



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE COMPUTAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA**



**iDE – um *framework* para suporte ao
gerenciamento de cursos em Educação a Distância**

KETLEN KARINE TELES LUCENA

MANAUS – AMAZONAS - BRASIL

DEZEMBRO DE 2018



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE COMPUTAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA**



**iDE – um *framework* para suporte ao
gerenciamento de cursos em Educação a Distância**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGI/UFAM), como requisito necessário para obtenção do título de Doutora em Informática. Área de concentração: Inteligência Artificial.

KETLEN KARINE TELES LUCENA

Orientadora: Prof^ª Dr^ª. Elaine Harada Teixeira de Oliveira

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

L935i Lucena, Ketlen Karine Teles
iDE – um framework para suporte ao gerenciamento de cursos em Educação a Distância / Ketlen Karine Teles Lucena. 2018
189 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Elaine Harada Teixeira de Oliveira
Tese (Doutorado em Informática) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Educação a Distância. 2. Sistemas Multiagentes. 3. Raciocínio Baseado em Casos. 4. Ontologia. 5. Lms. I. Oliveira, Elaine Harada Teixeira de II. Universidade Federal do Amazonas III. Título



PODER EXECUTIVO
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO DE COMPUTAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA



UFAM

FOLHA DE APROVAÇÃO

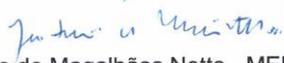
**"iDE - um framework para suporte ao gerenciamento de cursos em
Educação a Distância"**

KETLEN KARINE TELES LUCENA

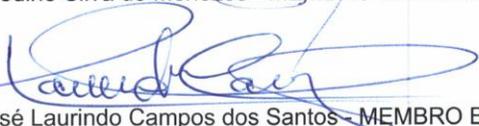
Tese de Doutorado defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Professores:


Profa. Elaine Harada Teixeira de Oliveira - PRESIDENTE


Prof. Alberto Nogueira de Castro Júnior - MEMBRO INTERNO


Prof. José Francisco de Magalhães Netto - MEMBRO INTERNO


Prof. Crediné Silva de Menezes - MEMBRO EXTERNO


Prof. José Laurindo Campos dos Santos - MEMBRO EXTERNO

Manaus, 14 de Dezembro de 2018

Para Alice e Gabriel.

AGRADECIMENTOS

A Deus, acima de tudo.

Ao meu Senhor Jesus Cristo e à Maria Santíssima, minha amada mãe.

À minha mãe querida, Raimunda Teles, pelo amor e apoio incondicional.

Ao meu marido, Walfredo Lucena, por ter estado sempre presente e pela paciência.

À minha querida orientadora, professora Elaine Harada, pelo incentivo, conselhos, insistência e por ter acreditado na minha capacidade.

À colega Tammy Hikari pelo suporte aos experimentos, pela dedicação e disponibilidade, e pela amizade.

Aos amigos Vilar Camara e Gilbert Martins pela ajuda fundamental nas disciplinas do curso.

Aos colegas do GSI: Jath, Oziel, Elton, Wesley, David, Ilmara, Priscilla, Dhanielly, Helen e Tiago, pelo carinho e companheirismo.

Aos companheiros de Doutorado, Vitor Bremgartner e Francisco Neto, pelas preciosas dicas e orientações.

Aos alunos Dara e Cícero, pela ajuda com os aplicativos e ontologia.

Aos professores do ICOMP: Alberto, Bruno, Eduardo Feitosa, Edleno, Eulanda, José Francisco, Luís Rivero (Lucho), pelo apoio, ensinamentos, orientações e conselhos.

Aos colegas do CED, pelo incentivo e disponibilidade para os experimentos.

À UFAM e ao PPGI, pela oportunidade.

A todos aqueles que ajudaram de alguma forma na realização deste trabalho, o meu mais profundo agradecimento.

E apesar de tudo, o Senhor estava sempre ao meu lado, segurando bem firme a minha mão.

Salmo 72, 23.

RESUMO

Gerenciar cursos em Educação a Distância (EaD), ofertados em localidades distintas e geograficamente de difícil acesso, é uma missão que requer conhecimento da região, adequação aos costumes locais e um modelo pedagógico flexível que se adapte às características das turmas. Nesta situação, as especificidades regionais e necessidades peculiares dos estudantes formam um conhecimento exclusivo de professores e tutores locais. Desta forma, tais especialistas utilizam o conhecimento tácito para resolver problemas que surgem no decorrer do curso e que são próprios a cada localidade. Essas experiências acabam por ficar confinadas e restritas ao histórico informal da turma ou curso em questão. A reutilização dessas soluções e sua aplicação em outras situações equivalentes ofereceria benefícios substanciais à gestão de cursos à distância, visto que traria maior agilidade na resolução de questões com características equivalentes. Com o objetivo de reaproveitar respostas aplicadas a problemas enfrentados no cotidiano desses cursos em cenários similares, esta tese apresenta o desenvolvimento de um *framework* inteligente, denominado iDE (*intelligence for Distance Education*), que combina técnicas de Inteligência Artificial, como Raciocínio Baseado em Casos (CBR) e Sistemas Multiagentes, com informações provenientes de um LMS e opiniões de especialistas, para recuperar e sugerir soluções baseadas em circunstâncias antigas e semelhantes. O iDE consiste em um *framework* conceitual, gerenciado por um sistema multiagente, composto por quatro agentes de *software*: (i) o agente principal e coordenador dos demais (*Manager agent*); (ii) o agente que usará a técnica de CBR para recuperar e reaproveitar conhecimento de casos passados (*CBR agent*); (iii) o agente que irá tratar dados acadêmicos provenientes de aplicativos (móveis ou não) inseridos em ambientes virtuais de aprendizagem (*LMS agent*); e, por último, (iv) o agente responsável por recuperar e formalizar o conhecimento tácito de especialistas na área de EaD (*Experts agent*). Também foi modelada uma ontologia de domínio, para representar dados específicos e, cuja instanciação, para fins de estudo de caso exploratório, é a abrangência do Centro de Educação a Distância da Universidade Federal do Amazonas (CED/UFAM). A capacidade de aprendizagem do arcabouço foi viabilizada por regras de aprendizado e pela avaliação direta, feita por especialistas, da relevância das respostas retornadas. Foi implementada ainda uma interface *web* para a entrada de dados referentes à descrição do problema e para visualização das respostas sugeridas pelo iDE. O processo de levantamento de informações reais consistiu em entrevistas com especialistas e na coleta de dados do LMS Moodle. Os experimentos de validação do *framework* foram realizados com usuários com experiência em EaD, que avaliaram a utilidade e a relevância soluções apresentadas.

Palavras-chave: Educação a Distância, Sistemas Multiagentes, Raciocínio Baseado em Casos, Ontologia, LMS.

ABSTRACT

Managing distance learning courses (DE), offered in different locations and of difficult to access, is a mission that requires knowledge of the region, adaptation to local customs and a flexible pedagogical model that adapts to the characteristics of the classes. In this situation, the regional specificities and peculiar needs of the students form an exclusive knowledge of local teachers and tutors. And as such, these specialists use tacit knowledge to solve problems that arise during the course and that are specific to each location. These experiences become confined and restricted to the informal history of the class or course in focus. The reutilization of these solutions and their application in other similar situations would offer substantial benefits to the management of distance learning, as it would provide greater agility in solving issues with equivalent characteristics. This thesis presents the development of an intelligent framework, named iDE (*intelligence for Distance Education*), aimed at reutilizing solutions applied to the problems routinely faced by these courses in comparable scenarios. It combines techniques of Artificial Intelligence, such as Case Based Reasoning (CBR) and Multiagent Systems, along with information from an LMS and expert opinions, to retrieve and suggest solutions based on previous and similar circumstances. The iDE consists of a conceptual framework, managed by a multi-agent system, composed of four software agents: (i) the main agent and coordinator of the others (Manager agent); (ii) the agent that will use CBR techniques to recover and reuse knowledge of past cases (CBR agent); (iii) the agent that will process academic data from applications (mobile or not) inserted in virtual learning environments (LMS agent); and, finally, (iv) the agent responsible for recovering and formalizing the tacit knowledge of experts in the area of DE (Experts agent). A domain ontology was also modeled to represent specific data, and the instantiation of the Distance Learning Center of the Federal University of Amazonas (CED / UFAM), for exploratory case study purposes. The learning capacity of the framework was made possible by learning rules and by the direct evaluation by experts of the relevance of the returned answers. A web interface was also implemented to input data referring to the problem description and to the visualization of the responses suggested by the iDE. The actual information gathering process consisted of interviews with experts and the data collection of LMS Moodle. The validation experiments of the framework were performed with users with experience in DE, who evaluated the usefulness and relevance of the presented solutions.

Keywords: Distance Education, Multi-agent Systems, Case-Based Reasoning, Ontology, LMS.

SUMÁRIO

I INTRODUÇÃO	17
I.1 Motivação	18
I.2 Justificativa.....	19
I.2.1 Da proposta.....	19
I.2.2 Das tecnologias adotadas.....	20
I.3 Objetivos, Problema, Hipótese e Questões de Pesquisa	21
I.3.1 Objetivos Específicos	21
I.3.2 Problema, Hipótese e Questões de Pesquisa	22
I.4 Convenções e definições	22
I.5 Metodologia de Pesquisa	24
I.6 Estrutura da Proposta.....	26
II FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	28
II.1 Modelos e tecnologias para aprendizado à distância	28
II.1.1 Modelos Pedagógicos em EaD	28
II.1.2 Ambientes Virtuais de Aprendizagem	30
II.1.3 Modelos de aprendizagem baseados em tecnologia	32
II.1.3.1 E-learning.....	32
II.1.3.2 M-learning.....	33
II.1.3.3 B-learning.....	34
II.2 A recuperação do conhecimento e o processo de aprendizagem	35
II.3 Técnicas de Inteligência Artificial	38
II.3.1 Raciocínio Baseado em Casos	39
II.3.2 Sistemas Multiagentes.....	40
II.3.3 Ontologias	43
II.4 Conclusões do capítulo	46
III LEVANTAMENTO DO ESTADO DA ARTE	47
III.1 Revisão de Literatura	47
III.1.1 CBR e Ontologias	47
III.1.2 CBR e MAS	48
III.1.3 MAS e Ontologias	48
III.1.4 Modelo SECI	49
III.2 Trabalhos relacionados	50
III.2.1 Arquitetura de um agente CBR.....	50
III.2.2 ITS híbrido	51
III.2.3 Recuperação de informações em bibliotecas digitais	52
III.2.4 Uso de agentes e ontologias em técnicas construtivistas para LMS	54
III.2.5 Reuso do conhecimento em sistemas de tomada de decisão	56
III.2.6 <i>Framework</i> baseado em ontologias para construção de ITS multiagentes	57
III.2.7 Quadros comparativo e de contribuições.....	59
III.3 Conclusões do capítulo	60
IV A PROPOSTA PARA O <i>FRAMEWORK IDE</i>.....	62
IV.1 Modelo de referência	62

