoTorre relXBastaoSoquete relSoqueteParafuso	rg19
relXCorda	rg20
relXEstropo relEstropoIsoladorNovo	rg21
relXBastaoUniversal relBastaoUniversalCorda relCordaEstropo relEstropoCorda	rg22
relXCorda	rg23

Tabela 17: Relacionamentos que formam os conjuntos rg_n . Cada conjunto rg_n está relacionado com um objetivo A relação entre rg_n e $goal_m$ determina os relacionamentos necessários para que um dado objetivo tenha condição de ser atingido.

relacionamentos	rg
relChaveCatracaBastaoUniversal relXChaveCatraca relXBastaoUniversal relChaveCatracaParafuso relParafusoTorrerelXBastaoSoquete relSoqueteParafuso	rg24
relXCorda relCordaBastaoGarra relBastaoGarraCondutor	rg25
relChaveCatracaBastaoUniversal relXChaveCatraca relXBastaoUniversal relChaveCatracaParafuso	rg26
relXSela relXColarrelXBastaoGarrarelXBastaoUniversal relXBastaoSoquete relXCorda relXCarretilha relXChaveCatraca relColarBastaoGarra relCordaBastaoGarra relBastaoGarraTorre relBastaoGarraCondutor relBastaoUniversalCarretilha relBastaoGarraSela relBastaoUniversalSela relSelaColar relTorreSela relBastaoUniversalCorda relBastaoGarraCorda	rg27

Tabela 18: Relacionamentos que formam os conjuntos rg_n . Cada conjunto rg_n está relacionado com um objetivo A relação entre rg_n e $goal_m$ determina os relacionamentos necessários para que um dado objetivo tenha condição de ser atingido.

A tabela 19 apresenta as condições que constituem os conjuntos **cg**.

condições	cg
umidade70,noVento,noChuva,sol	cg1

Tabela 19: Todas as condições que constituem o conjunto cg_n . Este conjunto está relacionando com um ou mais objetivos e determina quais são as condições que devem ser mantidas para que o agente tenha uma situação razoável para tentar alcançar um certo objetivo

As tabelas 20 e 21 definem o predicado $hasRelation(g_i, rg_n)$ onde a coluna objetivo é representada por g_i , define o predicado $hasEntity(g_i, eg_m)$ e o predicado $hasCondition(g_i, cg_n)$.

objetivo	rg	eg	cg
goal0	rg0	eg0	cg1
goal1	rg1	eg1	cg1
goal2	rg2	eg2	cg1
goal3	rg3	eg3	cg1
goal4	rg4	eg4	cg1
goal5	rg5	eg5	cg1
goal6	rg6	eg6	cg1

Tabela 20: Define a relação entre os objetivos, conjuntos rg_n , eg_n e cg_n

objetivo	rg	eg	cg
goal7	rg7	eg7	cg1
goal8	rg8	eg8	cg1
goal9	rg9	eg9	cg1
goal10	rg10	eg10	cg1
goal11	rg11	eg11	cg1
goal12	rg12	eg12	cg1
goal13	rg13	eg13	cg1
goal14	rg14	eg14	cg1
goal15	rg15	eg15	cg1
goal16	rg16	eg16	cg1
goal17	rg17	eg17	cg1
goal18	rg18	eg18	cg1
goal19	rg19	eg19	cg1
goal20	rg20	eg20	cg1
goal21	rg21	eg21	cg1
goal22	rg22	eg22	cg1
goal23	rg23	eg23	cg1
goal24	rg24	eg24	cg1
goal25	rg25	eg25	cg1
goal26	rg26	eg26	cg1
goal27	rg27	eg27	cg1

Tabela 21: Define a relação entre os objetivos, conjuntos rg_n , eg_n e cg_n

4.3 RACIOCÍNIO

Uma vez que o modelo foi definido e que foi implementado em um estudo de caso, é possível avaliar as conclusões possíveis dado certa condição de mundo. Essa seção demonstra como esse modelo cumpre o proposto por demonstrar certos raciocínios tendo em vista o caso de estudo em análise.

4.3.0.1 RACIOCÍNIO - 1

O raciocínio a seguir mostra o que acontece se o *agente4* esquecer de passar glicerina no pano, dado pela relação *relPanoGlicerina*, designados a ele no objetivo *g1*. Todos os predicados vinculados a essa situação são;

1. *hasRole(agente4, executor2)*
2. *hasObligation(executor2, g1)*

3. $hasRelation(g1, rg1)$
4. $relPanoCorda \in rg1$
5. $x = agente4$
6. $tryReach(agente4, g1)$
7. $affectsOtherRelations(relPanoGlicerina, relBastaoGarraCondutor)$
8. $affectsOtherRelations(relPanoGlicerina, relCordaEstropo)$
9. $affectsOtherRelations(relPanoGlicerina, relChaveCatracaPara fuso)$
10. $affectsOtherRelations(relPanoGlicerina, relPara fuso Conector)$
11. $affectsOtherRelations(relPanoGlicerina, relSoquetePara fuso)$
12. $affectsOtherRelations(relPanoGlicerina, relAgente4Corda)$
13. $affectsOtherRelations(relPanoGlicerina, relEstropoCorda)$

Com base nisso, as relações de implicabilidade resultantes são;

$$\begin{aligned}
 & hasRelation(g1, rg1) \wedge \neg isPresent(relPanoGlicerina) \\
 & \wedge (relPanoGlicerina \in rg1) \wedge tryReach(agente4, g1) \\
 & \rightarrow \\
 & violationRelation(agente4, g1, relPanoGlicerina)
 \end{aligned}$$

(46)

$$\begin{aligned}
 & violationRelation(agente4, g1, relPanoGlicerina) \\
 & \wedge affectsOtherRelations(relPanoGlicerina, relBastaoGarraCondutor) \\
 & \rightarrow \\
 & possibilityHappensBadEvent(relBastaoGarraCondutor)
 \end{aligned}$$

(47)

$$\begin{array}{l}
\text{violationRelation}(\text{agente4}, g1, \text{relPanoGlicerina}) \\
\wedge \text{affectsOtherRelations}(\text{relPanoGlicerina}, \text{relCordaEstropo}) \\
\rightarrow \\
\text{possibilityHappensBadEvent}(\text{relCordaEstropo})
\end{array} \quad (48)$$

$$\begin{array}{l}
\text{violationRelation}(\text{agente4}, g1, \text{relPanoGlicerina}) \\
\wedge \text{affectsOtherRelations}(\text{relPanoGlicerina}, \text{relPara fusoConector}) \\
\rightarrow \\
\text{possibilityHappensBadEvent}(\text{relPara fusoConector})
\end{array} \quad (49)$$

$$\begin{array}{l}
\text{violationRelation}(\text{agente4}, g1, \text{relPanoGlicerina}) \\
\wedge \text{affectsOtherRelations}(\text{relPanoGlicerina}, \text{relSoquetePara fuso}) \\
\rightarrow \\
\text{possibilityHappensBadEvent}(\text{relSoquetePara fuso})
\end{array} \quad (50)$$

$$\begin{array}{l}
\text{violationRelation}(\text{agente4}, g1, \text{relPanoGlicerina}) \\
\wedge \text{affectsOtherRelations}(\text{relPanoGlicerina}, \text{relAgente4Corda}) \\
\rightarrow \\
\text{possibilityHappensBadEvent}(\text{relAgente4Corda})
\end{array} \quad (51)$$

$$\begin{array}{l}
\text{violationRelation}(\text{agente4}, g1, \text{relPanoGlicerina}) \\
\wedge \text{affectsOtherRelations}(\text{relPanoGlicerina}, \text{relEstropoCorda}) \\
\rightarrow \\
\text{possibilityHappensBadEvent}(\text{relEstropoCorda})
\end{array} \quad (52)$$

$$\begin{aligned}
& \text{violationRelation}(\text{agente4}, g1, \text{relPanoGlicerina}) \\
& \wedge \text{affectsOtherRelations}(\text{relPanoGlicerina}, \text{relEstropoCorda}) \\
& \rightarrow \\
& \text{possibilityHappensBadEvent}(\text{relEstropoCorda})
\end{aligned} \tag{53}$$

4.3.0.2 RACIOCÍNIO - 2

O raciocínio a seguir mostra o que acontece se o pano não estiver presente no local da manutenção quando os eletricitistas alcançarem o $g1$. A lista a seguir exhibe todos os predicados necessários para averiguar essa condição de mundo.

1. $\text{hasRole}(\text{agente2}, \text{executor1})$
2. $\text{hasRole}(\text{agente3}, \text{executor1})$
3. $\text{hasRole}(\text{agente4}, \text{executor2})$
4. $\text{hasObligation}(\text{executor1}, g1)$
5. $\text{hasObligation}(\text{executor2}, g1)$
6. $\text{tryReach}(\text{agente2}, g1)$
7. $\text{tryReach}(\text{agente3}, g1)$
8. $\text{tryReach}(\text{agente4}, g1)$
9. $\text{hasEntity}(g1, eg1)$
10. $\text{pano} \in eg1$
11. $\neg \text{isPresent}(\text{pano})$

$$\begin{aligned}
& \text{hasEntity}(g1, eg1) \\
& \wedge \neg \text{isPresent}(\text{pano}) \\
& \wedge (\text{pano} \in eg1) \wedge \text{tryReach}(\text{agente2}, g1) \rightarrow \\
& \text{violationEntity}(\text{agent2}, g1, \text{pano})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& hasEntity(g1, eg1) \\
& \wedge \neg isPresent(pano) \\
& \wedge (pano \in eg1) \wedge tryReach(agente3, g1) \rightarrow \\
& \quad violationEntity(agente3, g1, pano)
\end{aligned}
\tag{55}$$

$$\begin{aligned}
& hasEntity(g1, eg1) \\
& \wedge \neg isPresent(pano) \\
& \wedge (pano \in eg1) \wedge tryReach(agente4, g1) \rightarrow \\
& \quad violationEntity(agente4, g1, pano)
\end{aligned}
\tag{56}$$

$$violationEntity(agente4, g1, pano) \rightarrow stopIn(g1) \tag{57}$$

4.3.0.3 RACIOCÍNIO - 3

O raciocínio a seguir mostra o que acontece se o *agente5* tentar alcançar o objetivo *g11* com a umidade relativa do ar superior a setenta por cento. A lista a seguir exhibe todos os predicados necessários para averiguar essa condição de mundo.

1. *hasRole(agente5, executor3)*
2. *hasObligation(executor3, g11)*
3. *tryReach(agente5, g11)*
4. *hasCondition(g11, cg1)*
5. *umidade70* \in *cg1*
6. $\neg isPresent(umidade70)$
7. *hasRisk(umidade70, eletrocutado, morte)*

$$\begin{aligned}
& hasCondition(g11, cg1) \\
& \wedge \neg isPresent(umidade70) \\
& \wedge umidade70 \in cg1 \\
& \wedge tryReach(agente5, g11) \rightarrow \\
& violationCondition(agente5, g11, umidade70)
\end{aligned} \tag{58}$$

$$\begin{aligned}
& violationCondition(agente5, g11, umidade70) \\
& \wedge hasRisk(umidade70, eletrocutado, morte) \rightarrow \\
& consequenceOfBadEvent(g11, agente5, eletrocutado, morte)
\end{aligned} \tag{59}$$

$$consequenceOfBadEvent(g11, agente5, eletrocutado, morte) \rightarrow stopIn(g11) \tag{60}$$

4.3.0.4 RACIOCÍNIO - 4

O raciocínio a seguir mostra o que acontece se o *agente3* errar a forma adequada de realizar o relacionamento *relChaveCatracaParaFuso* no objetivo *g15*. Os predicados envolvidos são;

1. *hasRole(agente4, executor2)*
2. *hasObligation(executor4, g15)*
3. *tryReach(agente4, g15)*
4. *hasRelation(g15, rg15)*
5. *relChaveCatracaParaFuso* \in *rg15*
6. $\neg isPresent(relChaveCatracaParaFuso)$
7. *hasRisk(relChaveCatracaParaFuso, eletrocutado, morte)*

$$\begin{aligned}
& hasRelation(g15, rg15) \\
& \wedge \neg isPresent(relChaveCatracaParafuso) \\
& \wedge (relChaveCatracaParafuso \in rg15) \\
& \wedge tryReach(agente4, g15) \\
& \rightarrow \\
& violationRelation(agente4, g15, relChaveCatracaParafuso)
\end{aligned} \tag{61}$$

$$\begin{aligned}
& violationRelation(agente4, g15, relChaveCatracaParafuso) \\
& \wedge hasRisk(relChaveCatracaParafuso, eletrocutado, morte) \\
& \rightarrow \\
& consequenceOfBadEvent(g15, agente4, eletrocutado, morte)
\end{aligned} \tag{62}$$

$$consequenceOfBadEvent(g15, agente4, eletrocutado, morte) \rightarrow stopIn(g15) \tag{63}$$

4.3.0.5 RACIOCÍNIO - 5

A finalidade dessa demonstração consiste em mostrar como um agente pode ser submetido a consequências ruins tendo em vista erros cometidos por outros profissionais. O raciocínio 1 mostra que o fato do *agente4* não conseguir realizar o relacionamento *relPanoGlicerina* resulta na violação *violationRelation(agente4, g1, relPanoGlicerina)*. Essa violação, por sua vez, impacta diversas outras relações, em que *possibilityHappensBadEvent(relParafusoConector)* é uma delas. Assim sendo, antes do *agente4* cometer o erro, a possibilidade da ocorrência de um evento ruim acontecer era 0, se o agente realizar a relação *relParafusoConector* sem cometer violação alguma. Contudo, após a ocorrência do erro cometido pelo *agente4*, existe uma possibilidade de um evento ruim acontecer na relação *relParafusoConector* mesmo que tudo seja feito de acordo com os conformes. Assim sendo, a lista de predicados e o raciocínio mostra o que acontece dado a seguinte situação; o possível evento ruim presente em *relParafusoConector* se torna uma realidade;

1. $relParafusoConector \in rg19$
2. $hasRelation(g19, rg19)$
3. $hasObligation(executor3, g19)$
4. $hasObligation(executor4, g19)$
5. $hasObligation(executor5, g19)$
6. $tryReach(agente5, g19)$
7. $tryReach(agente6, g19)$
8. $tryReach(agente7, g19)$
9. $hasRole(agente5, executor3)$
10. $hasRole(agente6, executor4)$
11. $hasRole(agente7, executor5)$
12. $hasRisk(relParafusoConector, eletrocutado, morte)$
13. $possibilityHappensBadEvent(relParafusoConector)$
14. $happensBadEvent(g19, relParafusoConector)$

$$\begin{aligned}
& possibilityHappensBadEvent(relParafusoConector) \\
& \quad \wedge happensBadEvent(relParafusoConector) \\
& \quad \quad \wedge hasRelation(g19, rg19) \\
& \quad \quad \quad \wedge (relParafusoConector \in rg19) \\
& \quad \quad \quad \wedge hasRisk(relParafusoConector, eletrocutado, morte) \\
& \quad \quad \quad \quad \wedge tryReach(agente5, g19) \\
& \rightarrow consequenceOfBadEvent(g19, agente5, eletrocutado, morte)
\end{aligned} \tag{64}$$

$$consequenceOfBadEvent(g19, agente5, eletrocutado, morte) \rightarrow stopIn(g19) \tag{65}$$

$$\begin{aligned}
& possibilityHappensBadEvent(relPara fus oConector) \\
& \quad \wedge happensBadEvent(relPara fus oConector) \\
& \quad \quad \wedge hasRelation(g19, rg19) \\
& \quad \quad \quad \wedge (relPara fus oConector \in rg19) \\
& \quad \quad \quad \wedge hasRisk(relPara fus oConector, eletrocutado, morte) \\
& \quad \quad \quad \quad \wedge tryReach(agente6, g19) \\
& \rightarrow consequenceOfBadEvent(g19, agente6, eletrocutado, morte)
\end{aligned} \tag{66}$$

$$consequenceOfBadEvent(g19, agente6, eletrocutado, morte) \rightarrow stopIn(g19) \tag{67}$$

$$\begin{aligned}
& possibilityHappensBadEvent(relPara fus oConector) \\
& \quad \wedge happensBadEvent(relPara fus oConector) \\
& \quad \quad \wedge hasRelation(g19, rg19) \\
& \quad \quad \quad \wedge (relPara fus oConector \in rg19) \\
& \quad \quad \quad \wedge hasRisk(relPara fus oConector, eletrocutado, morte) \\
& \quad \quad \quad \quad \wedge tryReach(agente7, g19) \\
& \rightarrow consequenceOfBadEvent(g19, agente7, eletrocutado, morte)
\end{aligned} \tag{68}$$

$$consequenceOfBadEvent(g19, agente7, eletrocutado, morte) \rightarrow stopIn(g19) \tag{69}$$

4.3.0.6 RACIOCÍNIO - 6

Esse raciocínio tem a finalidade de mostrar como se dá os raciocínios para quando se faz necessário verificar se um objetivo foi atingido. O objetivo $g23$ deve ser atingido pelos agentes com as funções de *executor1*, *executor2*, *executor3* e *executor5*. Isso implica dizer que

os agentes; *agente2*, *agente3*, *agente4*, *agente5* e *agente7* devem tentar alcançar esses resultados. Considerando que *agg23* são todos os agentes que tentaram alcançar o objetivo e *ago23* os agentes que são obrigados a fazer isso, segue o raciocínio;

1. $agente2 \in agg23$
2. $agente3 \in agg23$
3. $agente4 \in agg23$
4. $agente5 \in agg23$
5. $agente7 \in agg23$
6. $agente2 \in ago23$
7. $agente3 \in ago23$
8. $agente4 \in ago23$
9. $agente5 \in ago23$
10. $agente7 \in ago23$
11. $ago23 \subset agg23$
12. $\neg stopIn(g23, agg23)$

$$\neg stopIn(g23, agg23) \wedge (ago23 \subset agg23) \rightarrow isReached(g23) \quad (70)$$

4.3.0.7 RACIOCÍNIO - 7

O raciocínio para o caso onde *agente1* tente alcançar o objetivo *g23*.

1. $hasRole(agente1, supervisor)$
2. $hasObligation(agente1, g23) \rightarrow F$

Isso implica uma afirmação falsa, então esse mundo não é possível segundo o modelo implementado para este estudo de caso.

4.4 VALIDAÇÃO

A validação dessa implementação foi feita usando *Prolog*, uma linguagem de programação logico-matemática. Isso se deu por escrever tanto as regras como as especificações dos predicados expostas em *Caso de Estudo* nesta linguagem de programação. A seguir há um exemplo da regra 24 escrita em Prolog.

```
hasPermission(RHO,GOAL) :- hasObligation(RHO,GOAL).
```

A seguir há um exemplo da especificação *hasRole(agente1,supervisor)* implementada em Prolog.

```
hasRole(agente1,supervisor).
```

A validação dos raciocínios em 4.3 é feita por meio "queries" ao sistema. Em Prolog isso é feito por escrever a especificação do implicador (*implicador* \rightarrow *implicado*) e por meio do algoritmo de *Backtracking*, é possível encontrar todos os predicados que são verdade. Por exemplo, para validar o Raciocínio 3 se faz necessário fazer as seguintes "queries": *? – stopIn(g1), ? – violationEntity(agente4,g1,pano), ? – violationEntity(agente3,g1,pano), ? – violationEntity(agent2,g1,pano)*. Se o programa retorna como verdade todos os predicados implicadores que se espera pela verificação analítica, então é razoável concluir que os raciocínios foram validados. Os sete raciocínios aqui expostos apresentaram o mesmo resultado na implementação em Prolog. Isso permitiu concluir que as regras foram usadas adequadamente para analisar como o sistema raciocina o estudo de caso.

5 DISCUSSÃO

O objetivo deste capítulo consiste em discutir os resultados desta pesquisa com base nos seguintes aspectos; comparação com outros modelos 5.1, conclusões sobre a inovação deste resultado (na seção 5.5) , e avaliar possíveis aplicações (em 5.6).

5.1 ANÁLISE COMPARATIVA

A análise comparativa é de suma importância para um estudo como este pois é por intermédio dela que se verifica a inovação do modelo. Para cumprir com esse propósito foram escolhidos as representações mais relevantes na área de sistemas multiagentes que são: *MOISE+* (HÜBNER et al., 2002), *Modelo presente no texto do Dastani* (DASTANI et al., 2009), o *V3S* (BAROT et al., 2013) e o modelo *NormMAS Framework* (CHANG; MENEGUZZI, 2016). Portanto, as próximas seções apresentam os seguintes aspectos: análise da estrutura do modelo para aqueles onde isso não foi feito, rastrear os conceitos mostrando os fundamentos dessa análise e comparar com a estrutura do modelo em análise neste estudo.

5.1.1 MODELO MOISE+

A estrutura deste modelo está presente na fundamentação teórica na seção 2.3 e é com base nisso que se pode afirmar a identificação dos seguintes conceitos: papel, grupos, objetivos, missões.

Tanto o *MOISE+* como a proposta deste estudo apresentam o mesmo conceito de papel que consiste na função do agente dentro de uma *SMA*. Contudo, a concepção por trás das relações com os demais conceitos é feita de forma diferente em cada modelo. No *MOISE+* um papel se relaciona com outro papel por meio do predicado *link* identificado níveis de autoridade. Isso não foi abordado neste modelo porque não era do interesse do domínio de estudo verificar como se dá as relações de autoridade entre os agentes uma vez que a natureza das violações e sanções em interesse podem ser escritas sem esse termo. O mesmo se dá com

o operador que corresponde a compatibilidade. Existe a possibilidade de discutir um caso onde a ocorrência de uma violação da natureza delimitada neste estudo se dá por conta de problemas no que diz respeito as concepções de autoridade (subordinado é orientado a fazer algo de forma inapropriada). Contudo, os pesquisadores deste estudo entendem que mesmo esses casos podem ser descritos pelo vocabulário em proposta, talvez não com a mesma expressividade. Isso se dá pelo fato de que a ocorrência de uma violação está associada ao objetivo em si e não a função do profissional. Por exemplo, considere a seguinte situação; Um agente A é supervisor de um agente B e aquele orienta este a fazer algo inapropriado sendo que este venha a sofrer consequências ruins por conta disso. Esse problema pode ser modelado da seguinte maneira;

1. $hasRole(agenteA, supervisor)$
2. $hasRole(agenteB, subordinado)$
3. $tryReach(agenteA, g_{instrucao})$
4. $tryReach(agenteB, g_{instrucao})$
5. $tryReach(agenteB, g_{execucao})$
6. $hasObligation(supervisor, g_{instrucao})$
7. $hasObligation(subordinado, g_{instrucao})$
8. $hasObligation(subordinado, g_{execucao})$
9. $nextGoal(g_{instrucao}, g_{execucao})$
10. $thereIsRelation(r_{passa-informacao}, agenteA, agenteB)$
11. $r_{passa-informacao} \in rg_{instrucao}$
12. $r_{executar} \in rg_{execucao}$
13. $hasRelation(g_{instrucao}, rg_{instrucao})$
14. $hasRelation(g_{execucao}, rg_{execucao})$
15. $happensBadEvent(r_{executar})$
16. $hasRisk(r_{executar}, cair, cs_{pernaQuebrada})$
17. $affectsOtherRelations(r_{passa-informacao}, r_{executar})$