IV.1.1 Cenário e diretrizes	62
IV.1.2 Modelo conceitual para recuperação do conhecimento	65
IV.1.3 Definições do <i>framework</i> iDE	67
IV.1.4 Caracterização e dimensões do <i>framework</i> iDE	71
IV.1.5 Adaptações ao modelo SECI	80
IV.2 Arquitetura de referência do <i>framework</i> iDE	84
IV.2.1 Transição do modelo para a arquitetura	85
IV.2.2 Caracterização das unidades	85
IV.2.3 Especificação dos agentes	87
IV.3 Conclusões do capítulo	88
V O DESENVOLVIMENTO DO <i>FRAMEWORK</i> iDE	89
V.1 O Sistema Multiagente	89
V.2 O <i>CBR agent</i>	95
V.2.1 Cálculo de similaridade	96
V.2.2 Etapas de implementação do <i>CBR</i>	97
V.3 O <i>Experts agent</i>	99
V.4 O <i>LMS agent</i>	100
V.5 O <i>Manager agent</i> e a combinação das fontes de informação	101
V.6 Implementação das funções de aprendizado	101
V.7 Conclusões do capítulo	102
VI ESTUDO DE CASO	103
VI.1 O Centro de Educação a Distância	103
VI.1.1 Estrutura organizacional e cursos	103
VI.1.2 O Modelo pedagógico do CED	105
VI.2 A OntoCED	108
IV.2.1 Taxonomia	110
IV.2.2 Relações e propriedades	111
IV.2.3 Axiomas	113
IV.2.4 Instanciação	115
VI.3 Conclusões do capítulo	115
VII EXPERIMENTOS E RESULTADOS	116
VII.1 Avaliação de aceitação	116
VII.1.1 O Modelo TAM e a Escala Likert	116
VII.1.2 Indicadores	118
VII.2 Questionários aplicados	119
VII.2.1 Avaliação de relevância pedagógica	120
VII.2.2 Avaliação pelo modelo SECI	120
VII.3 Metodologia e condução dos testes	121
VII.4 Resultados e discussões	123
VII.5 Conclusões do capítulo	130
VIII CONSIDERAÇÕES FINAIS	131
VIII.1 Contribuições do trabalho	132
VIII.2 Propostas de trabalhos futuros	133
REFERÊNCIAS	135
APÊNDICE A – REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA	144
A.1 RSL: Modelos de aprendizagem por tecnologia e LMS	144

A.2 Lista de Controle e Expressão de busca.....	145
A.3 Tabulação e Análise dos Resultados da RSL.....	151
A.4 Conclusões da RSL.....	157
A.5 Publicações retornadas após 2º filtro da RSL	159
APÊNDICE B – FORMULÁRIO DE CARACTERIZAÇÃO DO ENTREVISTADO...	165
APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO	166
APÊNDICE D – TERMO DE CONSENTIMENTO	171
APÊNDICE E – ROTEIRO DE AVALIAÇÃO.....	173
APÊNDICE F – TELAS DA <i>INTERFACE DO FRAMEWORK IDE</i>.....	175
APÊNDICE G – A ONTOLOGIA ONTOCED	183
G.1 Propriedades das classes	183
APÊNDICE H – PUBLICAÇÕES DA AUTORA.....	188

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma da metodologia de pesquisa.	25
Figura 2 – Elementos de um modelo pedagógico em EaD.	29
Figura 3 – Modelo SECI.	37
Figura 4 – Modelo de aprendizagem detalhado.	37
Figura 5 – Ciclo do CBR.	40
Figura 6 – Ciclo de raciocínio de um agente na composição de um MAS.	42
Figura 7 – Especialização das Ontologias de Aplicação.	45
Figura 8 – Arquitetura proposta para o agente CBR.	51
Figura 9 – Arquitetura do Módulo Especialista.	52
Figura 10 – Arquitetura da OntoFAMA.	53
Figura 11 – Arquitetura do sistema.	55
Figura 12 – Arquitetura do sistema CBR baseado em MAS.	56
Figura 13 – Sistema de aprendizado baseado em agentes.	58
Figura 14 – Entrada e saída de dados no iDE.	70
Figura 15 – Modelo de Referência do <i>framework</i> iDE.	72
Figura 16 – Comunicação e ações: <i>Manager agent</i>	73
Figura 17 – Comunicação e ações: <i>CBR agent</i>	73
Figura 18 – Comunicação e ações: <i>LMS agent</i>	74
Figura 19 – Comunicação e ações: <i>Experts agent</i>	74
Figura 20 – Representação de um problema.	78
Figura 21 – Arquitetura de Referência do <i>framework</i> iDE.	84
Figura 22 – Arquitetura geral do <i>framework</i> iDE.	86
Figura 23 – Plataforma de agentes de <i>software</i>	87
Figura 24 – Processo do geral iDE.	91
Figura 25 – Diagrama de sequência da ativação dos agentes de <i>software</i>	93
Figura 26 – Esquema de classes do BD do <i>framework</i> iDE.	94
Figura 27 – Conectores das camadas de persistência do jCOLIBRI2.	95
Figura 28 – Estrutura organizacional do projeto CBR.	99
Figura 29 – Estrutura organizacional do CED/UFAM.	104
Figura 30 – PMT do CED.	107
Figura 31 – Hierarquia de classes da ontoCED.	111
Figura 32 – Propriedades das classes.	111
Figura 33 – Propriedades da classe Aluno.	112
Figura 34 – Representação gráfica da ontoCED.	112
Figura 35 – Mapeamento entre BD e a ontoCED.	115
Figura 36 – Modelo TAM.	117
Figura 37 – Exemplos de questões do questionário de avaliação.	119

Figura 38 – <i>Plugins</i> do LMS Moodle, utilizados pelo iDE.....	122
Figura 39 – Gráfico: Utilidade Percebida.....	124
Figura 40 – Gráfico: Facilidade de Uso Percebida.....	124
Figura 41 – Gráfico: Retorno sobre soluções apresentadas.....	125
Figura 42 – Telas de consulta e resultados do <i>framework</i> iDE.....	127
Figura 43 – Gráfico: Função dos entrevistados.	128
Figura 44 – Gráfico: Conhecimento de ferramentas para EaD.....	129
Figura 45 – Gráfico: Experiência em gerenciamento de cursos à distância.	129
Figura 46 – Exemplos de considerações dos entrevistados.	130

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 – Comparação entre os trabalhos relacionados.	59
Quadro 2 – Contribuição e sugestões dos trabalhos para a tese.	60
Quadro 3 – Comparação entre situação atual e soluções propostas.	63
Quadro 4 – Atividades do <i>framework</i> iDE – Visão Especialista.	82
Quadro 5 – Atividades do <i>framework</i> iDE – Visão Mediador.	82
Quadro 6 – Atividades do <i>framework</i> iDE – Visão Agentes.	83
Quadro 7 – Comparação entre modelo e arquitetura de referência.	85
Quadro 8 – Relações entre as classes da ontoCED.	113
Quadro 9 – Principais axiomas da ontoCED.	114
Quadro 10 – Indicadores: construto PU.	118
Quadro 11 – Indicadores: construto PEOU.	118
Quadro 12 – Questões e construtos.	123
Tabela 1 – Pesos dos atributos de entrada de um caso.	97
Tabela 2 – Polos do CED no Estado do Amazonas.	105
Tabela 3 – Exemplos de dados comparativos para uma busca.	126
Tabela 4 – Porcentagem de conhecimento agregado.	128

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AVA	Ambiente Virtual de Aprendizagem
BD	Banco de Dados
CBR	Case-Based Reasoning
CED	Centro de Educação a Distância
cURL	Client URL Library
DE	Distance Education
EaD	Educação a Distância
IA	Inteligência Artificial
iDE	Intelligence for Distance Education
ITS	Intelligent Tutoring Systems
JSON	JavaScript Object Notation
LMS	Learning Management Systems
MAS	Multi-agent Systems
ML	Machine Learning
Moodle	Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment
MVC	Model View Control
MySQL	My Structured Query Language
OWL	Ontology Web Language
PAL	Protégé Axiomatic Language
PDA	Personal Digital Assistant

PEOU	Perceived Ease of Use
PHP	Hypertext Preprocessor
PMT	Pedagogical Model Supported by Technology
PPGI	Programa de Pós-Graduação em Informática
PU	Perceived Usefulness
RBS	Rules-Based System
RDF	Resource Description Framework
REST	Representational State Transfer
RSL	Revisão Sistemática de Literatura
SECI	Socialização, Externalização, Combinação e Internalização
TAM	Technology Acceptance Model
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação
UFAM	Universidade Federal do Amazonas
VLS	Virtual Learning Systems
W3C	World Wide Web Consortium
WM	Web and Mobile Interface
XML	Extensible Markup Language

I Introdução

Mapear o conhecimento tácito com o objetivo de recuperar, formalizar e utilizar suas informações para prevenir, intervir e solucionar problemas constitui um desafio constante em ambientes mutáveis e incertos. Mais especificamente em cenários educacionais, o procedimento de tomada de decisões requer análise e avaliação de históricos e ações passadas, com base em resultados positivos das estratégias aplicadas.

Instituições que oferecem cursos na modalidade à distância (EaD) possuem um vasto conhecimento implícito, derivado de experiências dos indivíduos envolvidos em todas as etapas do modelo de ensino-aprendizagem. Esse saber subjetivo resulta em um conjunto de particularidades e características intrínsecas a uma situação específica, identificando-a como única. Administrar o aprendizado à distância – onde o estudante encontra-se em lugar distinto do mediador e o conteúdo é compartilhado de forma assíncrona – exige, além de habilidades gerenciais e pedagógicas, também talento para lidar com as relações nem sempre harmônicas entre os atores do processo. No entanto, esses cursos não enfrentam somente dificuldades de aspectos educacionais, os fatores logísticos e de infraestrutura também figuram como pontos críticos para a gestão deste tipo de ensino (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

Geralmente, os dados acadêmicos de um curso à distância ficam armazenados em um Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA ou LMS, do inglês *Learning Management System*) e as informações de caráter transitório ou temporário não são formalmente descritas, dificultando-se assim o reaproveitamento das mesmas. Esse entendimento não-documentado é acumulado por especialistas que lidam com a realidade do curso, e é utilizado quando alguma situação exige soluções mais complexas e abrangentes. Para isso é feita uma análise subjetiva, considerando-se informações acadêmicas, experiências e relatos antigos e avaliações contextuais, a fim de se oferecer respostas, quase sempre intuitivas.

Em contrapartida, a inserção de dispositivos móveis, como *tablets* e *smartphones*, em modelos pedagógicos-administrativos voltados para o ensino à distância, e interligados aos ambientes virtuais, vem facilitando a comunicação, a interação, a construção e transmissão de conteúdo e o acompanhamento de atividades. Cada vez mais conectados, professores e alunos têm o desejo de realizar suas atividades com maior mobilidade, levando-se em consideração a flexibilidade de horário e local (SACCOL, 2010). Desta forma, aplicativos especificamente implementados para estes aparelhos vem sendo gradativamente inseridos nos ambientes virtuais e apresentados como mais um recurso de proatividade e interação no contexto da aprendizagem apoiada por tecnologia (TELES LUCENA *et al.*, 2014a). Dados sobre o número de acessos ao ambiente virtual móvel, realização de atividades, interação e cooperação entre os estudantes estão disponibilizados nesses programas e constitui informações fundamentais para se traçar o perfil da turma e seu desempenho acadêmico (SILVA *et al.*, 2015).

A partir destas reflexões, percebe-se a influência dos fatores acima citados na qualidade do ensino à distância mediado por tecnologia, e é neste contexto que se insere a proposta desta tese: apresentar um arcabouço conceitual que viabilize a combinação de técnicas de Inteligência Artificial (IA) – tais como, sistemas multiagentes, raciocínio baseado em casos e ontologias – para a recuperação dos conhecimentos explícitos e tácitos envolvidos nas tomadas de decisões comuns a modelos de gestão do ensino à distância.