Os raciocínios, portanto, são:

$$\begin{aligned}
 &hasRelation(g_{instrucao}, rg_{instrucao}) \wedge \neg isPresent(r_{passa-informacao}) \\
 &\quad \wedge (r_{passa-informacao} \in rg_{instrucao}) \\
 &\quad \wedge tryReach(agenteA, g_{instrucao}) \rightarrow \\
 &violationRelation(agenteA, g_{instrucao}, rg_{instrucao})
 \end{aligned} \tag{71}$$

$$\begin{aligned}
 &violationRelation(agenteA, g_{instrucao}, rg_{instrucao}) \wedge \\
 &affectsOtherRelations(r_{passa-informacao}, r_{executar}) \\
 &\rightarrow possibilityHappensBadEvent(r_{executar})
 \end{aligned} \tag{72}$$

$$\begin{aligned}
 &possibilityHappensBadEvent(r_{executar}) \wedge \\
 &\quad happensBadEvent(r_{executar}) \wedge \\
 &\quad hasRelation(g_{execucao}, rg_{execucao}) \wedge \\
 &\quad (r_{executar} \in rg_{execucao}) \\
 &\quad \wedge hasRisk(r_{executar}, cair, cs_{pernaQuebrada}) \wedge \\
 &\quad tryReach(agenteB, g_{execucao}) \\
 &\rightarrow consequenceOfBadEvent(g_{execucao}, agenteB, cair, cs_{pernaQuebrada})
 \end{aligned} \tag{73}$$

Portanto, as relações 71, 72 e 73 (o raciocínio que mostra $g_{instrucao}$ ser concluído não foi mostrado) demonstram que é possível verificar uma caso de violação por autoridade sem considerar as relações entre os papéis. Uma possível contestação a esse raciocínio reside no predicado $isPresent$ pois neste cenário $r_{passa-informacao}$ esteve presente na execução de $g_{instrucao}$. Contudo, esse predicado faz referência não somente as relações que não estão presentes bem como as relações que foram mal realizadas (não atingiram o propósito).

O conceito de grupo está presente no *MOISE+* mas não na proposta deste modelo. Isso recai na mesma condição do que se pretende demonstrar com o raciocínio 73 sendo que esse conceito não é necessário para os propósitos finais deste estudo.

Os fundamentos conceituais apresentados em ambos os modelos no que tange a objetivos são os mesmos, que consiste em critérios que devem ser atingidos pelos agentes. Contudo, o *MOISE+* lida com essa questão por tratar os objetivos em uma estrutura de grafos definido sub e super objetivos. Ainda nessa linha, o *MOISE+* trabalha operadores que relacionam super, subobjetivos que são; sequencial, paralelo e escolha. Apesar de ser uma ideia interessante, os pesquisadores entenderam que escrever os objetivos em termos do predicado *nextGoal* é abrangente, é simples e resolve o problema sendo este cenário ideal para uma primeira versão do modelo em proposta. Contudo, é de grande interesse investigar situações onde a abordagem adotada pelos pesquisadores não funciona a fim de ter de usar a estrutura em árvore presente no *MOISE+* e verificar como isso se dá no que tange aos demais elementos do modelo proposto por eles.

O conceito de *missão* está presente no *MOISE+* mas não no modelo proposto neste estudo. Isso se dá porque a ideia de missão diminui a granularidade da relação entre o agente com os seus objetivos. Consequentemente, a verificação de um evento em um dado objetivo necessita mais etapas de raciocínio. Por exemplo, se existe uma situação onde um dado agente com papel ρ_a tem uma missão onde $hasObligation(\rho_a, m_1)$ em que $m_1 = \{\dots, g_a, \dots\}$ para que se possa verificar um dado evento que ocorre em g_a , o raciocinador deverá antes consultar $hasObligation(\rho_a, m_1)$. Tendo em vista a granularidade das violações e sanções sobre os objetivos, os pesquisadores entendem ser apropriado para criar relações diretas entre o papel ρ_a com o objetivo g_1 isso elimina a quantidade de predicados que deve ser considerado nas relações de implicação. Se a linha adotada fosse a mesma do *MOISE+*, então seria necessário considerar o seguinte termo $g_i \in m_a$ e uma relação como 36 teria de ser escrita da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 &hasRole(ag_n, \rho_m) \wedge hasPermission(\rho_m, m_a) \wedge (g_i \in m_a) \wedge nextGoal(g_i, g_j) \wedge isReached(g_i) \\
 &\quad \rightarrow ableTryReach(ag_i, g_j) \\
 &ag_i, ag_n \in Agent, \rho_m \in Role, g_j \in Goal, g_i \in Goal, m_a \in Mission (74)
 \end{aligned}$$

O *MOISE+* não aborda os conceitos relacionados a norma, violação, sanção e possibilidades presentes na proposta deste estudo. Uma possível contestação dessa afirmação reside no fato de que *MOISE+* contem as relações deônticas que determinam permissões e obrigações aos agentes. Contudo, assim como na proposta deste estudo, essas relações são usadas para "dizer" ao agente o que ele deve fazer. De certa forma, é uma norma - mas que verifica apenas a execução do objetivo em si e não estabelece relações de violação ou sanção.

Então, frente ao *MOISE+* a inovação presente neste estudo reside no fato de que existe um vocabulário criado para especificar relações de violação, sanção e possibilidades em problemas onde agentes devem atuar de forma colaborativa para cumprir com um dado propósito.

5.2 MODELO PARA AGENTES NORMATIVOS DE *DASTANI*

A estrutura deste modelo está presente em 2.4 e por conta disso é possível concluir a existência dos seguintes conceitos: Agentes, Fatos, Efeitos, *Count-as Rules* que nesse texto será renomeado como Regras Padrões e Regras de Sanção. Por não ter um nome específico, o modelo será referido sempre como modelo *Dastani*.

A questão dos Agentes é algo compartilhado por ambos os modelos. Contudo, no modelo deste estudo o conceito de agente é tratado em termos mais "específicos" do que aquele presente no modelo *Dastani*. Essa afirmação é feita com base na quantidade de predicados que delimitam a ação de um agente em contraste há símbolos (notação *EBNF*) naquela representação de *Dastani*.

O conceito de Fatos está presente neste modelo, mas não sobre a mesma perspectiva. Isso, pois em *Dastani* esse termo é usado para referenciar qualquer tipo de fato que o modelador estiver interessado conceber. Contudo, neste estudo o grau de liberdade é reduzido apenas alguns fatos que são; condições, relações, riscos e consequências.

O conceito de Eventos não está presente neste modelo. Isso se deve ao fato de que neste modelo não existe nem mesmo uma única estrutura que possa ser considerada como semanticamente equivalente ao Evento. Tendo em vista o fato de que um Evento consiste numa mudança de estados dos Fatos, existe a possibilidade de considerar uma certa semelhança com os predicados. Contudo, um predicado apenas delimita se uma relação é Verdade. O mesmo acontece no que diz respeito as relações de implicação, pois apesar de delimitarem como corre a transição de estados do sistema como um todo, não existe segurança suficiente para afirmar que isso corresponde a concepção de Eventos. Deve haver predicados e relações de implicação específicos na tratativa dos "Fatos" para que exista algo semanticamente equivalente ao conceito de Eventos dentro do modelo proposto neste estudo. Como não há, logo não há Eventos.

O conceito de Regras Padrões está presente em ambos modelos (não com o mesmo nome). Isso, porque esse conceito define o que resulta em uma violação que é exatamente o que é feito nas regras 25, 26 e 27.

O mesmo acontece para o conceito de Regras de Sanção, cuja finalidade implica definir as consequências de uma violação que é algo presente em 28 e 29. A regra 33 não é

considerada como uma regra de sanção porque não delimita consequências negativas ao agente em si, diferente das outras duas.

Uma diferença pontual entre ambos modelos reside no fato de que a proposta desse estudo apresenta um vocabulário muito mais específico para delimitar uma dada condição e para tipos específicos de violações do que o modelo *Dastani*. Por conta disto, nesse estudo é possível encontrar conceitos como objetivo, papel, entidades, artefatos, risco, condição e consequência. Outro aspecto que deve ser levado em consideração consiste na análise de violações que não ocasiona em sanções, mas sim em possibilidades de prejudicar um outro agente que não possui responsabilidade na violação. Talvez seja possível delimitar uma situação assim usando o vocabulário do modelo *Dastani*, porém o modelo proposto neste estudo delimita uma estrutura específica para essa finalidade. Isso, pois - em *Dastani* o engenheiro teria de elaborar diversos conceitos que neste modelo estão prontos para o uso. Assim sendo, a inovação deste modelo consiste em um vocabulário com menor grau de liberdade para tratar de problemas de violação, sanção e possibilidades em casos onde agentes executam atividades com potencial risco de consequências negativas a integridade física deles.

5.3 MODELO V3S

V3S é um modelo com a finalidade de gerar ambientes para desenvolver treinamentos complexos em ambiente de realidade virtual visando atividades de risco e de emergência. O modelo é composto por três submodelos; *Domain Model*, *Activity Model* e *Risk Model* (BAROT et al., 2013). O *Domain Model* é o núcleo do sistema. Todos os objetos, ações e relações são descritos por uma ontologia. A figura 7 exibe a estrutura de classe desta ontologia.

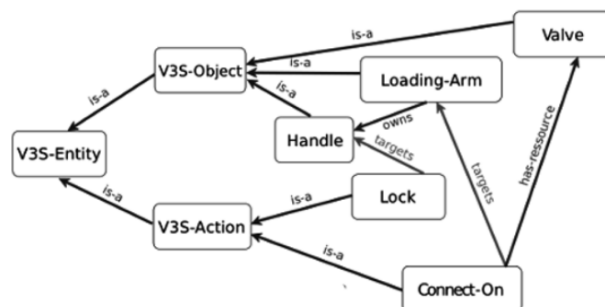


Figura 7: Ontologia que descreve *Domain Model* no model V3S (BAROT et al., 2013)

Activity Model é estruturado sobre uma linguagem de descrição conhecido por *ACTIVITY-DL*. Um dos elementos dessa linguagem é baseado na álgebra de Allen's que tem como finalidade definir raciocínios temporais (ALLEN, 1983). As relações definidas por

essa álgebra é dada por;

1. $X < Y$ onde X : ocorre antes de Y
2. $XmY, YmiX$: X encontra Y
3. $XoY, XoiY$: X sobrepõem a Y
4. $XsY, YsiX$: X começa Y
5. $XdY, YdiX$: X ocorre durante Y
6. $XfY, YfiX$: X termina junto com Y
7. $X = Y$ X é igual a Y

A *Activity Model* define construtores que são semanticamente equivalente a certos operadores da álgebra de Allen's. Esses construtores (atuantes sobre atividades) são definidos pela tabela 22

Construtor	Nome	Relações de Allen
IND	Independent	$A\{<, >, m, mi, o, oi, s, si, d, di, f, fi, =\}B$
SEQ	Sequential	$A\{<, >, m, mi\}B$
SEQ-ORD	Ordered	$A\{<, >, m\}B$
PAR	Parallel	$A\{o, oi, s, si, d, di, f, fi, =\}B$
PAR-SIM	Simultaneous	$A\{=\}B$
PAR-START	Start	$A\{s, si, =\}B$
PAR-END	End	$A\{f, fi, =\}B$

Tabela 22: Construtores da linguagem *ACTIVITY-DL* (BAROT et al., 2013)

As relações temporais entre as sub-atividades são especificadas por intermédio de construtores que são formalmente definidos no estudo (ALLEN, 1983). Essas relações são intermediadas pelo vocábulo *Pré-condição* que tem como por propósito apresentar o contexto sobre qual uma dada atividade deve ser executada. A tabela 23 apresenta esses contextos.