Com o intuito de facilitar as combinações dessas técnicas, foi desenvolvido um *framework* inteligente, denominado iDE (*intelligence for Distance Education*), para fornecer soluções em conjunturas distintas em EaD. O iDE consiste em um *framework* conceitual, gerenciado por um sistema multiagente, composto por quatro agentes de *software*: (i) o agente principal e coordenador dos demais (*Manager agent*); (ii) o agente que usará a técnica de Raciocínio Baseado em Casos para recuperar e reaproveitar conhecimento de casos passados para de oferecer soluções adaptáveis a novas situações (*CBR agent*); (iii) o agente que irá identificar e tratar dados acadêmicos provenientes de aplicativos (móveis ou não) inseridos em ambientes virtuais de aprendizagem (*LMS agent*); e, por último, (iv) o agente responsável por recuperar e formalizar o conhecimento tácito de especialistas e de suas experiências na área de EaD (*Experts agent*).

Como estrutura de conhecimento, o arcabouço prevê o uso de uma ontologia de domínio, cuja instanciação, para fins de estudo de caso exploratório, é a abrangência do modelo pedagógico apoiado por tecnologia (OLIVEIRA *et al.*, 2012) do Centro de Educação a Distância da Universidade Federal do Amazonas (CED/UFAM).

I.1 Motivação

Um dos principais desafios das instituições que promovem cursos na modalidade à distância é acompanhar o desempenho acadêmico do aluno e disponibilizar infraestrutura física e pedagógica adequada ao curso oferecido. Gerenciar cursos em educação a distância, ofertados em localidades distintas e geograficamente de difícil acesso, é uma missão que requer conhecimento da região, adequação aos costumes locais e um modelo pedagógico flexível que se adapte às características dos cursos. Pois, as especificidades regionais e necessidades peculiares das turmas formam um conhecimento específico e exclusivo de professores e tutores locais.

Desta forma, tais especialistas utilizam o conhecimento implícito para resolver problemas que surgem no decorrer do curso e que são inerentes a cada localidade. Tais experiências acabam por ficar confinadas e restritas ao histórico informal da turma ou curso em questão. Além das experiências subjetivas, as informações acadêmicas também influenciam nas decisões dos mediadores desses cursos. Tais informações vão desde a quantidade de acesso ao LMS, à participação em atividades avaliativas, interação com

colegas e professores no ambiente virtual, ao relatório geral de notas. Esses dados oferecem uma visão particular de cada turma ou individualmente por aluno, e ajudam a identificar possíveis ameaças de reprovação, abandono ou desistência do curso.

A reutilização de todas essas informações e a aplicação de soluções baseadas empiricamente em situações semelhantes traria benefícios substanciais ao processo de gestão de cursos à distância, visto que contribuiria com mais agilidade e maior eficácia na resolução de problemáticas com características equivalentes.

I.2 Justificativa

I.2.1 Da proposta

Os processos educacionais, que compreendem a aprendizagem a partir de diferentes práticas cognitivas – característica da educação a distância –, geralmente envolvem a representação e a utilização de tipos de conhecimento distintos, além da combinação de diversos métodos de raciocínio para atingir seu objetivo final. Assim, os modelos pedagógicos voltados a tais processos devem prover a construção de estratégias mentais como fator orientador para o ensino, sem esquecer questões pertinentes ao gerenciamento do aprendizado.

No entanto, dentre as funções da gestão pedagógica e acadêmica, destaca-se a resolução cotidiana de problemas de vários aspectos, tais como falta de infraestrutura adequada, dificuldades no acompanhamento de conteúdo, altos índices de reprovações e evasão, entre outros. Tais problemas tornam-se ainda mais acentuados quando se trata de cursos oferecidos na modalidade à distância, principalmente quando ofertados em regiões com dificuldades peculiares, como no caso da Região Amazônica.

Desta forma, a reutilização de experiências anteriores e o aproveitamento dos conhecimentos explícito e implícito de especialistas, associados a informações pedagógicas e acadêmicas, apresenta-se como um promissor mecanismo de suporte ao gerenciamento desses cursos.

Neste contexto, com a finalidade de reaproveitar situações aplicadas a problemas enfrentados no cotidiano de cursos à distância em cenários semelhantes, se estabelece como princípio norteador desta tese o desenvolvimento de um *framework* inteligente, cujo modelo venha abranger a recuperação de casos passados, dados provenientes de ambientes virtuais de aprendizagem e a opinião de especialistas. A partir da busca individual e da combinação destas fontes de informação, o *framework* oferecerá possíveis soluções para ocorrências que exijam tomadas de decisão.

I.2.2 Das tecnologias adotadas

Para legitimar o foco de nossa pesquisa é oportuno se traçar algumas ponderações sobre as técnicas e métodos escolhidos como fontes de informação para fins de combinação: Sistemas Multiagentes, Raciocínio Baseado em Casos, Ontologias e opinião de especialistas.

Sistemas Multiagentes (MAS) são sistemas computacionais capazes de ações autônomas, agindo de forma integrada e cooperativamente a fim de alcançarem os objetivos para os quais foram projetados (WOOLDRIDGE, 2009). Ou seja, é uma comunidade de agentes inter-relacionados atuando em um mesmo ambiente. O uso de sistemas multiagentes em aplicações educacionais e, mais especificamente, para apoiar implementações de recursos em ambientes virtuais de aprendizagem, tem se mostrado eficiente no que diz respeito ao gerenciamento e ao controle de atividades que requeiram autonomia de decisão a partir de observação, análise e cálculo de probabilidades (COPPIN, 2010). A adoção da abordagem de MAS em arquiteturas de aprendizagem é motivada por suas características de proatividade, interação e independência, as quais, quando aplicadas no contexto de um LMS podem contribuir para melhorias no processo de monitoramento de alunos e acompanhamento de cursos gerenciados por este ambiente (TELES LUCENA *et al.*, 2014a). Assim, optou-se por usar agentes de *software* neste trabalho com a finalidade de se conseguir elementos inteligentes e com autonomia de decisão, para gerenciar e recuperar conhecimento a fim de sugerir soluções adequadas a problemática proposta, visto que se tratam de resoluções distribuídas a partir de processos com fontes de informação distintas.

O Raciocínio Baseado em Casos (CBR) resolve novos problemas adaptando soluções que foram utilizadas para solucionar problemas antigos. Para isso, esta técnica realiza um processo de inferência que busca qual ação é a mais apropriada para a nova situação, com base nos casos anteriores e apreensão do domínio. O conhecimento armazenado em um sistema CBR está embutido nos casos, e em suas inter-relações (GARRIDO *et al.*, 2008). O CBR favorece o aprendizado com a experiência, pois geralmente é mais fácil aprender ao reter uma experiência concreta de solução de problemas do que generalizar a partir dela. Ainda assim, o aprendizado efetivo no CBR exige um conjunto de métodos para extrair o conhecimento relevante da experiência, integrar um caso em uma estrutura de conhecimento existente e indexá-lo para a correspondência posterior com casos semelhantes (AAMODT e PLAZA, 1994). Desta forma, foi escolhido o CBR para aproveitar o conhecimento relativo a casos acontecidos no passado, no contexto de cursos oferecidos na modalidade à distância.

Especialistas detêm o conhecimento implícito e empírico, provenientes de experiências adquiridas profissionalmente. Nesse sentido, quando suas opiniões são solicitadas, o entendimento subjetivo tem primordial influência nas decisões finais para a maioria das situações. Por isso, considerar a opinião de especialistas na área significa dar um respaldo significativo a indivíduos que possuem maior vivência, habilidade e domínio do assunto. Em modelos pedagógicos de EaD (BEHAR *et al.*, 2007), os especialistas são os

mediadores, coordenadores de cursos, professores e tutores que convivem diariamente com os problemas enfrentados por estudantes do ensino à distância. Especificamente no estudo de caso aqui proposto, as opiniões desses especialistas serão consideradas como mais uma fonte de informação a ser combinada com o intuito de recuperar conhecimentos para solucionar problemas.

Porém, para que essas fontes de informação consigam se comunicar em harmonia, com padronização dos termos e uma representação fiel do domínio a ser estudado, optou-se pela utilização de Ontologias para a formalização e tratamento das informações. Pois, as mesmas são um meio para facilitar a partilha e reutilização de estruturas de conhecimento entre organizações e aplicações com base em uma semântica bem definida e precisa para conceitos e termos (SALES, 2006). Atualmente, as tecnologias relacionadas às ontologias melhoraram a captação, organização, compartilhamento e o reuso do conhecimento. As Ontologias provaram ser úteis para projetar o compartilhamento de conhecimento em aplicações de CBR porque elas permitem o conhecimento já adquirido (MENDES *et al.*, 2013). Para Isotani e Bittencourt (2015), estruturas ontológicas são imprescindíveis para compreensão em sua totalidade dos conceitos básicos, os quais, geralmente, são definidos nos bancos de dados como simples regras de produção. Este entendimento global dos conceitos e suas relações favorece a reutilização e o compartilhamento do conhecimento.

I.3 Objetivos, Problema, Hipótese e Questões de Pesquisa

O objetivo geral desta tese é a recuperação do conhecimento explícito e tácito, no contexto de um ambiente computacional voltado para educação a distância. Para isso será viabilizada a utilização de diferentes fontes de informação, a fim de oferecer soluções para problemas enfrentados nessa modalidade formativa.

A fim de alcançar o objetivo principal, nossa pesquisa dividiu seu foco em três objetivos específicos, descritos a seguir.

I.3.1 Objetivos Específicos

1. Desenvolver um *framework* genérico, a partir de um modelo e de uma arquitetura de referência, que possibilite a recuperação dos conhecimentos tácito e explícito.
2. Aplicar técnicas de IA para viabilizar as ações do *framework* na utilização individual e na combinação de diferentes fontes de informação.
3. Aplicar o *framework* no contexto do estudo de caso proposto e instanciá-lo para realização da prova de conceito, para fins de validação.

I.3.2 Problema, Hipótese e Questões de Pesquisa

Tendo em vista as proposições e considerações anteriormente expostas e discutidas, pode-se resumir o problema-foco desta pesquisa na busca de respostas para a seguinte questão:

“Grande parte do conhecimento utilizado para resolver questões recorrentes no contexto de educação a distância é de caráter subjetivo, e ainda, informações específicas sobre situações anteriores semelhantes – incluindo-se dados acadêmicos e pedagógicos dos cursos – são subutilizados ou usados isoladamente”. Então, **como se pode aproveitar os conhecimentos tácito e explícito para prover soluções mais completas para problemas em um ambiente de EaD?**

A partir deste direcionamento, pode-se formular a seguinte hipótese de pesquisa para orientar esta tese:

O uso individual e a combinação de informações provenientes do tratamento de dados por diferentes técnicas de IA, para recuperação dos conhecimentos tácito e explícito, pode viabilizar soluções relevantes para problemas distintos no contexto da educação a distância.

A partir desta afirmação, serão investigadas respostas para as seguintes questões:

- **Q1:** Como recuperar os conhecimentos explícito e implícito (tácito), a partir do uso individual e da combinação das informações provenientes de técnicas de IA (MAS, CBR e Ontologias) e opinião de especialistas, no âmbito dos ambientes de EaD?
- **Q2:** O conhecimento recuperado apresenta soluções relevantes para a resolução de problemas frequentes em ambientes de EaD, a partir de sua aplicação no contexto do estudo de caso proposto?

I.4 Convenções e definições

Nesta seção são estabelecidas algumas convenções e definições para alguns termos a serem usadas durante todo o texto deste documento, com a finalidade de orientar o entendimento da pesquisa. Estas definições abrangem somente o escopo desta proposta.

- *Conhecimento:* neste trabalho será definido como o conjunto de sentenças e conclusões, em linguagem natural, sobre determinado problema (RUSSELL e NORVIG, 2009). No contexto de EaD, corresponde à experiência acumulada por

agentes humanos (usuários e especialistas) que fazem parte do processo decisório referente ao gerenciamento de cursos nessa modalidade.

- *Dados*: é um elemento observável, determinístico ou não, delimitado por um domínio (O'BRIEN, 2011).
- *Informação*: conjunto de dados e conhecimento organizados de forma a fornecer um significado que viabilize inferências sobre um fato (GORDON e GORDON, 2006).
- *Dados pedagógicos*: são os elementos referentes ao conteúdo instrucional, às atividades curriculares, tarefas, exercícios e avaliações, bem como às interações entre os atores do processo de ensino-aprendizagem, no âmbito de um curso (ROSINI, 2007).
- *Dados acadêmicos*: são os elementos referentes ao currículo, disciplinas, turmas, horário, notas, conceitos, avaliações e frequência, no âmbito de um curso (ROSINI, 2007).
- *Dados administrativos*: são os elementos referentes ao gerenciamento administrativo de um curso, como por exemplo, dados sobre polos, professores, coordenadores, tutores, infraestrutura física, recursos tecnológicos disponíveis, entre outros.
- *Aprendizado/Aprendizagem*: os termos aprendizado e aprendizagem serão usados como sinônimo. O aprendizado é o processo de se adquirir e maturar o conhecimento (ROSINI, 2007), contribuindo de alguma forma para uma mudança no comportamento cognitivo (BEHAR, *et al.*, 2007).
- *Modelo de aprendizagem ou aprendizado*: consiste em um modelo baseado nos aspectos pedagógicos, metodológicos e de tecnologia, que apoiam o processo educacional.
- *Arcabouço/Framework*: esses termos serão usados como sinônimos em nosso trabalho. *Framework* consiste em uma estrutura para abrigar soluções conceituais para determinado problema (PRESSMAN, 2011).
- *Usuário*: são os agentes humanos que utilizarão o *framework* para obter respostas a um problema, no contexto do gerenciamento de cursos em educação a distância. Os usuários alimentarão a *interface* com os dados de entrada para o problema proposto e poderão avaliar as soluções apresentadas.
- *Especialista*: é o agente humano que alimentará a base de dados com respostas para situações-problema. Além disso, também poderá avaliar as soluções retornadas pelo *framework*, ajudando assim no aprendizado da arquitetura.
- *Estudante/aluno/discente*: estes três termos serão usados no texto como sinônimos e correspondem ao agente humano que usará o LMS Moodle e estará matriculado em algum curso à distância.

I.5 Metodologia de Pesquisa

A metodologia de pesquisa para teses geralmente inclui a definição das fases ou etapas que compreendem todo o desenvolvimento da proposta apresentada, ou seja, refaz uma sequência de passos a serem seguidos para se chegar ao objetivo principal do trabalho (WAZLAWICK, 2014). A descrição dessas fases estabelece uma evolução de ações que culminarão na validação da hipótese e nas respostas às questões de pesquisa.

As etapas que compõem a metodologia de pesquisa adotada para esta tese agrupam-se basicamente em seis módulos. Conforme esquema descrito pelo fluxograma da Figura 1, pode-se verificar que os módulos oferecem possibilidade de retorno à etapa anterior, a fim de se permitir executar novamente os procedimentos.

Sendo:

1. Levantamento do Estado da Arte: esta primeira etapa divide-se em: (i) levantamento bibliográfico sobre as pesquisas atuais utilizando as técnicas de CBR, MAS e Ontologias, com a finalidade de identificar trabalhos correlatos a esta proposta. E (ii) separação e análise das pesquisas diretamente relacionadas ao tema dessa tese, cujas propostas sirvam de base o desenvolvimento do *framework* iDE.
2. Elaboração de um modelo de referência para o *framework* iDE: nesta fase foi elaborado o modelo de referência para servir de arcabouço abstrato para viabilização da arquitetura de referência a ser construída na próxima etapa. É onde são estabelecidas definições, padrões, regras e pseudoheurísticas que fazem parte do ambiente interno e externo do *framework*.
3. Desenvolvimento de uma arquitetura de referência para o *framework* iDE: consiste no projeto das soluções abstratas (que independem de produtos ou tecnologias), para a especificação das entidades e suas relações definidas do modelo de referência. É nesta etapa que são estabelecidas as funções dos agentes inteligentes, conforme o processo proposto para inferência e recuperação do conhecimento.
4. Aplicação do iDE: a aplicação do *framework* iDE fundamenta-se em sua adequação ao estudo de caso proposto. A descrição do processo de aplicação no contexto do estudo de caso encontra-se no capítulo VI.
5. Prova de conceito: após a adequação ao estudo de caso, a próxima etapa consiste na instanciação com dados reais do domínio proposto para realização de testes a fim de executar prova de conceito do *framework* iDE. Todos os experimentos foram realizados com aplicação de casos reais no *framework* iDE, seguidos de avaliação das respostas por parte de especialistas, serão descritos e executados nesta fase da pesquisa.

6. Avaliação dos resultados: nesta etapa serão analisados os resultados da aplicação individual e da combinação das informações para geração de possíveis soluções para o problema proposto por ocasião da instanciação do *framework*. Esta análise se baseará na avaliação de especialistas no domínio, cujo julgamento das soluções retornadas pela instanciação do *framework* iDE irá promover as ações de aprendizado do arcabouço.

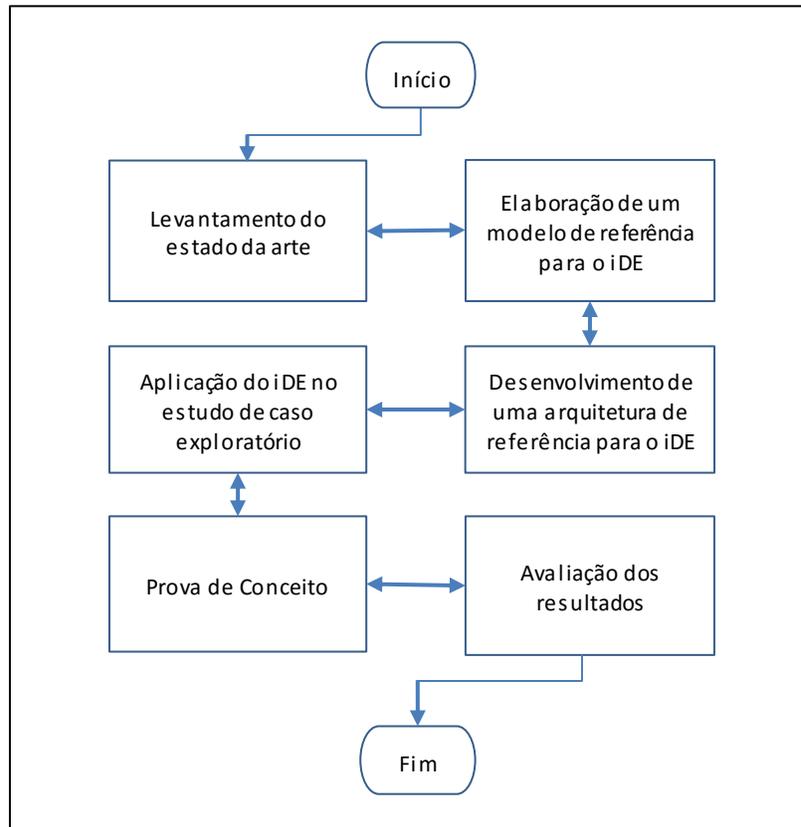


Figura 1 – Fluxograma da metodologia de pesquisa

O método científico adotado para validação do uso individual e da combinação proposta para recuperação do conhecimento a partir da exploração das fontes de evidência de informação, viabilizada pelo *framework* iDE, é o Estudo de Caso Exploratório (GERRING, 2004). Este método de pesquisa é bastante utilizado quando as questões de investigação são da forma “Por quê?”, “Como?”, “Qual?”, “O quanto?” (YIN, 2010), e enfoca eventos contemporâneos sem exigir análise de eventos comportamentais. Como as questões desta pesquisa concentram-se nas expressões “Como?” e “Qual?”, levando para inferências voltadas a um contexto explanatório, optou-se por seguir a linha exploratória do

estudo de caso, a qual estabelece como meta desenvolver hipóteses e proposições concernentes para pesquisas e experimentos posteriores (YIN, 2010).

No entanto, segundo Wazlawick (2014), somente a aplicação de um estudo de caso exploratório por si só não é suficiente para validar a hipótese de pesquisa, ainda que responda aos questionamentos estabelecidos. Desta forma, optou-se por acrescentar a esse método as características da Pesquisa Experimental (LAKATOS e MARCONI, 2006), que se identifica pela introdução de variáveis observáveis no ambiente da realidade pesquisada (ver subseção VII.1.2). Este tipo de pesquisa caracteriza-se pela observação e medição de variáveis para se chegar a conclusões sobre algum tipo de dependência com o objeto de experimento. O pesquisador deve provocar alterações no ambiente estudado e acompanhar possíveis alterações e intervenções no mesmo, analisando sistematicamente os resultados e comparando-os com a expectativa estabelecida (WAZLAWICK, 2014).

Nesta tese, a Pesquisa Experimental será executada através de uma Prova de Conceito¹, com a finalidade de validação das questões de pesquisa no contexto do estudo de caso proposto.

Para Wazlawick (2014), uma hipótese pode ser validada seguindo-se três passos:

- 1) Construção de uma teoria que, a partir de fatos e deduções verídicas, leve a pesquisa a conclusões válidas.
- 2) Realização de experimentos observáveis e controláveis a fim de validar a hipótese.
- 3) Evidências para veracidade da hipótese podem ser conseguidas a partir de estudos comparativos e de casos, levantamentos e experimentação direta.

Portanto, pode-se resumir o método empregado para validação desta pesquisa em uma aplicação combinada de Estudo de Caso Exploratório e Pesquisa Experimental. O estudo de caso será realizado pela aplicação da prova de conceito no contexto de domínio do Centro de Educação a Distância (CED/UFAM). Espera-se que, com tal adoção, se consiga reunir evidências de validade que comprovem a legitimidade da hipótese de pesquisa.

I.6 Estrutura da Proposta

Esta tese está estruturada nos seguintes capítulos:

- **Capítulo 2:** Trata da fundamentação teórica necessária ao entendimento dos conceitos utilizados neste trabalho.
- **Capítulo 3:** Descreve o levantamento do estado da arte e as principais pesquisas utilizando MAS, CBR e Ontologias. A segunda parte deste capítulo apresenta os

¹*Proof of Concept* (PoC): Estratégias para provar um conceito ou teoria a partir de ações práticas.

trabalhos mais relacionados com nossa pesquisa, analisando sua importância para o desenvolvimento do *framework* iDE.

- **Capítulo 4:** Apresenta a proposta para a utilização individual e combinação de informações provenientes da utilização das técnicas de IA e da opinião de especialistas. Estabelece a formalização das estratégias de abordagem ao conhecimento e a terminologia usada para o desenvolvimento do *framework*.
- **Capítulo 5:** Detalha o desenvolvimento do *framework* iDE descrevendo a implementação do sistema multiagente que o caracteriza.
- **Capítulo 6:** Descreve o estudo de caso proposto como forma de aplicação do *framework* iDE. Apresenta também a estrutura ontológica usada para representação do domínio do objeto de estudo.
- **Capítulo 7:** Trata da instanciação do *framework* através de uma prova de conceito dentro do contexto do estudo de caso proposto. Descreve os experimentos e analisa os resultados sob o enfoque da recuperação do conhecimento e as soluções propostas pelo *framework* iDE.
- **Capítulo 8:** Traz as considerações finais, analisando as contribuições da pesquisa e as observações sobre as vantagens e desvantagens do trabalho feita pelos especialistas envolvidos nos experimentos. O capítulo traz ainda as propostas de trabalhos futuros, direcionando novas frentes de contribuições para o *framework* iDE.