Categoria	Pré-condição	Descrição
Condições para perceber	Nomológico	Descreve o estado do mundo necessário para que a tarefa seja fisicamente realizável. Condições dependem diretamente das regras de ação definidas no modelo de domínio. Exemplo: Abre a porta se estiver fechada.
Condições para perceber	Regulamentar	Descreve o estado do mundo necessário para uma boa realização da atividade de acordo com prescrito em procedimento. Exemplo: Para desconectar o tubo, a proteções devem ser desgastado.
Condições para Examinar	Contextual	Descreve o estado de mundo em que a atividade é relevante. Quando essa condição é falsa, então a atividade deve ser ignorada. Exemplo: Limpar o tubo é relevante apenas se o tubo estiver sujo.
Condições para Examinar	Favorável	Descreve o estado de mundo onde a tarefa é preferencial sobre as demais. Essas condições ajudam a escolher entre várias tarefas quando existe uma alternativa para a realização de uma tarefa decomposta. Exemplo: se o parafuso estiver enferrujado, desarmar.

Tabela 23: As pré-condições possíveis para as atividades (BAROT et al., 2013)

No que tange a questões referentes a segurança e violação, a linguagem *ACTIVITY-DL* deve lidar com atividades em estados de alta degradação bem como com compromissos cognitivos que são um grande potencial para a geração de risco. Essa condição possibilita a verificação de erros nos seguintes aspectos: atividades de aprendizagem e demonstração de comportamentos similares tendo como base personagens virtuais (BAROT et al., 2013). Por conta disso, a linguagem *ACTIVITY-DL* incorpora os conceitos de BCTUs e BATUs cujos fundamentos científicos estão descritos em 2.5. Ambas tags trabalham com o fato de que, ao menos em partes, o profissional decide por cometer uma dada violação tendo em vista a inviabilidade (ou por não ser prático) efetuar a ação com base no que é definido pelos manuais.

Risk Models é a parte do modelo que define a análise de risco. Existe duas categorias; risco de análise clássico e método de análise de confiabilidade humana. A primeira categoria permite definir uma análise quantitativa de risco, contudo falha ao definir a complexidade dos resultados frente a fatores humanos. Em contrapartida, a segunda categoria considera fatores humanos, contudo falha em definir medidas objetivas sobre questões de segurança (BAROT et al., 2013). O V3S combina ambas situações usando a abordagem MELISSA (CAMUS et

al., 2012) (BAROT et al., 2013). Essa abordagem é baseada em três pontos (1) atividades relacionadas em cenários de acidentes, (2) descrição das tarefas de representação e (3) fatores influentes em potencial nas atividades. MELISSA representa os cenários de acidente por meio do gráfico *Bowtie*. Isso consiste na identificação de todos os cenários de acidentes bem como no provisionamento e uma listagem de barreiras para os mesmos. O risco aceitável consiste em escolhas que verificam o número e desempenho dessas barreiras. Os ponto central do gráfico de *Bowtie* consiste em eventos críticos, a parte a esquerda desse gráfico implica as causas do evento e a parte direita do mesmo corresponde as consequências do evento (BAROT et al., 2013), (CAMUS et al., 2012). Essa descrição pode ser analisada na figura 8.

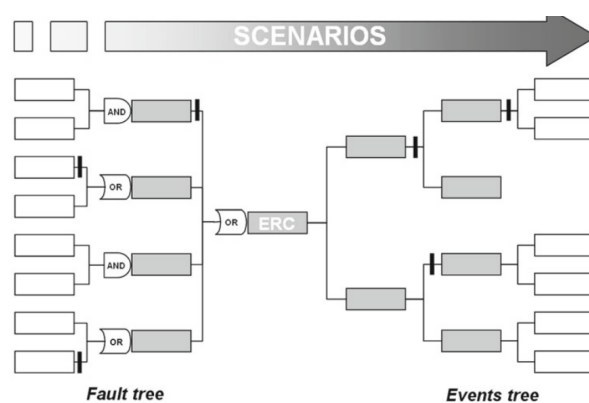


Figura 8: Gráfico de BowTie do texto (CAMUS et al., 2012)

Com o propósito de gerar reflexões no que tange aos riscos de dada atividade, o V3S trabalha com o conceito de personagens virtuais em um ambiente. Os raciocínios a cerca destes personagens são feitos usando um formalismo matemático denominado por redes de Petri, ou - mais especificamente máquinas de estado (BAROT et al., 2013) tendo como base simular a complexidade, flexibilidade e variabilidade de comportamentos que podem ser verificados em um ser humano. Por conta disso, os cientistas desse estudo decidiram modelar esse comportamento usando sistemas multi-agentes, mas especificamente um *framework* conhecido como MASVERP (tratado na seção 2.1).

O V3S tem como por finalidade providenciar um modelo que seja coerente, relevante, variado e eficiente em termos de cenário de treinamento com a finalidade de proporcionar atividades de aprendizagem. Esse modelo também apresenta um módulo que monitora cenários adaptativos conhecidos por *HERA*. Em vez de interromper o usuário de forma sistemática a fim de explicar os erros dele, o *framework* possibilita que o agente cometa erros e observe suas respectivas consequências no mundo virtual. Portanto, a dinâmica do cenário adaptativo permite trazer situações de treinamento relevantes.

HERA, por intermédio de regras baseadas em modelos pedagógicos, fornece o respaldo ao instrutor. Esse retorno é feito por intermédio dos seguintes critérios pedagógicos; escala de modificação - amplia determinadas partes de um objeto com a finalidade de melhorar a visualização, reificação - verificar como o aprendiz lida com determinados conceitos e abstrações em termos concretos, restrições nos limites das ações do aprendiz que consiste em envio de mensagem ao agente quando ele comete sérios erros e superposição de informações se o aprendiz cometer e argumentar sobre as consequências das ações. *HERA* é integrado ao módulo de reconhecimento que tem como finalidade usar técnicas que permitem redefinir as relações de atividades usando a linguagem *ACTIVITY-DL* se parametrizando nas ações, erros e violações. Essa parte do *V3S* é capaz de distinguir entre os tipos de erros, que são: 1 - erros relacionados a atividades, 2 - erros relacionados ao ato de cumprir com o objetivo, 3 - erros de *BATU*, 4 - erros de função e 5 - erros de ponto de vista.

De todos os modelos verificados neste estudo, o *V3S* é o maior e o mais complexo abrangendo uma série de áreas que não está no escopo da representação em construção neste estudo. Isso não tira um potencial para análise comparativa sendo que o primeiro aspecto a ser verificado consiste numa análise sobre *Domain Model* que define uma ontologia para representar todos os objetos, relações e ações. Sobre esse aspecto, ambos modelos possuem estruturas que se assemelham, mas a essa comparação é um tanto prejudicada tendo em vista que os termos usados em cada representação são diferentes. Outro ponto a ser considerado consiste no fato de que as verificações semânticas dos termos de *Domain Model* não são claramente evidenciadas em (BAROT et al., 2013) e isso também ocasiona em uma dificuldade de comparação.

Um dos termos presentes no *V3S* é o *V3S-Entity*. Esse vocábulo pode ser comparado, em partes, com o conjunto *Entity*. A explicação disso se deve ao fato de que o *V3S-Entity* possui uma relação denominada de *is a* com a classe *V3S-Object*. A relação *is a* denota semanticamente que todo o elemento pertencente a *V3S-Object* também é um elemento *V3S-Entity* o que, na representação proposta neste estudo denota uma relação de herança "em termos de UML" ou uma relação de subconjunto \subset . A figura presente em 7 denota que o termo *Valve* é um *V3S-Object*. O termo *Valve* que em português significa Válvula é algo que, para a representação que os pesquisadores desse estudo propõem, só pode ser definida como um artefato da classe *Artefact*. Logo, a relação $Artefact \subset Entity$ é equivalente a *V3S-Object is a V3S-Entity*.

Os termos *V3S-Object Artefact* podem ser dados como semanticamente semelhantes (apesar de terem relações diferentes). Contudo o mesmo não pode ser feito para *Entity* e *V3S-Entity*, apesar do raciocínio presente no paragrafo anterior. Isso se deve ao fato de que *V3S-*

Entity não abrange os Agentes do modelo como é o caso de *Entity*. Outro ponto consiste na relação *is a* entre *V3S-Entity* com *V3S-Action*. Antes se faz necessário verificar com qual terminologia aquela expressão se assemelha no modelo proposto neste estudo. Para isso se faz necessário analisar a figura 7 que apresenta *Connect-On* como sendo um *V3S-Action*, logo *V3S-Entity*. É interessante observar que *Connect-On* se relaciona tanto com o objeto *Loading-Arm* bem como com objeto *Valve*. Isso se assemelha em muito com o conceito de *Relation* que tem como por finalidade representar a relação entre dois objetos. Dado essas proposições, é possível concluir que *V3S-Action* é semelhante a *Relation*. Tendo em vista o fato que *Relation* não é um subconjunto de *Entity*, isso denota que *V3S-Entity* não é semanticamente semelhante a *Entity*.

O segundo ponto a ser comparado reside sobre o modelo *Activity Models* que basicamente consiste no uso da linguagem *ACTIVITY-DL*. O que existe de equivalente a isso na representação proposta neste estudo são os objetivos descrito por *goal* e o predicado *nextGoal(g_i, g_j)* o que permite expressar raciocínios de eventos que podem acontecer tanto em série como em paralelo. Em contrapartida a isso, *ACTIVITY-DL* permite expressar os seguintes raciocínios; tarefas independentes, tarefas sequenciais, tarefas que se iniciam mediante a uma solicitação (pedido ou ordem), tarefas paralelas, tarefas simultâneas, tarefas que se iniciam no mesmo instante e tarefas que são encerradas no mesmo instante. Portanto, em termos de relações entre tarefas o *V3S* apresenta uma profundidade de representação muito maior quando comparado com o modelo proposto neste estudo.

Parte das questões envolvendo erros, violações e risco tratadas no modelo proposto nesse estudo podem ser comparadas com aspectos da linguagem *ACTIVITY-DL*. A concepção e análise de risco de ambos os modelos apresentam uma abordagem totalmente diferente, pois enquanto aquele faz uso de técnicas tal como *BATUs* e *BCTUs* para verificar atividades e condições que se apresentam dentro de um dado limite, este modelo não se preocupa em fazer uma descrição desse gênero das questões envolvendo segurança. Sobre certos aspectos existe uma certa semelhança pois relações de violação tanto de condições como de relações podem ser entendidas como o limite do razoável no qual o profissional deve agir. Sobre essa condição, as violações de condição estão para os *BCTUs* e as violações de relações estão para os *BATUs*. Contudo, é importante deixar evidente que ambas representações se fundamentam e apresentam estruturas de semânticas e de sintaxes completamente diferentes.