II Fundamentação Teórica

Esta seção aborda os principais conceitos relacionados ao desenvolvimento deste trabalho, e está organizada em três partes: a primeira explora algumas reflexões sobre modelos pedagógicos aplicados em EaD, ambientes virtuais de aprendizagem e modelos de aprendizagem baseados em tecnologia. Estas definições são necessárias para embasar a discussão sobre as questões de pesquisa que justificam e motivam esta tese.

A segunda parte apresenta uma breve explanação sobre a representação do conhecimento e sua importância para o processo de aprendizagem. Nesta seção são discutidos os tipos de conhecimento e o modelo SECI (NONAKA e TAKEUCHI, 1995), bem como a influência do processo do mesmo em um domínio educacional.

As técnicas de Inteligência Artificial que serão utilizadas na solução tecnológica apresentada pelo *framework* iDE serão detalhadas na última parte desta seção. Os conceitos de Raciocínio Baseado em Casos e Sistemas Multiagentes Inteligentes serão analisados sob o ponto de vista do problema de adaptação e aproveitamento de conhecimento e experiências anteriores. A construção de ontologias e sua importância serão discutidas como meio de formalização do conhecimento inerente ao estudo de caso proposto.

II.1 Modelos e tecnologias para aprendizado à distância

Nesta seção serão apresentadas algumas definições de modelos pedagógicos voltados para educação a distância, modelos de aprendizagem baseados em tecnologia e algumas questões sobre ambientes virtuais de aprendizagem. Estes conceitos estão diretamente relacionados ao desenvolvimento de nossa pesquisa.

II.1.1 Modelos Pedagógicos em EaD

Para se definir um modelo pedagógico para cursos à distância deverão ser considerados os aspectos organizacionais, metodológicos e de tecnologia de suporte (BEHAR, 2007). As competências pedagógicas precisam ser adaptadas à realidade específica desta modalidade educacional, onde o aluno necessita desenvolver habilidades escritas, de comunicação e de interação diferentes do ambiente presencial em sala de aula. Deste modo, é fundamental uma revisão na percepção dos conceitos de espaço e tempo no processo de ensino-aprendizagem em educação a distância. O modelo ideal tem que prever uma flexibilidade nas formas de assimilação de conteúdo e de avaliação, visto que o aprendiz geralmente se encontrará distante fisicamente dos instrutores e as atividades serão realizadas em horários diversos em uma mesma turma (CORRÊA, 2007).

Segundo Behar *et al.* (2007), um modelo pedagógico para EaD deverá ser “*um sistema de premissas teóricas que representa, explica e orienta a forma como se aborda o*

currículo e que se concretiza nas práticas pedagógicas e nas interações professor/aluno/objeto de estudo”. Assim, não se trata de uma simples adaptação do modelo de educação tradicional, onde o aprendizado ocorre a partir do binômio relacional *professor-aluno* (um para muitos), e sim de um novo aspecto na obtenção do conhecimento, que expande as possibilidades de colaboração e interação entre “*professores e alunos*”, “*alunos e alunos*” e “*alunos e recursos midiáticos*” (muitos para muitos).

Os modelos específicos para EaD se baseiam em teoria educacionais para orientar a aprendizagem, sendo que a arquitetura pedagógica apresentada deve ser estruturada em quatro elementos constituintes, conforme Figura 2:

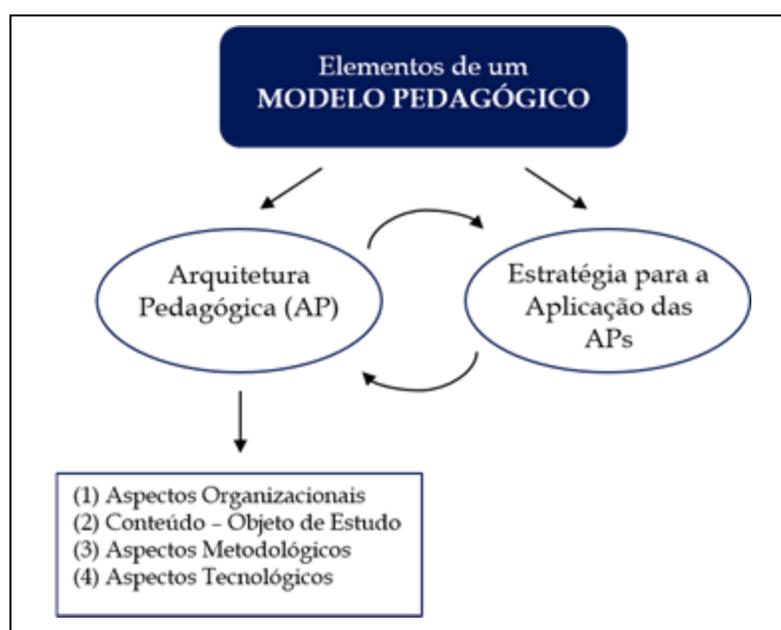


Figura 2 – Elementos de um modelo pedagógico em EaD.
Fonte: Adaptado de Behar *et al.* (2007)

- 1) Aspectos Organizacionais: fundamentação do planejamento e da proposta pedagógica;
- 2) Conteúdo – Objeto de Estudo: elaboração de conteúdo instrucional para EaD;
- 3) Aspectos Metodológicos: estratégias pedagógicas, exercícios, atividades avaliativas e designação de procedimentos didáticos para o decorrer do curso;
- 4) Aspectos Tecnológicos: definição do ambiente virtual e outras ferramentas e recursos midiáticos.

Assim sendo, o aprendizado efetivo no ensino a distância é construído a partir de arquiteturas pedagógicas que combinem a fundamentação de uma teoria educacional com as

tecnologias de informação comunicação, cujos modelos devem ser desenvolvidos de acordo com experiências colaborativas e reflexivas, resultantes da avaliação da qualidade do ensino.

Carvalho, Nevado e Menezes (2005) definem arquiteturas pedagógicas como “estruturas de aprendizagem realizadas a partir da confluência de diferentes componentes: abordagem pedagógica, software, Internet, elementos de IA, educação a distância, concepção de tempo e espaço”. Assim, os modelos pedagógicos geralmente fazem uso de um ambiente virtual para o gerenciamento das atividades pedagógicas e acadêmicas e facilitam o acompanhamento da interação, comunicação e cooperação entre mediadores e estudantes.

Como o ambiente proposto para o estudo de caso fundamenta-se em um modelo de EaD baseado em tecnologia, foi necessário um levantamento de sua estrutura pedagógica e tecnológica para se retratar com maior fidelidade o cenário estudado. Para a criação da ontologia de domínio que mapeasse todas as características do contexto do estudo de caso, foram detalhados os aspectos metodológicos, administrativos, logísticos, pedagógicos e de recursos tecnológicos disponíveis no modelo da instituição de ensino a distância observada.

II.1.2 Ambientes Virtuais de Aprendizagem

Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs), também conhecidos por *Learning Management Systems* (LMS) ou *Virtual Learning Systems* (VLS), consistem em um sistema de *softwares* que simulam ambientes de aprendizado de forma virtual, utilizando ferramentas midiáticas com objetivo de promover o processo de ensino/aprendizagem (PEREIRA, 2007). Nesta proposta será adotada a sigla LMS para se referir aos ambientes virtuais de aprendizagem, tendo em vista que a maior parte dos trabalhos de pesquisa relacionados ao nosso se encontram no idioma inglês.

Por contar com várias funcionalidades úteis que dão suporte tanto ao aluno quanto ao professor, os LMS facilitam a interação, a independência e a proatividade nas relações (BARBOSA, 2005). Recursos como fóruns e mensagens, oferecidos nestes ambientes, permitem que o docente disponibilize material didático e comunique-se com seus alunos. O estudante, por sua vez, consegue postar suas atividades, interagir com professores, tutores e com demais colegas, dentre muitas outras possibilidades. Tais ambientes são aplicáveis a todas as modalidades de ensino: educação a distância, semipresencial e presencial.

Conforme Moore (2007), os ambientes virtuais de aprendizagem foram criados para facilitar e apoiar o processo de ensino-aprendizagem através do uso de tecnologia. O uso de LMS coloca-se como uma mudança conceitual na forma de ensinar e compartilhar o conhecimento por parte dos envolvidos na experiência educacional. Estes ambientes são baseados em princípios pedagógicos construtivistas, onde o aluno tem a possibilidade de construir seus conhecimentos sem restrições de tempo e espaço de acordo com seu interesse, disponibilidade e necessidade.

O potencial dos LMS torna o aprendizado mais dinâmico, interativo, ativo e personalizado, pois oferece ao docente e ao discente, maiores e melhores oportunidades de interação e colaboração (PEREIRA, 2007). O conteúdo é repassado e compartilhado com a comunidade virtual e, deste modo, o conhecimento é sedimentado.

O gerenciamento do aprendizado em um LMS deve ser acompanhado por gestores educacionais e mediadores de cursos com experiência nestes ambientes, pois a apreensão do conhecimento acontece não somente pelo uso do recurso tecnológico, mas também pela estimulação de ações colaborativas e interativas no ambiente virtual.

As funcionalidades de um LMS podem ser agrupadas em quatro grupos de ferramentas, segundo Gonzales (2005):

- 1) **Coordenação** – Ferramentas que oferecem suporte a tarefas de coordenação e organização de um curso virtual. Permitem a disponibilização de materiais didáticos e recursos pedagógicos;
- 2) **Comunicação** – Oferecem os recursos de comunicação no ambiente virtual, como *e-mails*, fóruns, *chats* e conferências *online*;
- 3) **Cooperação** – Ferramentas que possibilitam a disponibilização de produção individual e em grupo, facilitando o compartilhamento de informações. Ex: murais e diários de bordo;
- 4) **Administração** – Ferramentas de gerenciamento do ambiente virtual e do curso.

Para Boneu (2007), qualquer LMS deve abranger quatro características básicas: interatividade, flexibilidade, escalabilidade e padronização. Os LMS se estabelecem como facilitadores do processo de ensino-aprendizagem e de produção de material didático adequado, contribuindo para a proposta inovadora de um novo paradigma educacional, baseado em autonomia e autodisciplina do estudante (ROSINI, 2007).

Kenski (2012) classifica ainda os LMS em dois tipos:

- De distribuição gratuita e de código livre, por exemplo: Amadeus², Teleduc³, e-Proinfo⁴, Moodle (2017).
- Os “comerciais”, ou seja, de plataforma proprietária, por exemplo: Blackboard⁵ e LearningSpace⁶.

Este trabalho utilizará o LMS Moodle para os experimentos do estudo de caso proposto. O Moodle será mais bem descrito na seção V.1 por se tratar do LMS usado pelos

² <http://amadeus.cin.ufpe>

³ <http://www.teleduc.org.br>

⁴ <http://e-proinfo.mec.gov.br/e-proinfo>

⁵ <http://br.blackboard.com/>

⁶ <http://www.learningspace.org/>

aplicativos de acompanhamento de desempenho de estudantes, a serem incorporados como fonte de informação no *framework* iDE.

Estes aplicativos acompanham a difusão das tecnologias móveis e sem fio (TIMS) no cotidiano das pessoas e o consequente avanço da utilização de *smartphones* e *tablets*. Assim sendo, percebe-se a oportunidade e a necessidade de se adaptar tais equipamentos no cenário educacional através de modelos de aprendizagem baseados em TICs (Tecnologias da Informação e Comunicação), como é o caso do modelo baseado em tecnologia do estudo de caso proposto.

Nesse sentido, o arcabouço aqui apresentado também tratou informações provenientes de dispositivos móveis, pois os aplicativos desenvolvidos para o Moodle, e acessados por um agente inteligente específico, recolhem dados de aparatos de comunicação móveis.

II.1.3 Modelos de aprendizagem baseados em tecnologia

Esta seção descreve os principais modelos de aprendizagem que se baseiam nas Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) e suas características e aplicações no contexto da educação a distância. Os aplicativos direcionados a *e-learning*, *m-learning* e *b-learning* associados às funcionalidades do LMS Moodle serão utilizados pelo *framework* iDE como fonte de informação a ser combinada para recuperação do conhecimento.

II.1.3.1 E-learning

O termo *e-learning*, *electronic learning* ou aprendizado por meio virtual ou “eletrônico”, é também conhecido por educação *online*. O *e-learning* desenvolve o aprendizado interativo através do uso das tecnologias de informação e comunicação e a Web (ROSINI, 2007). Neste modelo de aprendizado, o conteúdo é disponibilizado de forma virtual e o aluno pode receber de forma virtual a avaliação de seu desempenho. Esse acompanhamento acadêmico geralmente é feito por meio de sistemas gerenciadores de aprendizagem (MOORE, 2011).

Mandala *et al.* (2013) considera o *e-learning* com uma das respostas mais poderosas e atuais para a crescente necessidade de educação *online* e pode ser tão eficaz quanto as aulas convencionais, pois o modelo tem um impacto positivo não só para os estudantes, mas também para os instrutores e mediadores de cursos. O *e-learning* auxilia as organizações educacionais porque melhora os custos de treinamento, diminui os custos com material didático, aumenta a produtividade de alunos e professores e fornece uma padronização de conteúdo. Ele apoia o desenvolvimento acadêmico do aluno oferecendo possibilidades de personalização da aprendizagem (BARBOSA, 2005).

Com base nas restrições temporais impostas ao processo de aprendizagem, o *e-learning* pode ser classificado em duas categorias (MANDALA, 2013): assíncrona e síncrona. Na forma assíncrona, os alunos podem acessar um sistema de *e-learning* (por exemplo, um LMS) para baixar o conteúdo ou enviar mensagens para tutores ou colegas a qualquer momento. Esta forma facilita a interação *off-line* e apoia a colaboração entre os elementos que não estão *online* ao mesmo tempo, o que caracteriza o *e-learning* como um modelo de aprendizagem bastante flexível. Por outro lado, a forma síncrona permite aos usuários participarem de uma sessão para a interação ao vivo entre professor ou tutor e aluno. Esta forma é apoiada pelos meios de comunicação como a videoconferência e bate-papo, e permite aos usuários desenvolver comunidades de aprendizagem *online*.

Assim sendo, o *e-learning* permite a definição de uma metodologia pedagógica para um modelo de aprendizado baseado em tecnologia e a utilização recursos de áudio, de vídeo e de ferramentas de interatividade, e oferece aos discentes uma experiência acadêmica inovadora e eficaz.

II.1.3.2 M-learning

A aprendizagem móvel, denominada de *mobile-learning* ou somente *m-learning*, consiste no aprendizado realizado fazendo-se uso de dispositivos móveis e portáteis com recursos computacionais. Estes dispositivos podem incluir *smartphones*, *tablets*, assistentes pessoais digitais (PDAs) e similares (BEHERA, 2013). A aprendizagem móvel refere-se à utilização de dispositivos móveis ou sem fio para o propósito de aprender enquanto se desloca.

Para Saccol *et al.* (2011), o *m-learning* é mais do que uma extensão do *e-learning*, porque, além de auxiliar na aprendizagem por meio virtual, também pode maximizar o ensino presencial, tornando a experiência do uso da tecnologia móvel mais eficaz para aprendizado final. A principal distinção entre essa tecnologia e as outras emergentes são as características de mobilidade e portabilidade que os dispositivos móveis oferecem. Pois, o *mobile-learning* define-se como um modelo de aprendizagem sem fio que não é restrito ou limitado a locais específicos.

Os principais elementos que caracterizam o *m-learning* são (SACCOL, 2011):

- Controle e autonomia da aprendizagem;
- Aprendizagem em contexto de tempo e espaço;
- Continuidade e espontaneidade do aprendizado;
- Espontaneidade e oportunismo;
- Acessibilidade, imediatismo e interatividade;

A portabilidade de dispositivos móveis e sua capacidade de se conectar à Internet (por um custo relativamente baixo) em quase qualquer lugar, faz de tais dispositivos ferramentas ideais para o aperfeiçoamento de experiências pedagógicas (CASANY *et al.*, 2012). Desta maneira, o uso de telefones celulares como uma tecnologia de fácil acesso terá um grande impacto na aprendizagem e ensino dentro dos próximos anos.

Para Naismith *et al.* (2004), as tecnologias móveis têm um papel especial, visto que aumentam as oportunidades de comunicação e interação. Algumas das contribuições do aprendizado móvel introduzidas como desafios e oportunidades no contexto pedagógico são (SHARPLES *et al.*, 2005):

- Processo centrado no aluno;
- Nova alternativa para o acesso a informações;
- Incentivo à aprendizagem colaborativa.

Portanto, pode-se afirmar que a flexibilidade e mobilidade aumentam as possibilidades do *m-learning* de enriquecer o processo de ensino-aprendizagem, visto que aprimora recursos de e-learning, melhorando a comunicação e interação entre mediadores e alunos.

II.1.3.3 B-learning

O modelo *blended learning* (ou *b-learning*) é definido como uma "integração efetiva de diversas técnicas de aprendizagem, tecnologias e modalidades de acesso a conteúdo para atender a comunicação específica, a partilha de conhecimentos e necessidades de informação" (WHITELOCK, 2003).

De acordo com Finn (2008), os modelos de ensino-aprendizagem que combinam estes elementos tornam-se um novo método dentro dos conceitos de diferentes propostas pedagógicas. Tal modelo, também denominado de ensino híbrido, apresenta vantagens reais quando há uma necessidade de se incluir recursos tecnológicos distintos como elementos de multimídia e salas de aula virtuais, como suporte para as abordagens tradicionais de aprendizagem.

Esse modelo une o ensino presencial com o virtual e vem se tornando uma tendência educacional atualmente bastante explorada (HORN e STAKER, 2015). A integração de tecnologias e recursos de aprendizado com os modelos tradicionais trouxe mais dinamicidade às metodologias de ensino apoiadas nas TICs. Introduzir o *blended e-learning* nas instituições de ensino requer a integração de estratégias do ensino presencial com o ensino à distância, incluindo o uso de ambientes virtuais de aprendizagem para gerenciar a aprendizagem virtual (AGUTI *et al.*, 2014).

Combinar os elementos dos modelos *e-learning* e *m-learning* com abordagens tradicionais de ensino caracterizam o ensino híbrido como uma proposta para tornar o aprendizado mais atraente ao aluno e conseqüentemente aumentar sua eficiência.

Quando se adaptam os conceitos de *blended learning* em aplicativos acoplados aos ambientes virtuais de aprendizagem, consegue-se aumentar a eficiência do acompanhamento do desempenho dos alunos em cursos oferecidos na modalidade à distância.

II.2 A recuperação do conhecimento e o processo de aprendizagem

Recuperar o conhecimento e utilizá-lo para tomar decisões corretas para questões, corriqueiras ou não, consiste em um desafio constante de organizações empresariais ou instituições educacionais. Para Azevedo *et al.* (2010), “o conhecimento pode ser entendido como o conjunto de crenças, esquemas e modelos mentais sobre os quais são geradas decisões”. Assim, no âmbito do aproveitamento do conhecimento e na sua reutilização, surgem alguns questionamentos: como utilizar todos os aspectos de tal conjunto para embasar e sedimentar ações de intervenção e decisões? Como se pode associar aprendizagem e conhecimento para se relacionarem harmonicamente e de forma sistêmica?

A transferência do conhecimento, seja ele tácito ou explícito, tende a acontecer de modo compartilhado quando se trata de uma organização, porém, sua formalização deve passar por etapas como a combinação de tipos de conhecimento e a conversão de ideias, a fim de que ocorra o aprendizado a partir do mesmo. A coleta e o tratamento constante de novos conhecimentos para uso posterior fazem parte da estratégia para facilitar o aprendizado e reutilização das informações úteis na solução de problemas organizacionais (SCHNEIDER, 2009).

Para isso é importante que o conhecimento seja dividido e gerenciado, e, segundo Nonaka e Takeuchi (1995), são dois tipos de conhecimento existentes: o tácito e o explícito. O primeiro, diz respeito às experiências individuais e subjetivas, e não está formalizado e nem expresso em documentos, faz parte somente da consciência da pessoa, sendo repassado, geralmente, de forma oral e informal. Para os pesquisadores, esse é o conhecimento mais importante e mais difícil de ser mapeado. Por outro lado, o conhecimento explícito é aquele que está representado e caracterizado formalmente para ser difundido objetivamente, através de documentos, relatórios, livros, banco de dados, etc. Esse conhecimento pode ser facilmente transmitido, visto que sua representação é facilmente identificável (NONAKA e TEECE, 2001).

Nonaka e Takeuchi introduziram o modelo SECI (NONAKA e TAKEUCHI, 1995), que se tornou fundamental para as teorias de transferência de conhecimento. Eles propuseram quatro maneiras pelas quais os tipos de conhecimento podem ser combinados e convertidos

em informação, mostrando como o conhecimento é compartilhado e criado na organização. O modelo baseia-se nos dois tipos de conhecimento (tácito e explícito) e é formado por esquema de espiral que engloba quatro partes, as quais podem ser combinadas e convertidas, simbolizando as formas de compartilhamento do conhecimento (Figura 3). Nesse modelo, o conhecimento é continuamente convertido e criado à medida que os usuários praticam, colaboram, interagem e aprendem.

O processo deve ser visto como uma cadeia contínua e dinâmica em vez de um modelo estático. É basicamente uma representação visual de processos ininterruptos sobrepostos que ocorrem em uma organização, pois para os pesquisadores, o conhecimento se origina nas pessoas sendo criado através da interação entre tipos diferentes de conhecimento. No modelo SECI (**S**ocialização, **E**xternalização, **C**ombinação e **I**nternalização), o conhecimento é criado, explorado e mantido, sendo que para viabilizar esse processo devem ser determinados meios eficazes de gerenciá-lo (NONAKA e TAKEUCHI, 1995).

As etapas do modelo SECI são descritas a seguir:

- 1) **Socialização**: Tácito a Tácito. O conhecimento é transmitido através da prática, orientação, imitação e observação.
- 2) **Externalização**: Tácito para Explícito. Isto é considerado como um mecanismo de conversão difícil e importante. O conhecimento tácito é codificado em documentos, manuais, etc. para que ele possa se espalhar mais facilmente através da organização. Uma vez que o conhecimento tácito pode ser praticamente impossível de codificar, a extensão deste mecanismo de conversão de conhecimento é discutível. O uso da metáfora é citado como um importante mecanismo de externalização.
- 3) **Combinação**: Explícito a Explícito. Esta é a forma mais simples. Fontes de conhecimento codificadas (por exemplo, documentos) são combinadas para criar novos conhecimentos.
- 4) **Internalização**: Explícito a Tácito. Como fontes explícitas são usadas e aprendidas, o conhecimento é internalizado, modificando o conhecimento tácito existente do usuário.

A maioria das pesquisas da área de Gestão do Conhecimento e que citam o modelo SECI tem demonstrado sua aplicabilidade, principalmente, no que diz respeito à recuperação do conhecimento em culturas organizacionais distintas (ANDREEVA e IKHILCHIK, 2011).



Figura 3 – Modelo SECI
 Fonte: Adaptado de Nonaka e Takeuchi (1995).