O *V3S* aprofunda as análises de segurança em *Risk Model*. Essa parte do *V3S* podem ser comparadas com as consequências que os riscos ocasionam sobre os agentes. Enquanto o *V3S* faz uso de um *framework* complexo denominado por MELISSA que tem como por finalidade tratar cenários de acidentes usando gráfico de *Bowties*, o modelo proposto nesse estudo fornece

um vocabulário relativamente mais simples e baseado nos conceitos de norma, violação e sanção presentes em estudos como o (DASTANI et al., 2009). É interessante observar que muitos dos conceitos são os mesmos, tal como; riscos, consequências, relações de causalidades contudo os formalismos adotados são diferentes o que exprime raciocínios distintos. Por exemplo, situações onde um agente sofre consequências por algo que ele não fez podem ser especificadas com muito mais expressividade no estudo proposto neste trabalho do que no V3S. O mesmo se dá na avaliação que vinculam a ocorrência dos acidentes em relação aos artefatos e objetos presentes no ambiente.

Um ponto interessante do *Risk Model* consiste em uma representação MASVERP de agente *BDI* com o foco em Risco (ver em 2.1). O modelo proposto neste estudo não trabalha com essa abordagem porque não é o foco delimitar a representação e o comportamento dos agentes.

Tanto este modelo como V3S se preocupam em representar os mesmos cenários, gerar reflexões sobre as mesmas questões de definir e conduzir a uma análise de diversas condições existentes. Contudo, ambos os modelos adotam diferentes tipos de formalismos e articulam o vocabulário com aspectos distintos gerando diferenças bastante evidentes. Uma dessas diferenças reside na complexidade, sendo isso muito maior no V3S que no modelo em proposta devido ao fato da quantidade de conceitos e de relações sobre as quais o modelador deverá refletir ao usar essas representações para o caso. Outro ponto reside na expressividade pois o V3S apresenta maior grau disso nos seguintes aspectos; modelagem de atividade, condições limites onde os riscos são aceitáveis, cadeias de causalidades que resultam em acidentes, avaliação de questões didáticas e estados internos do agente. Já o modelo proposto neste estudo apresenta mais expressividade nos seguintes pontos; natureza dos erros cometidos pelos agentes em função das condições e componentes que estão presentes no ambiente, análise de como esses erros afetam a eles e a outros, análise de tipos de erros "violações" que ocasionam em consequências com natureza completamente diferente, consideração de questões estocásticas que afetam atividades de risco e o vínculo de todos os agentes, objetos e relações com os objetivos a serem atingidos. Outro aspecto que deve ser avaliado nessa comparação reside na metalinguagem usada para representar ambos modelos. A representação deste modelo adotou a teoria de conjuntos para escrever o modelo. Em contrapartida a isso, o V3S está escrito em linguagem natural, formalismo usado para escrever ontologias e no formalismo usado para escrever algoritmos procedurais (talvez isso resida no fato de que o V3S é conglomerado de outros modelos menores).

5.4 MODELO NORMMAS

NormMAS é um modelo usado para definir comportamento normativo de sistemas multiagentes (CHANG; MENEGUZZI, 2016). No que tange questões referentes ao comportamento normativo, o modelo trabalha com duas definições (CHANG; MENEGUZZI, 2016).

Definição 1. *Um norma é definida por meio de uma tupla $N = \langle \mu, \kappa, \chi, \tau, \rho \rangle$*

- $\mu \in \{obligation, prohibition\}$ representa as modalidades de norma.
- $\kappa \in \{action, state\}$ representa o tipo de *trigger* da condição.
- χ representa o conjunto de estados em que uma norma se aplica.
- τ representa a norma da condição de *trigger*
- ρ representa a sanção aplicada pela violação do agente.

A definição 1 pode ser compreendida sobre o seguinte exemplo;

Todos os imigrantes que possuem passaporte válido, devem ser aceitos. A falha resulta na perda de 5 créditos.

Dentro da definição 1, o exemplo fica;

$$\langle obligation, action, valid(Passport), accept(Passport), loss(5) \rangle \quad (75)$$

NormMAS define um *Registro de ação* que é dado pela definição 2.

Definição 2. *Um Registro de Ação é definido por meio de uma tupla $R = \langle \gamma, \alpha, \beta \rangle$*

- γ representa o agente executando uma ação;
- α representa a ação sendo executada pelo agente γ
- β representa os estados internos do agente γ no momento da execução.

Para demonstrar como se dá o uso dessa definição pode-se considerar a seguinte sentença;

O oficial John aprovou passport 3225. O passaporte 3225 é definido como validado.

Nessa sentença, *John* é o agente dado por γ , o ato de aprovar o passaporte é o γ que pode ser definido pelo predicado por *approve*(3225) e o estado de ser validado por ser dado pelo predicado *valid*(3225).

Usando a **Definição 2**, isso poder ser especificado da seguinte maneira;

$$\langle John, approve(3225), valid(3225) \rangle \quad (76)$$

O *NormMAS* trabalha com os mesmos conceitos de normas e sanções presentes em (DASTANI et al., 2009). Em relação a *Definição 1*, é possível observar conceitos de obrigação, proibição dado por μ e conceitos de sanção dado por ρ . Isso se assemelha muito as regras 25, 26, 27, 28 e 29 que definem uma dada proibição (pois essas regras trabalham sobre o que não deve ser feito) e uma dada sanção (que define uma punição).

No que tange a estrutura dos modelos, o *NormMAS* é mais simples e mais genérico com o foco em definir vocabulário para tratar qualquer tipo de comportamento normativo. Em contraste com isso, o modelo proposto nesse estudo é mais complexo, pois contem uma quantidade de conceitos muito maior, e é mais específico em relação a representar ação de pessoas, que devem trabalhar em grupo (exercendo atividades que apresentam riscos a elas) a fim de atingir um dado objetivo.

5.4.1 COMPARAÇÃO GENÉRICA ENTRE OS MODELOS

Tendo como base as análises feitas nas seções anteriores, é possível chegar na tabela 24 que apresenta uma análise comparativa dos modelos no que tange aos objetivos em interesse deste estudo tendo em vista a expressividade da representação. Por expressividade se entende capacidade de expressar, representar o objeto de interesse. Para essa análise foi feita a seguinte escala; nenhuma expressividade \prec pouco expressivo \prec expressivo \prec muito expressivo \prec altamente expressivo. O termo nenhuma expressividade não indica que é impossível definir a estrutura em observação dentro do modelo em voga, mas sim que o engenheiro de modelagem terá de criar uma estrutura conceitual grande e complexa além do que o modelo já fornece para permitir que essa estrutura seja representada. Sobre o mesmo aspecto reside pouco expressivo, contudo o modelo - neste caso - possui algumas estruturas pré-definidas que diminuem o esforço da especificação. O termo expressivo deixa claro que o modelo permite especificar o objeto de interesse sem que o engenheiro tenha de criar muitos atributos para o domínio

de interesse. O termo muito expressivo define que o modelo apresenta diversos conceitos específicos para representar o objeto em interesse, contudo ainda há margem para que o engenheiro de conhecimento tenha que criar um ou outro atributo. O termo altamente expressivo define o caso onde o modelo especifica o objetivo de interesse muito bem fazendo com que o engenheiro de conhecimento não tenha que definir nenhum critério conceitual a mais (ou terá de montar poucas definições).

Crítérios	MOISE+	DASTANI	V3S	NORMMAS	MODELO DESTA ESTUDO
Agente	pouco expressivo	pouco expressivo	muito expressivo	pouco expressivo	pouco expressivo
SMA	altamente expressivo	pouco expressivo	expressivo	pouco expressivo	expressivo
Artefato	nenhuma expressividade	pouco expressivo	expressivo	pouco expressivo	expressivo
Norma	nenhuma expressividade	altamente expressivo	pouco expressivo	altamente expressivo	altamente expressivo
Violação	nenhuma expressividade	altamente expressivo	pouco expressivo	altamente expressivo	altamente expressivo
Sanção	nenhuma expressividade	altamente expressivo	pouco expressivo	altamente expressivo	altamente expressivo
Risco	nenhuma expressividade	pouco expressivo	altamente expressivo	pouco expressivo	muito expressivo
P.O.A.E	nenhuma expressividade	pouco expressivo	pouco expressivo	pouco expressivo	altamente expressivo
Objetivos	muito expressivo	pouco expressivo	expressivo	pouco expressivo	muito expressivo
C.A	nenhuma expressividade	pouco expressivo	pouco expressivo	pouco expressivo	muito expressivo
I.AG.AR	nenhuma expressividade	pouco expressivo	pouco expressivo	pouco expressivo	muito expressivo
D.C.A	nenhuma expressividade	pouco expressivo	altamente expressivo	pouco expressivo	muito expressivo

Tabela 24: Análise comparativa sobre a expressividade desses modelos no que tange aos objetivos deste estudo. A sigla P.E.R significa Possibilidade de Algo Errado, a sigla C.A consiste em Condições Ambientais, a sigla I.AG.AR significa Interação entre Agente e Artefato e a sigla D.C.A significa Descrição de Cenário de Acidente

O critério **Agente** condiz numa representação dos estados internos que um agente pode ter. O critério **SMA** condiz na presença de elementos que são necessário para especificar um *Sistema Multiagente*. O critério **Artefato** condiz com elementos que correspondem a definição presente na seção 2.2. O critério de **Norma** corresponde a regras que devem ser acatadas pelos agentes. **Violação** define o que corresponde o não cumprimento de uma dada regra. **Sanção** implica penalidade que está sobre o agente. **Risco** consiste no evento ruim que tem um dado potencial de ocorrer sobre o agente. **P.O.A.E** significa Possibilidade de Ocorrer algo Errado e corresponde a expressar condições onde existe potencial de acontecer algo inapropriado sobre o agente mesmo que esse realize sua função com excelência. **Objetivos** implica alvos que devem ser atingidos pelos agentes. **C.A** consiste em condições ambientais que interagem com a atividade executada pelos agentes. **I.AG.AR** representa as interações entre agentes e artefatos. **D.C.A** - Descrição de Cenários de Acidentes, consiste na capacidade de desenvolver raciocínios a fim de representar cenários de acidentes.

As sub-seções anteriores em conjunto com a tabela 24 permite concluir que esse

trabalho é inovador no que tange a ter um vocabulário específico para representar cenários de risco e de acidentes (tanto sobre o responsável pelo acidente bem como a vítima) de atividades manuais usando, para isso, o conceito de sistema multiagente normativo. Esse vocabulário apresenta limitações cujas quais serão debatidas na próxima seção.

5.5 CONSISTÊNCIA DOS RESULTADOS

A discussão dos resultados que estão expostos nas sub-seções 4.1.1, 4.1.2, 4.1.4 foi feita na própria apresentação dos mesmos. Isso se deve a natureza desses resultados uma vez que não é possível realizar a exposição deles sem discutir os fundamentos conceituais que justifiquem a existência dos mesmos.

O mesmo não se aplica no texto presente em 4.2 e em 4.3 onde os resultados estão apenas expostos mas não foram discutidos. O texto a seguir fará uma discussão desses elementos apresentando as principais dificuldades que foram encontradas na realização desse estudo.

O primeiro ponto a ser analisado reside em escolher um caso de estudo que se adeque as condições do que se tem por interesse estudar. O caso em análise cumpre com essa finalidade pois apresenta um cenário onde profissionais usam ferramentas para trabalhar de forma colaborativa a fim de atingir um determinado objetivo. Não só isso, como esses profissionais são expostos a um dado risco e podem sofrer acidentes que advêm tanto de responsabilidade própria bem como responsabilidade do outro. Outro ponto que contribuiu para isso consiste no fato de que os pesquisadores têm acesso a profissionais da área de manutenção em linha viva tais como eletricitistas, técnicos e um engenheiro de manutenção. Isso possibilitou os pesquisadores entenderem a dinâmica da atividade numa profundidade que não seria possível ao analisar outro caso de estudo. Consequentemente houve um contorno de um dos maiores problemas desse tipo de trabalho que é a distância em termos de conhecimento que engenheiro de modelagem tem do domínio a ser modelado.

Apesar do problema de domínio do conhecimento ter sido contornado com um acesso fácil a profissionais da área, é digno de nota frisar que a compreensão da atividade propriamente dita não foi uma tarefa fácil e exigiu grande esforço dos pesquisadores. Muito possivelmente não seria viável compreender as atividades de linha viva sem a visita técnica para acompanhar um dado procedimento de manutenção, sem os documentos técnicos, sem a entrevista feita ao engenheiro de linha viva e sem o acesso a manuais técnicos da área.

O caso de estudo em análise é um cenário que é totalmente possível de ser factual,

contudo existe diversas outras possibilidades de organizar a mesma manutenção (ou até mesmo outros procedimentos de linha viva). Para a verificação dos modeladores esse cenário foi escolhido porque ele foi o caso mais bem estudado ao longo da pesquisa, porque cumpre com todos os critérios que são necessários para aplicar esse modelo e porque é o mais simples entre todas as situações levantadas pelos estudiosos.

A primeira fase consistiu em descrever a manutenção em termos de objetivos que as vezes são organizados em série e as vezes em paralelo. Não houve grandes dificuldades para fazer isso, pois essa atividade é claramente composta de subatividades. O que foi um ponto relativamente complicado de se verificar nesse estudo é que os profissionais não precisam executar os objetivos na estrutura em que o modelo foi apresentado. Inclusive, muitas vezes os técnicos planejam a manutenção de um jeito e ao chegar no ambiente de execução eles mudam o encadeamento dos objetivos. Há um número finito e relativamente pequeno (é difícil definir um número, mas as observações dos pesquisadores permitem concluir que 10 formas diferentes consiste numa posição um tanto conservadora) sobre como esses objetivos podem ser organizados e isso ameniza a falta de previsibilidade de como a manutenção será realizada.

O problema da organização dos objetivos pode ser resolvida de duas maneiras diferentes. Uma delas o engenheiro de manutenção modela o problema para todos os cenários possíveis. Portanto, se houver 10 formas diferentes de organizar esses objetivos, o engenheiro deverá refletir a cerca dessas 10 formas. Outra forma consiste em definir todas as relações possíveis que o predicado $nextGoal(g_i, g_j)$ permite em uma única estrutura. Nessa implementação do modelo o agente, por intermédio dos seus estados internos, escolhe a qual objetivo ele deverá tentar alcançar. Essa questão não foi levada em consideração no estudo de caso em análise porque os pesquisadores estavam interessados em realizar uma prova de conceito sobre a possibilidade de usar este modelo em um problema real. É possível argumentar que aquele arranjo de objetivos não é o único possível, contudo não deixa de ser um arranjo real e que pode ser muito bem executado pelos profissionais.

Os pesquisadores desse estudo não sabem afirmar se o arranjo dos objetivos interferem em como a especificação do predicado $affectsOtherRelations(r_k, r_n)$ é afetada. Para que isso seja analisado se faz necessário aplicar esse modelo para diversas situações diferentes onde todas devem apresentar a problemática do arranjo de objetivos. Se em uma dessas situações a especificação do predicado $affectsOtherRelations(r_k, r_n)$ mudar, então a proposição "o arranjo de objetivos afeta o predicado $affectsOtherRelations(r_k, r_n)$ " é verdadeira, contudo se não mudar não é possível afirmar que essa proposição é falsa.

A concepção de um conceito de papel e a concepção da relação entre o agente e o seu

papel foram muito adequados para as análises desse modelo. Essa análise se deu por observar como se dá a distribuição dos objetivos aos agentes. Isso, pois na manutenção em linha viva todos os profissionais são tidos como executores, contudo existe uma distribuição de tarefas tendo em vista o conhecimento e a experiência de cada profissional ali envolvido. Portanto, para enquadrar essa questão nos moldes do modelo em análise se fez necessário encontrar um padrão de como os objetivos são distribuídos em função das atividades dos agentes. Com base nisso os engenheiros de modelagem concluíram o que está exposto na tabela 3.

Os conceitos de artefato e de relação foram adequados para esse caso de estudo não tendo a necessidade de definir nenhuma outra concepção para isso. Todo o rol de ferramentas e de equipamentos foram definidos como artefatos. A fim de tornar a modelagem mais expressiva os pesquisadores poderiam criar subconjuntos de artefatos definindo um apenas para tratativa de ferramentas e outro apenas para tratativa de equipamentos. Isso não foi feito porque os pesquisadores não quiseram induzir os leitores desse estudo ao erro por entender que essa divisão pertencem a estrutura conceitual do modelo propriamente dito. Uma taxonomia dessas seria adequada apenas para esse caso em estudo, caso contrário diminuiria o poder de generalização que esse modelo se propõem.

A tabela 6 apresenta as condições que estão relacionadas ao meio. Esse conceito também se apresentou muito apropriado ao modelo porque uma condição não é um agente e não é um artefato mas é algo que está presente no meio da atividade e interfere com grande intensidade no andamento dos processos, portanto desconsiderar esse conceito ou compacta-lo como parte de outras estruturas implicaria uma representação míope da realidade. Os pesquisadores entenderam que essas condições são o suficiente para poder realizar a representação desse modelo.

As tabelas 6, 7 e 8 apresentam a relação entre entidade ou condição com o risco e a consequência. Nesse estudo foi considerado apenas um único risco, que é o de ser eletrocutado e uma única consequência que é a morte. Contudo, há considerações que devem ser feitas no que tange a realidade, pois essa atividade exhibe outros riscos tais como; "queda", "animais peçonhentos", "queimadura" entre outros que, assim como "eletrocutado" podem apresentar outras consequências além da morte. Esses riscos a mais não foram considerados no caso em estudo porque a prova de conceito exibida na subseção 4.3 puderam ser feitas sem a necessidade deles. Outro ponto que corroborou com isso consiste no fato de que os engenheiros de modelagem estavam interessados em obter primeiramente uma versão mais simples do modelo para então, se necessário, torná-lo mais complexo. Isso implica realizar algumas escolhas pragmáticas e uma delas consiste na verificação de qual risco é o mais importante e o mais

temeroso na atividade. A análise com os profissionais mostram que o risco de ser eletrocutado é o principal e é mais preocupante ao executar uma atividade de manutenção em linha viva. Outro ponto reside na verificação das consequências desse risco o que remete a uma pergunta; Um profissional de linha viva ao executar manutenção em uma subestação de energia pode se envolver em um acidente onde ele é eletrocutado e ainda sim sobreviver? A resposta a essa pergunta é que sim, porém muito improvável. Descargas de equipamentos que operam a 69 kV 1500 kVA (o que é relativamente baixo) costumam matar o profissional eletrocutado mesmo que os disjuntores atuem na ordem de milissegundos. Portanto, existe outras consequências além da morte tal como; queimaduras e perda de membros contudo na grande maioria dos casos o profissional recairá no óbito.

As tabelas 7 e 8 apresentam como se dá a relação entre duas entidades. Essa estrutura se tornou muito útil para fazer diversos raciocínios interessantes que estão presentes nas regras. Portanto os pesquisadores concluem que ela foi adequada, necessária e importante para essa representação e para esse caso de estudo, contudo ela tornou a especificação da modelagem um processo muito custoso porque o engenheiro de modelagem teve de refletir em todas as relações possíveis que são executadas na atividade e, depois disso, teve que ver quais relações se enquadravam em cada objetivo. Esse custo também está presente nos raciocínios que devem ser feitos pois dependendo da situação há uma série de relações que devem ser avaliadas. Essa questão nos permite refletir sobre a viabilidade de um modelo assim para situações onde o número de artefatos bem como o número de relações entre esses artefatos tendem ao infinito. Contudo, o fato do engenheiro de modelagem ter de refletir sobre todas as relações bem como seus respectivos riscos permite a realização de uma análise muito mais profunda da atividade e de como a segurança dos profissionais pode ser afetada de situação para situação.

As tabelas 9, 10 e 11 apresentam a especificação do predicado *affectsOtherRelations*(r_k, r_n). Esse foi um problema sério para os pesquisadores porque houve muitas tentativas de tentar resolver essa questão sem ter que abstrair tanto quanto esse predicado faz. Contudo, realizar um mapeamento minucioso de como se dá as atividades resulta em uma carga de especificação muito grande e que pode apresentar diversas fragilidades no que tange a uma certa consistência lógica (ou seja, um sistema que se contradiz). Portanto, em uma primeira abordagem admitir que a não execução (ou a mal execução) de uma relação afeta negativamente outra relação implica uma visão pragmática e simples para resolver o problema onde um electricista se envolve em um acidente sobre o qual ele não tem responsabilidade algum. Ainda sim, os pesquisadores desse estudo admitem que esse é um ponto do modelo a ser melhorado a fim de se obter representações consistentes, expressivas e em com relativo baixo custo computacional.

As tabelas 16, 17, 18 e 19 apresentam a compactação das relações e condições cujos vínculos com objetivos foram exibidos, posteriormente, nas tabelas 20 e 21. Nesse caso de estudo esse procedimento foi muito apropriado porque permitiu observar de forma clara as entidades, condições e relações necessárias para que determinado objetivo possa ser cumprido. Contudo existe um problema nessa abordagem que foi observado após a realização da especificação desse caso de estudo e reside no fato de que esse modelo abre margem para o modelador entrar em contradição com certa facilidade. Isso pode ser demonstrado com o seguinte exemplo; em dada atividade, um objetivo g_1 é constituído por e_1, e_2, e_3 e é formado pelas relações $thereIsRelation(r_{12}, e_1, e_2)$ e $thereIsRelation(r_{23}, e_2, e_3)$. Supondo que ao executar essa modelagem, o modelador faça o seguinte: $rg_1 = \{r_{12}, r_{23}\}$ e $eg_1 = \{e_1, e_2\}$, $hasEntity(g_1, eg_1)$ e $hasRelation(g_1, rg_1)$. Nesse caso o modelador se contradiz porque ele está considerando que rg_{23} é uma relação entre e_2, e_3 que deve estar relacionada a g_1 , mas e_3 não está relacionada a g_1 . A especificação resulta em uma contradição entre os predicados $hasEntity(g_1, eg_1)$ e $hasRelation(g_1, rg_1)$, já que a verdade de um deve necessariamente tornar o outro falso. Para que isso não aconteça, o modelador deverá ter cautela em considerar todas as entidades usadas na relação para um dado objetivo. Esse problema pode ser resolvido por desconsiderar o predicado $hasEntity(g_n, eg_m)$ tendo em vista que um simples raciocínio usando $hasRelation(g_n, rg_m)$, $r_k \in rg_m$ e $thereIsRelation(r_k, e_a, e_b)$ podem ser o suficiente para apresentar todas as entidades de uma relação $hasRelation(g_n, rg_m)$. Essa concepção não foi considerada por uma questão conservadora, pois quando o modelo estava sendo concebido, os pesquisadores consideraram a possibilidade de existir um cenário onde uma entidade fosse necessária para cumprir com um determinado objetivo mas que não estabelece relação com nenhuma outra entidade no ambiente. Nessa condição um raciocínio envolvendo $hasRelation(g_n, rg_m)$, $r_k \in rg_m$ e $thereIsRelation(r_k, e_a, e_b)$ traria apenas as entidades necessárias mas não as entidades suficientes. Contudo, após a realização da modelagem sobre esse caso de estudo ficou claro para os pesquisadores que uma situação onde uma entidade não se relaciona com as demais é um cenário absurdo. Isso, pois se a entidade não estabelecer relação alguma com as demais, então essa entidade é desnecessária e - perante as outras - não existe. O modelo como está não apresenta nenhuma condição absurda, contudo torna certa parte da especificação um processo redundante. Para as próximas versões, é possível pensar na eliminação do predicado $hasEntity(g_n, eg_m)$ e de $\{e_i, \dots, e_k\} \in eg_m$.