A Figura 4 detalha o modelo SECI, descrevendo o processo de aprendizagem e transformação dos dois tipos de conhecimento, tácito e explícito.

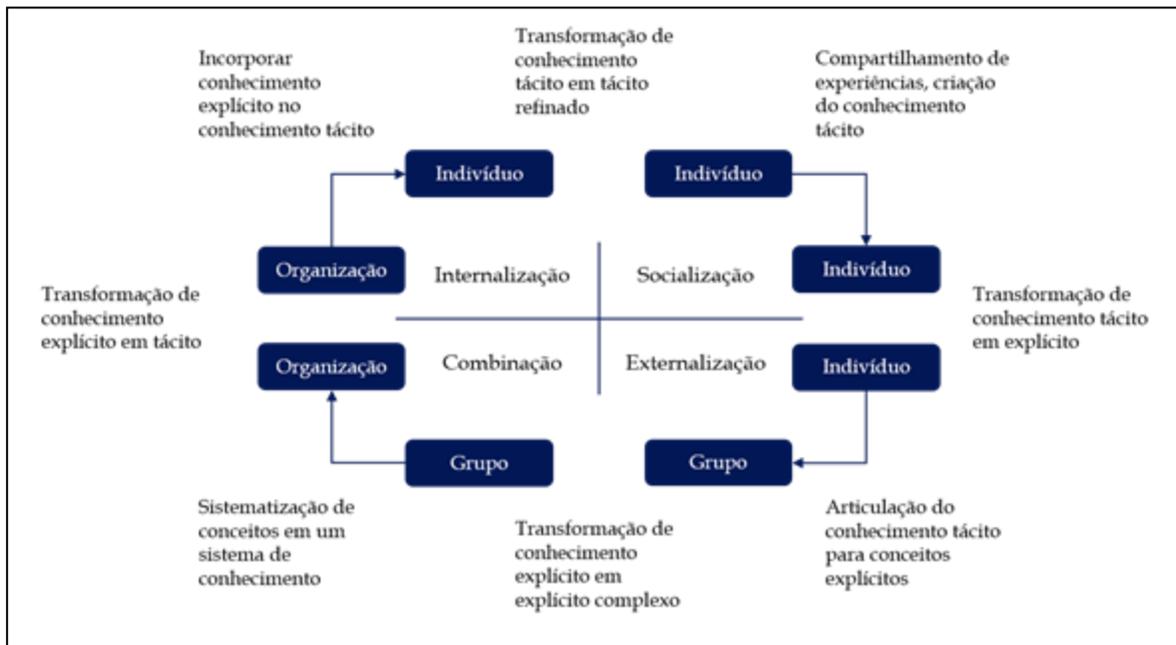


Figura 4– Modelo de aprendizagem detalhado
 Fonte: Adaptado de Takeuchi e Nonaka (1995).

Esse modelo ainda se estabelece como fundamental para teoria da conversão de conhecimento dentro da Gestão do Conhecimento, devido à adaptação natural a diversos aspectos do conhecimento da vida de uma organização, independente das características institucionais (ANDREEVA e IKHILCHIK, 2011).

Para esta pesquisa de doutorado, o modelo SECI servirá de base para a proposta de recuperação do conhecimento, em um contexto de educação a distância, a partir da combinação de fontes diferentes de informação, que oferecem originalmente tanto conhecimento tácito como o explícito. Para isso também serão utilizadas as etapas de recuperação do conhecimento proposta por Alavi e Leidner (2001), a partir do modelo SECI:

- 1) **Criação:** consiste na apresentação de um novo conhecimento ou ainda a substituição do conhecimento antigo e armazenado por um mais atualizado. Os geradores desse novo conhecimento podem ser elementos da organização ou fatores externos ao ambiente.
- 2) **Armazenamento e recuperação:** nesta etapa, o novo conhecimento é armazenado e permitido o acesso ao mesmo. A atualização e manutenção do mesmo é uma peça chave para o processo, pois evita a utilização de conhecimento ultrapassado, inútil e obsoleto (RODRÍGUEZ-ELIAS *et al.*, 2008).
- 3) **Transferência e aplicação:** Etapa do emprego efetivo do conhecimento no contexto para o qual é solicitado. Nesse momento, podem ser utilizadas tecnologias para auxílio no uso e na inserção do conhecimento no domínio em questão (ALAVI e LEIDNER, 2001). Segundo Rodríguez-Elias *et al.* (2008), são essas experiências diretas com o conhecimento que compõem o saber especialista.

Na literatura pode-se citar alguns trabalhos que utilizaram essas etapas como objetivos para pesquisa em recuperação de conhecimento em uma cultura organizacional, de cunho educativo ou não, como por exemplo em Viana (2015) e Menolli (2013). A revisão de literatura do capítulo III cita mais alguns trabalhos que relacionam esse modelo a aplicações educacionais.

O modelo SECI será incorporado ao Modelo de Referência do *framework* iDE, cuja implementação descreverá as entidades e suas relações, dentro da proposta do *framework* iDE de recuperar e tratar os conhecimentos tácito e explícito.

II.3 Técnicas de Inteligência Artificial

As técnicas de IA selecionadas para serem testadas no âmbito do arcabouço iDE foram escolhidas a partir do levantamento bibliográfico de pesquisas que utilizaram as mesmas em soluções educacionais. Na maioria dos trabalhos, o uso dessas técnicas para obtenção de resultados foi de forma individual, ou no máximo, com a combinação de duas delas.

Para estas pesquisas, optou-se pelo Raciocínio Baseado em Casos, pela utilização de um Sistema Multiagente e de uma Ontologia, sendo que as informações retornadas por essas técnicas foram submetidas a uma combinação a fim de serem geradas soluções mais

completas para o problema submetido ao *framework*. A seguir, serão discutidas cada uma dessas técnicas e os detalhes de implementação e incorporação ao iDE serão discutidos no capítulo V.

II.3.1 Raciocínio Baseado em Casos

Raciocínio Baseado em Casos (RBC) ou *Case-Based Reasoning* (CBR) consiste em uma forma de representação e recuperação do conhecimento, cuja modelagem é realizada por casos (WANGENHEIM, WANGENHEIM e RATEKE, 2013). Neste trabalho será adotada a sigla CBR para se referir a esta técnica.

Esta abordagem tem origem na teoria de *Memória Dinâmica* de Schank (1982), onde o aprendizado é baseado em experiências de memórias episódicas e as soluções são geradas a partir de um modelo cognitivo que procura simular o raciocínio humano. Em 1983, Kolodner (1983) desenvolveu o sistema CYRUS, considerado o primeiro raciocinador baseado em casos. O modelo de aprendizado deste sistema é baseado em memória dinâmica e na resolução de problemas a partir da análise de casos passados semelhantes.

Aamodt e Plaza (1994) destacam que a forma com que um sistema CBR “aprende” com soluções anteriores caracteriza essa técnica como um subcampo de aprendizado de máquina (*Machine Learning* – ML). A maneira como o CBR trabalha seu raciocínio particular denota um paradigma de ML, visto que permite uma aprendizagem estruturada na atualização na base de casos após a resolução do problema. Aprender em CBR ocorre como um subproduto natural da resolução de problemas. Quando um problema é resolvido com êxito, a experiência é mantida para resolver problemas semelhantes no futuro. Quando uma tentativa de resolver um problema falha, o motivo da falha é identificado e lembrado, a fim de evitar o mesmo erro em ocasiões futuras.

Geralmente o CBR é usado a partir de sistemas especialistas que solucionam problemas ao recuperar, adaptar e reutilizar soluções armazenadas em uma base de casos (WANGENHEIM e WANGENHEIM, 2003).

De acordo com Martin e León (2012), o CBR também é amplamente discutido na literatura como uma tecnologia para a construção de sistemas de informação que apoiam a gestão do conhecimento, utilizando descrições de metadados para a caracterização do mesmo.

Um sistema que implementa CBR, e identifica semelhanças entre os casos, realiza sua aprendizagem através de duas formas (KOLODNER, 1993):

- Acumulação de novos casos: quanto mais exemplos e contextos diferentes, mais soluções candidatas poderão ser avaliadas;

- Atribuição de índices ou medida de similaridade: atributos chaves dos casos são utilizados para indicar o quanto um caso é semelhante a outro. Ou seja, a medida de similaridade é usada para identificar na base, casos anteriores relevantes para o problema em questão.

O modelo mais usado para definir o processo do CBR é o proposto por Aamodt e Plaza (1994), denominado Ciclo de CBR e composto por quatro estágios (Figura 5):

- 1) **Recuperação:** identifica na base de casos, os mais similares ao problema.
- 2) **Reutilização:** utiliza estes casos para compor a nova solução.
- 3) **Revisão:** verifica se a solução proposta atende ao problema.
- 4) **Retenção:** armazena a solução atual e a retém como novo caso para futura utilização em outras consultas.

Uma das grandes vantagens do uso de CBR em sistemas especialistas é a adaptação e recuperação de situações passadas em problemas atuais. Convém ressaltar que os novos casos não serão idênticos aos anteriores, porém os procedimentos aplicados podem ser aproveitados e reutilizados.



Figura 5 – Ciclo do CBR.
Fonte: Adaptado de Aamodt e Plaza (1994).

Os detalhes de implementação de cada etapa deste ciclo, bem como do cálculo das medidas de similaridade adotada por esta proposta serão discutidos no Capítulo V.

II.3.2 Sistemas Multiagentes

Agentes inteligentes são elementos que percebem o ambiente e conseguem interagir com ele utilizando habilidades inteligentes (RUSSELL e NORVIG, 2009). Cada agente

possui funções que respondem com uma ação a uma sequência de estímulos externos. Segundo Coppin (2010), um agente inteligente é capaz de identificar e analisar o ambiente em que atuará, adaptando-se a condições mutáveis e inesperadas. Alguns agentes são projetados com a capacidade de aprendizado, e assim absorver informações a partir de seu próprio desempenho e das respostas do ambiente em que atuou, aprimorando sua própria performance. As principais características de um agente são: inteligência, autonomia, capacidade de aprender e cooperação.

Para Alonso (2002), é a autonomia a característica que melhor define um agente inteligente. Em um programa comum, sua execução é solicitada externamente, pelo usuário ou outro sistema; no caso de um agente isso não ocorre, pois eles decidem por si mesmo quando e como devem executar suas funções. Um agente sempre tem um objetivo para agir, ou seja, não faz “nada de graça”, afirma Wooldridge (2009).

Flexibilidade e atitude social também são peculiaridades dos agentes, pois ao se projetá-los, é impossível prever todas as situações potenciais e especificar um comportamento antecipadamente. A sociabilidade consiste que, em um ambiente povoado por objetos heterogêneos, os agentes devem ter a capacidade de reconhecer seus oponentes e formar grupos quando for necessário (ALONSO, 2002).

Deste modo, as ações de aprendizado e de adaptação ao ambiente são primordiais para um agente. Pois, a inteligência e a aprendizagem relacionadas a domínios incertos – onde os agentes de *software* não tomam decisões até que os dados relevantes tenham sido coletados e analisados adequadamente –, são de importância fundamental para um sistema inteligente (ALONSO, 2002).

Um sistema multiagente (MAS) é um conjunto de programas que implementam as funções de agentes de forma integrada e são uma maneira de explorar a capacidade potencial de cada agente (COPPIN, 2010). Wooldridge (2009) estabelece como sistemas multiagentes aqueles sistemas computacionais com capacidade de realização de atividades autônomas, independência de ações integradas e cooperativas. O projeto de um MAS requer principalmente autonomia de decisão e a definição detalhada de funcionalidades para os agentes de *software* que o compõem. A própria essência dos sistemas multiagentes é a sua identidade na estrutura organizacional no ambiente em que atua.