Os raciocínios feitos sobre o modelo são de crucial importância para definir a eficácia desse projeto pois é com base nisso que se torna possível avaliar o quão efetivo vem a ser essa representação. Os raciocínios 1 e 5, dados respectivamente pelas subsubseções 4.3.0.1 e 4.3.0.5 apresentam o problema com bastante expressividade. Tendo em vista o fato de que a

Glicerina é um composto químico relevante para manter o isolamento da parte não condutiva do bastão universal, esquecer de realizar isso gera um potencial acidente para ser eletrocutado em todas as outras situações onde o bastão será usado (a não ser nas situações onde o bastão universal não será usado em condutores energizados). Tanto os predicados como as regras que estão atreladas ao violação de relação e suas respectivas consequências representaram essa condição com sucesso. Nesse caso não aconteceu nenhuma sanção sobre o agente 4, portanto nem toda violação de relação gera necessariamente uma sanção. O predicado *possibilityHappensBadEvent* conseguiu trazer com exito a sensação de possibilidade que existe em fenômeno desse gênero.

Quando os pesquisadores estavam concebendo esse modelo, consideraram a possibilidade de trabalhar problemas dos raciocínios 1 e 5 por meio do conceito de *Probabilidade*. Isso é interessante porque um predicado que consegue expressar momentos estatísticos com excelência apresenta possibilidades de aplicações extremamente elevados. Contudo, trabalhar com probabilidade resulta em diversas complicações de modelagem. Uma dessas complicações consiste no desenvolvimento de técnicas que podem indicar com rigor científico qual é a probabilidade de um acidente acontecer. Entretanto, isso não é o suficiente pois essa probabilidade é condicionada a ocorrência de uma dada relação. O raciocínio 1, por exemplo, demonstra que a não execução de *relPanoGlicerina* resulta na possibilidade de ocorrer um acidente em *relBastaoGarraGondutor*. Se os pesquisadores estiverem trabalhando com o conceito de probabilidade, então é necessário desenvolver técnicas que verificam a probabilidade de acontecer algo ruim na relação *relBastaoGarraGondutor* para o caso da relação *relPanoGlicerina* não for efetivada com sucesso. Contudo, se a não execução de uma outra relação também afeta *relBastaoGarraGondutor*, então também se faz necessário encontrar essa outra probabilidade. Além de aumentar a complexidade desse modelo, abre diversas indagações no que tange de como fazer isso o que pode ser um potencial campo de investigação científica. Com a finalidade de viabilizar uma primeira versão do modelo, os pesquisadores optaram por usar o conceito de possibilidade em vez de probabilidade. Apesar de diminuir a expressividade do modelo no que tange a questões que existe um componente sobre aleatoriedade, isso simplifica o processo de especificação, facilita o desenvolvimento de raciocínios e evita que o modelo seja estruturado sobre proposições falsas (por exemplo, definir uma probabilidade para uma condição de mundo onde isso não está claro).

O vocabulário definido neste modelo foi apropriado para representar a condição de mundo presente no Raciocínio 2 que está exposto na subsubseção 4.3.0.2. Em uma situação onde não há um pano para poder limpar todas as ferramentas, a manutenção é interrompida e essa situação ficou claramente representada por esse raciocínio onde a geração da violação de

entidades corresponde a finalização da manutenção. Há a possibilidade de existir um cenário onde os profissionais criam algum tipo de técnica alternativa para poder transpassar a falta de algum artefato, inclusive se esse não apresentar grande complexidade estrutural como é o caso de um pano. Contudo, os pesquisadores decidiram por não incorporar esse tipo de situação no modelo por conta de complexidades que isso pode trazer a estrutura da representação. Manter o modelo assim permite representar os cenários mais prováveis, tendo vista que a ausência de diversos tipos de artefatos muitas vezes não permite a continuidade da atividade.

A execução de uma manutenção em linha viva deve seguir a risca as condições ambientais adequadas para essa finalidade. Uma dessas condições é a umidade relativa do ar que deve estar necessariamente inferior a setenta por cento. O raciocínio 3 em 4.3.0.3 demonstra esse tipo de situação onde um agente tenta executar uma dada atividade com a umidade relativa do ar em níveis inapropriados para isso ocasionando o surgimento de uma violação de condição gerando uma sanção no agente que corresponde a ser eletrocutado e, conseqüentemente, morto. É interessante observar que nem toda violação de condição, no mundo real, resulta necessariamente em uma sanção ao violador. A umidade relativa do ar recai nessa situação, pois pode ser que o profissional cometa essa violação sem se envolver em um acidente. Isso pode ser resolvido por construir regras tratando condições em relação ao predicado *possibilityHappensBadEvent*. Contudo, a desobediência de condições ambientais normalmente resultam em acidentes. Portanto, essa condição - apesar de não tratar todos os cenários possíveis, trata um bom número dos mesmos. Além disso, essa representação é conservadora no que tange ao evento propriamente dito, pois considera sempre o pior cenário possível.

A chave catraca é usada pelo profissional de linha viva para remover um parafuso que está preso ao conector. Uma execução inapropriada dessa relação resulta na ocorrência do eletricitista ser eletrocutado e morto. Há diversas formas de como isso pode acontecer sendo que uma delas consiste no profissional se posicionar de forma inapropriada para realizar essa relação e, por consequência, esbarrar tanto com o corpo quanto com a ferramenta em algum condutor de forma inapropriada. Portanto é de crucial importância que o profissional realize a execução com excelência. Esse comportamento é descrito pelo Raciocínio dado na subsubseção 4.3.0.4. Assim como na situação relacionada condição, a realidade dos fatos pode produzir cenários possíveis "nesse caso" que não são adequadamente representados por esse modelo. Um possível cenário para essa situação consiste no fato do profissional simplesmente não conseguir executar a relação, sem que isso resulte em algum acidente. Contudo, a situação descrita pelo modelo apresenta o pior cenário possível.

Em um acidente pessoas que não são responsáveis pelos atos cometidos podem sofrer duras consequências por conta disso. Essa situação está demonstrada no raciocínio 5 presente na subsubseção 4.3.0.5. Nessa situação, não passar glicerina no pano pode gerar um acidente ao montar a relação parafuso conector porque o bastão isolante a ser usado nesse processo não estará em condições operacionais seguras, uma vez que a superfície dessa ferramenta pode conter algum tipo de impureza que corrobore com aumento de corrente de fuga em níveis suficientemente altos para matar alguém. O raciocínio 1 apresentou com excelência essa influência que a falta do uso de glicerina tem sobre a possibilidade de ocorrer algo errado no momento onde um profissional removerá o parafuso usando o bastão. Os pesquisadores entendem, portanto que todos os predicados usados para representar essa situação foram necessários sendo que a ausência de um ou de outro descaracteriza completamente essa representação. Nessa condição, se faz necessário saber com qual objetivo *relParafusoConector* está atrelado e isso é feito por intermédio do \in e de *hasRelation*(g_n, rg_m). Além disso, não é possível efetuar nenhum tipo de raciocínio sobre essa condição sem levar em consideração se os agentes tentam alcançar esse objetivo, e isso é feito por meio do predicado *tryReach*($agent_n, g_m$). O fato de ocorrer um acidente ser independente do agente que está executando o objetivo é muito bem representado pelos predicados *possibilityHappensBadEvent* e *happensBadEvent*. Pela regra 41, essa reunião de fatores em conjunto com os riscos associados ao evento dão como verdade para o predicado *consequenceOfBadEven* gerando a morte do profissional e a interrupção da manutenção. O que é interessante nessa parte da representação consiste no fato de que até mesmo a possibilidade do acidente não acontecer é algo a ser computado nesse raciocínio. Portanto, de todo o modelo, os pesquisadores entendem que essa é a parte que é representada com maior precisão.

A presença do raciocínio 6 dado em 4.3.0.6 demonstrou que o modelo é capaz de interpretar quando o objetivo g_{23} foi atingido. Em conjunto com o predicado *ableTryReach*(ag_i, g_j), com a programação dos estados internos do agente e com a regra 36 é possível verificar uma relação de continuidade para a representação. Nessa situação o agente sempre saberá quais objetivos foram finalizados, saberá quais são os próximos objetivos, deverá ter a capacidade de decisão sobre qual objetivo ele deverá tentar alcançar (dando como verdade *tryRach*(ag_n, g_m)) e deverá ter a capacidade de executar o objetivo.

O raciocínio 7 dado por 4.3.0.7 apresenta como o modelo se comporta quando é feito uma consulta que não corresponde a realidade. O resultado objetivo foi o que os pesquisadores esperavam.

Os pesquisadores observam que os problemas que possuem as mesmas características

que as presentes no caso de estudo são representados de forma apropriada pelos predicados e regras presentes nesse texto desde que o interesse consista verificar como se dá situações atreladas a cenários de acidentes. Contudo, muitos raciocínios não foram capazes de apresentar considerações no que tange a todos os cenários possíveis ao qual esses estavam relacionados. Inclusive, mesmo que os pesquisadores conseguissem demonstrar que os sete raciocínios apresentam capacidade de representar todos os cenários, ainda sim não seria possível demonstrar que isso é válido ao aplicar essa representação em outro caso de estudo. Contudo, o modelo foi capaz de apresentar situações factíveis de acontecerem no mundo real.

Os pesquisadores não podem afirmar que as situações apresentadas sempre são as mais conservadoras possíveis (até porque o ato de como se dá a modelagem é algo que influencia isso), contudo para esse caso em específico os cenários resultantes sempre foram os piores que podem acontecer dentro de um cenário de manutenção com essas características.

5.6 APLICAÇÕES

Essa representação pode ser usada para o desenvolvimento de sistemas de informação com muitas possíveis finalidades diferentes. Uma dessas finalidades implica desenvolver um sistema para realizar o planejamento de atividades com o propósito de fazer uma análise dos riscos possíveis. Isso, pois ao especificar uma dada atividade profissional nos moldes desse modelo, o modelador é induzido ao raciocínio de estruturar a atividade em forma de objetivos, é induzido a pensar em todas as entidades e relações importantes, e deve refletir nos riscos e consequências de cada relação e condição.

Uma outra aplicação para esse modelo consiste em simular as atividades de interesse. Essa situação permite que os engenheiros de modelagem realizem diferentes cenários a fim de entender o que realmente acontece com os profissionais nessas condições. Criar um sistema *mobile* para celular (ou qualquer outra forma de computador móvel) a fim de auxiliar os profissionais na execução de uma dada atividade também é outra possível aplicação desse modelo. Por ultimo, esse modelo apresenta potencial para ser usado em jogos sérios com a finalidade de emular algum dado procedimento a fim de analisar como os profissionais se comportam em condições de risco.

Esse estudo fez uso da linguagem de programação *PROLOG* para analisar um estudo de caso. Contudo, outras linguagens podem ser usadas para essa finalidade. Uma dessas é *SQL* onde as classes podem ser definidas por meio de tabelas, as relações entre as classes por meio de chaves estrangeiras e as instâncias por meio de registros. As regras podem ser

resolvidas por meio de consultas específicas que são definidas em tabelas temporárias usando condicionadores sentenciais *if ... then ...* em procedimentos específicos para isso. Contudo, a maneira mais prática de tratar as regras consiste em escrevê-las em alguma linguagem de programação (estruturado em um algoritmo) que realiza consulta ao banco com as tabelas e relacionamentos do modelo.

Bancos não relacionais com *MONGO-DB* (usa a estrutura de dados em grafo conhecido com *JSON*) também são apropriados para esse tipo de situação. Esse tipo de banco não usa relacionamentos o que apresenta uma dificuldade a mais para a implementação de um modelo dessa natureza, contudo isso pode ser resolvido por forçar os relacionamentos artificialmente na estrutura do banco permitindo consultas similares as presentes em *SQL*.

Linguagens de programação orientadas a objeto (Java, C#, PHP, C++) também são apropriadas para esse tipo de situação. As classes do modelo podem ser representadas pelas classes da linguagem e os relacionamentos podem ser concebidos por intermédio de métodos. O código pode apresentar um módulo que contem todas as regras do modelo. Assim, para cada evento que acontece no sistema, todas as regras são consultadas computando a solução para o dado de entrada. Nessa situação, a especificação é feita instanciando as classes.

A natureza da implementação deverá ser ponderada com base no uso final do sistema. Para uma situação onde os profissionais necessitam de um sistema para planejar a manutenção, fazer uso de uma estrutura onde a especificação e os relacionamentos são definidos em banco de dados e as regras são estruturada em uma linguagem de programação é o melhor caminho. Isso, pois os profissionais terão de escrever registros no sistema diversas vezes durante o seu respectivo uso e isso necessita de uma estrutura preparada para esse trânsito de informação. Em contrapartida, deixar as regras em prol da linguagem de programação permite que o sistema efetive os raciocínios de maneira muito mais rápida quando houver necessidade. Nesse modelo o sistema realiza a consulta necessária ao banco de dados, escreve o retorno na memória *RAM* e o computa nas regras.

Se a implementação dessa representação for usada em um jogo de computador, escrever as classes, relacionamentos, instâncias e regras em uma linguagem de programação eliminando o uso de banco de dados é a alternativa mais interessante nessa situação. Isso se deve ao fato de que muitas vezes um jogo necessita de alto desempenho para funcionar. Eliminar o banco de dados evita o tempo de consulta a memórias lentas remove um custo computacional significativo. Se os profissionais optarem por manter um banco de dados, devem tentar resolver a situação com o menor número de consultas possíveis - talvez apenas uma ao carregar o jogo, escrevendo todos os dados na memória tornando-as disponíveis para

serem constantemente computadas nas regras. Contudo, as diferentes maneiras de realizar essa implementação estão em função das demandas finais.

6 CONCLUSÃO

6.1 AVALIAÇÃO DOS OBJETIVOS

6.2 TRABALHOS FUTUROS

REFERÊNCIAS

- ABBAS, H.; SHAHEEN, S.; AMIN, M. H. Organization of multi-agent systems: An overview. **International Journal of Intelligent Information Systems**, 06 2015.
- ALLEN, J. F. Maintaining knowledge about temporal intervals. **Commun. ACM**, ACM, New York, NY, USA, v. 26, n. 11, p. 832–843, nov. 1983. ISSN 0001-0782. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/182.358434>>.
- ASHBY, W. R. Principles of the self-organizing system. In: FOERSTER, H. v.; ZOPF, G. W. (Ed.). **Principles of Self-Organization: Transactions of the University of Illinois Symposium**. London: Pergamon, 1962. p. 255–278.
- BAROT, C. et al. V3S: A virtual environment for risk-management training based on human-activity models. **Presence**, v. 22, n. 1, p. 1–19, 2013. Disponível em: <http://www.mitpressjournals.org/doi/abs/10.1162/PRES_a_00134>.
- BONASSO, R. P. et al. Experiences with an architecture for intelligent, reactive agents. In: . [S.l.: s.n.], 1995. v. 9, p. 187–202.
- CAMUS, F.; LENNE, D.; PLOT, E. Designing virtual environments for risk prevention: the melissa approach. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)**, v. 6, n. 1, p. 55–63, Feb 2012. ISSN 1955-2505. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12008-011-0138-4>>.
- CARRON, T.; BOISSIER, O. Towards a temporal organizational structure language for dynamic multi-agent systems. 01 2001.
- CASTELFRANCHI, C. Commitments: From individual intentions to groups and organizations. In: **ICMAS**. [S.l.: s.n.], 1995.
- CASTELFRANCHI, C. et al. Social trust: A cognitive approach. 12 2018.
- CHANG, S.; MENEGUZZI, F. Simulating normative behaviour in multi-agent environments using monitoring artefacts. In: DIGNUM, V. et al. (Ed.). **Coordination, Organizations, Institutions, and Norms in Agent Systems XI**. Cham: Springer International Publishing, 2016. p. 59–77. ISBN 978-3-319-42691-4.
- CHEN, P. P. shan. The entity-relationship model: Toward a unified view of data. **ACM Transactions on Database Systems**, v. 1, p. 9–36, 1976.
- DASTANI, M. et al. Normative multi-agent programs and their logics. In: MEYER, J.-J. C.; BROERSEN, J. (Ed.). **Knowledge Representation for Agents and Multi-Agent Systems**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009. p. 16–31. ISBN 978-3-642-05301-6.
- EDWARD, L. et al. Modelling autonomous virtual agent behaviours in a virtual environment for risk. **IJVR**, v. 7, p. 13–22, 01 2008.

ESTEVA, M.; PADGET, J.; SIERRA, C. Formalizing a languages for institutions and norms. In: MEYER, J.; TAMBE, M. (Ed.). **Lecture Notes Artificial Intelligence**. [S.l.]: Springer-Verlag, 2002. v. 2333, p. 348–366.

EXPLORING Organizational Designs with TAEMS: A Case Study of Distributed Data Processing. 09 1996.

FADIER, E.; GARZA, C. D. L.; DIDELOT, A. Safe design and human activity: construction of a theoretical framework from an analysis of a printing sector. **Safety Science**, v. 41, n. 9, p. 759 – 789, 2003. ISSN 0925-7535. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092575350200022X>>.

FERBER, J.; GUTKNECHT, O. A meta-model for the analysis and design of organizations in multi-agent systems. In: **Proceedings of the 3rd International Conference on Multi Agent Systems**. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 1998. (ICMAS '98), p. 128–. ISBN 0-8186-8500-X. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=551984.852257>>.

FOERSTER, H. von. On self-organizing systems and their environments. **Self-organizing systems**, p. 31–50, 01 2003.

FOX, M. S.; BARBUCEANU, M.; GRUNINGER, M. An organisation ontology for enterprise modeling: Preliminary concepts for linking structure and behaviour. **Computers in Industry**, v. 29, n. 1, p. 123 – 134, 1996. ISSN 0166-3615. WET ICE '95. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0166361595000798>>.

GARSON, J. Modal logic. In: ZALTA, E. N. (Ed.). **The Stanford Encyclopedia of Philosophy**. Fall 2018. [S.l.]: Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2018.

GARVEY, A.; LESSER, V. Design-to-time scheduling and anytime algorithms. **SIGART Bull.**, ACM, New York, NY, USA, v. 7, n. 2, p. 16–19, abr. 1996. ISSN 0163-5719. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/242587.242591>>.

GENESERETH, M. R.; NILSSON, N. J. **Logical Foundations of Artificial Intelligence**. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1987. ISBN 0-934613-31-1.

HÜBNER, J. F.; SICHMAN, J. S.; BOISSIER, O. A model for the structural, functional, and deontic specification of organizations in multiagent systems. In: BITTENCOURT, G.; RAMALHO, G. L. (Ed.). **Advances in Artificial Intelligence**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2002. p. 118–128. ISBN 978-3-540-36127-5.

HübNER, J.; SICHMAN, J.; BOISSIER, O. Moise+: Towards a structural, functional, and deontic model for mas organization. In: . [S.l.: s.n.], 2002. p. 501–502.

JENNINGS, N. R.; LESPÉRANCE, Y. **Intelligent Agents VI. Agent Theories, Architectures, and Languages: 6th International Workshop, ATAL'99, Orlando, Florida, USA, July 15-17, 1999. Proceedings**. [S.l.: s.n.], 2000. ISBN 978-3-540-67200-5.

LENDARIS, G. On the definition of self-organizing systems. **Proceedings of the IEEE**, v. 52, p. 324– 325, 04 1964.

LOPEZ, F.; LUCK, M. Modelling norms for autonomous agents. In: . [S.l.: s.n.], 2003. p. 238 – 245. ISBN 0-7695-1915-6.

LÓPEZ, F. López y; LUCK, M. A model of normative multi-agent systems and dynamic relationships. In: LINDEMANN, G.; MOLDT, D.; PAOLUCCI, M. (Ed.). **Regulated Agent-Based Social Systems**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004. p. 259–280. ISBN 978-3-540-25867-4.

MOSES, Y.; TENNENHOLTZ, M. Artificial social systems. **Computers and Artificial Intelligence**, v. 14, 12 1995.

PENTLAND, B.; RUETER, H. H. Organizational routines as grammars of action. **Administrative Science Quarterly**, v. 39, p. 484, 09 1994.

PENTLAND, B. T. Grammatical models of organizational processes. **Organization Science**, v. 6, n. 5, p. 541–556, 1995.

PRIGOGINE, I.; NICOLIS, G. Self-organisation in nonequilibrium systems: Towards a dynamics of complexity. In: _____. **Bifurcation Analysis: Principles, Applications and Synthesis**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1985. p. 3–12. ISBN 978-94-009-6239-2.

RAO, A. S.; GEORGEFF, M. P. Modeling rational agents within a bdi-architecture. In: **Proceedings of the Second International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning**. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1991. (KR'91), p. 473–484. ISBN 1-55860-165-1. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=3087158.3087205>>.

RASMUSSEN, J. Risk management in a dynamic society: a modelling problem. **Safety Science**, v. 27, n. 2, p. 183 – 213, 1997. ISSN 0925-7535. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753597000520>>.

RICCI, A.; VIROLI, M.; OMICINI, A. Programming mas with artifacts. In: BORDINI, R. H. et al. (Ed.). **Programming Multi-Agent Systems**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2006. p. 206–221. ISBN 978-3-540-32617-5.

RICCI, A.; VIROLI, M.; OMICINI, A. Cartago: A framework for prototyping artifact-based environments in mas. In: WEYNS, D.; PARUNAK, H. V. D.; MICHEL, F. (Ed.). **Environments for Multi-Agent Systems III**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007. p. 67–86. ISBN 978-3-540-71103-2.

RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. **Artificial intelligence - a modern approach, 2nd Edition**. Prentice Hall, 2003. (Prentice Hall series in artificial intelligence). ISBN 0130803022. Disponível em: <<http://www.worldcat.org/oclc/314283679>>.

SO, Y.-p.; DURFEE, E. An organizational self-design model for organizational change. 03 1996.

WOOLDRIDGE, M.; JENNINGS, N. R. Intelligent agents: theory and practice. **The Knowledge Engineering Review**, Cambridge University Press, v. 10, n. 2, p. 115–152, 1995.

WRIGHT, G. H. von. On the logic and ontology of norms. In: _____. **Philosophical Logic**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1969. p. 89–107. ISBN 978-94-010-9614-0.

APÊNDICE A – NOME DO APÊNDICE

ANEXO A – NOME DO ANEXO