Normalmente, tais sistemas são utilizados na resolução distribuída de problemas complexos e que exijam a atuação de agentes inteligentes (RUSSELL e NORVIG, 2009). Os agentes que formam um MAS devem trabalhar com comunicação e colaboração, pois repassam informações entre si sobre mudanças no ambiente ou sobre novos aprendizados.

O funcionamento e as etapas de raciocínio de um agente de *software* na composição de um sistema multiagente podem ser basicamente esquematizados pelo ciclo da Figura 6.

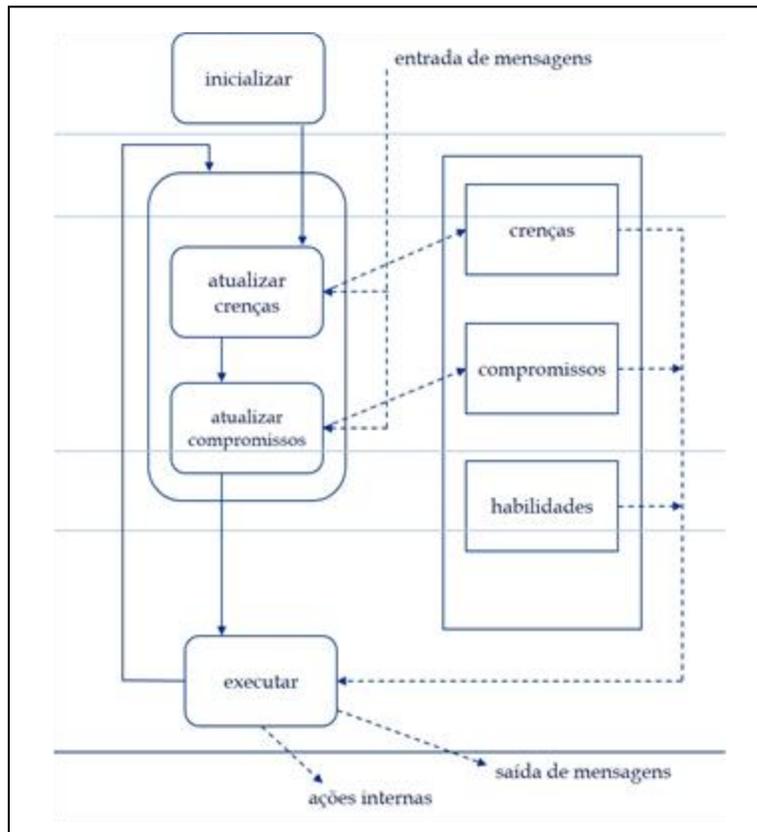


Figura 6 – Ciclo de raciocínio de um agente na composição de um MAS.
 Fonte: Adaptado de Wooldridge (2009).

De modo resumido, os principais passos para ações de raciocínio de um agente, conforme o ciclo da Figura 6, são os seguintes (WOOLDRIDGE, 2009):

1. Ler todas as mensagens atuais, atualizando as informações pertinentes ao objeto, e identificar as ações necessárias.
2. Executar todas as ações para o ciclo atual, verificando a quem a condição inicial é associada.
3. Voltar para o passo 1.

Para Bratman (1990), o modelo de tomada de decisão seguido por um agente inteligente deve ser direcionado a ações, ou seja, é um processo para se decidir o que deve ser feito e o melhor momento para isso, ponderando sobre situações conflitantes e concorrentes. Como um MAS é composto por agentes, a sua utilização é mais indicada em domínio que exijam buscas distribuídas e cujas soluções para os problemas desses domínios se constituam de inferências sobre múltiplas variáveis.

O uso de sistemas multiagentes em aplicações educacionais e, mais especificamente, com a finalidade de apoiar implementações de recursos em ambientes virtuais de aprendizagem, foi explorado em algumas publicações da autora e será melhor discutido na seção V.1.

II.3.3 Ontologias

Para que um programa de computador, seja por meio de um agente inteligente ou não, consiga solucionar um problema relacionado ao mundo real, ele deve primeiro ser capaz de reconhecer o domínio do mesmo. A representação formal do ambiente externo ao computador e a formulação de um modelo fiel de dados que caracterize plenamente a realidade em estudo são de fundamental importância para sistemas inteligentes.

Em Inteligência Artificial existem várias maneiras de representar o conhecimento, sendo que a aplicabilidade de cada uma dependerá das características do problema e de seu domínio. Todos os modelos possuem vantagens e desvantagens, e a adoção do mais adequado a uma situação deve ser determinada pela análise formal da mesma. São exemplos de representações do conhecimento, conforme Coppin (2010): Redes Semânticas, Quadros (ou *frames*), Árvores Semânticas e Ontologias.

Por possuírem uma capacidade representacional maior em relação às representações baseadas em quadros, por exemplo, as Ontologias se destacam por sua representação detalhada, útil, eficiente e significativa, além de possuírem uma enorme capacidade semântica (COPPIN, 2010). Segundo Gómez-Pérez *et al.* (2004), as Ontologias visam captar conhecimento consensual de uma forma genérica, para que possam ser reutilizados e compartilhados entre aplicativos e por grupos de pessoas. As Ontologias são úteis para especificar o problema, reutilizar conceitos e módulos, apoiar o desenvolvimento de sistemas e prover consistência para os mesmos (GRUNINGER, 1996).

Sales (2006) define algumas características das Ontologias: “possuem uma parte terminológica, composta de termos, definições e relações, e também uma parte processável por máquina, expressa em linguagem formal, com regras de inferências, relacionamentos e definições expressas nessa linguagem”. As ontologias são um meio para facilitar a partilha e reutilização de corpos de conhecimento entre organizações e aplicações com base numa semântica bem definida e precisa para conceitos e termos.

Porém, na prática, segundo Noy e McGuinness (2001), as principais razões para se desenvolver uma ontologia são:

- Compartilhar um entendimento comum da estrutura da informação entre pessoas ou agentes de *software*;
- Permitir a reutilização do conhecimento do domínio;

- Tornar explícitas as suposições de domínio;
- Separar o conhecimento de domínio do conhecimento operacional;
- Analisar o conhecimento do domínio.

De acordo com Morais e Ambrósio (2007) as ontologias podem ter diversas aplicações na área de Ciência da Computação, dentre elas:

- Recuperação de informações na Internet;
- Processamento de Linguagem Natural;
- Gestão do Conhecimento;
- Web-Semântica;
- Educação.

As Ontologias podem ser classificadas quanto ao seu grau de formalismo, aplicação, conteúdo ou função (VAN HEIJST *et al.*, 1997).

1) **Formalismo:**

- Altamente informais: descritas em linguagem natural;
- Semi-informais: descritas em linguagem natural de modo restrito e estruturado;
- Semiformais: utiliza uma linguagem artificial para ser formalmente definida;
- Rigorosamente formais: os termos são definidos com semântica formal, teoremas e provas.

2) **Aplicação** (MORAIS e AMBRÓSIO, 2007):

- Autoria neutra: quando um aplicativo é descrito em uma única língua e depois convertido para o uso em diversos sistemas, reutilizando-se as informações;
- Especificação: baseada em uma ontologia de domínio, indicada para documentação e manutenção de *softwares*;
- Acesso comum a informação: indicada quando se tem um vocabulário inacessível e a ontologia ajuda a tornar a informação inteligível.

3) **Conteúdo:**

- Terminológicas: contém termos para modelagem do conhecimento de um domínio;
- Informação: especificam a estrutura de registros para um banco de dados.
- Modelagem de conhecimento: determinam as conceitualizações específicas de um domínio;

- d. Aplicação: definições para modelar conhecimento em uma aplicação;
- e. Domínio: expressam conceitualizações que são específicas em um domínio;
- f. Genéricas: definições genéricas e comuns a várias áreas do conhecimento;
- g. Representação: descreve as definições relativas aos formalismos de representação do conhecimento.

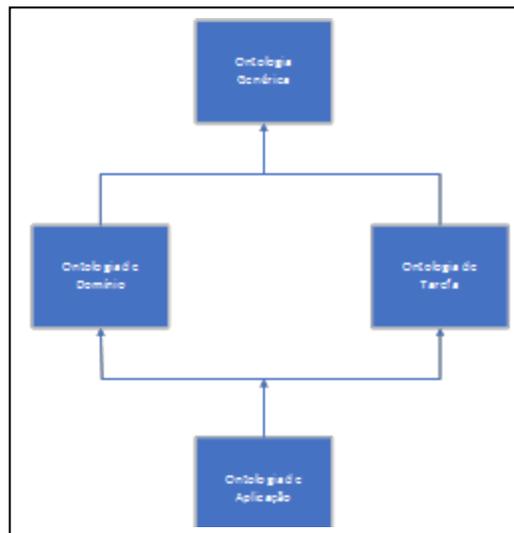


Figura 7 – Especialização das Ontologias de Aplicação.
 Fonte: Adaptado de Guizzardi (2000).

4) **Função** (GUARINO, 1997):

- a. Genéricas: especificam conceitos mais amplos, independente de um problema ou domínio específicos. Buscam a construção de teorias básicas aplicáveis a qualquer domínio (Guizzardi, 2000);
- b. Domínio: Englobam conceitos e vocabulários relacionados a domínios específicos. Considerada a mais comum, representa um micromundo (GUIZZARDI, 2000);
- c. Tarefas: especificam atividades ou tarefas gerais que auxiliam em problemas independente do domínio em que se encontram;
- d. Aplicação: consistem em uma especialização das ontologias de domínio e de tarefa, conforme Figura 7. São regras aplicadas a entidades de domínio na execução de determinada tarefa;
- e. Representação: descrevem os formalismos de representação de conhecimento, a partir das especificações de seus compromissos ontológicos.

Atualmente, os trabalhos com Ontologias têm buscado soluções para a recuperação imprecisa de informações (SALES, 2006). Assim, esta técnica de representação do conhecimento mostra-se adequada ao problema de melhorar o nível de precisão das informações fornecidas por um LMS e pelo ambiente em que o aluno se encontra, proporcionando mais semântica às suas variações.

II.4 Conclusões do capítulo

Este capítulo apresentou a fundamentação teórica para a compreensão dos principais conceitos relacionados ao desenvolvimento desta pesquisa. Foram discutidos os modelos e tecnologias para aprendizado à distância, o modelo de recuperação do conhecimento aqui utilizado, e as técnicas de IA empregadas neste trabalho.

III Levantamento do estado da arte

O levantamento do estado da arte referente aos temas desta tese foi dividido em duas partes: a primeira consiste em uma revisão de literatura trazendo as principais pesquisas relacionadas às técnicas de Inteligência Artificial – que serão usadas nesta tese – e também algumas utilizações educacionais do modelo SECI e seus implicações.

A segunda parte relaciona os principais trabalhos envolvendo as técnicas de Raciocínio Baseado em Casos (CBR), Sistemas Multiagentes (MAS) e Ontologias aplicadas para fins educacionais. São identificadas, selecionadas e discutidas as pesquisas relacionadas diretamente à combinação dessas técnicas de IA para recuperação de conhecimento.

Foi ainda realizada, no início dos estudos deste curso de doutoramento, uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) (KITCHENHAM, 2004), executada para se investigar o estado da arte sobre aplicações dos modelos de aprendizagem baseados em tecnologia no âmbito de ambientes virtuais de aprendizagem (LMS). Este primeiro levantamento também se fez necessário para a identificação dos ambientes virtuais mais utilizados nas pesquisas e das aplicações de tecnologias para recuperação e tratamento de informações no contexto de um modelo educacional, mais comumente usados para esse fim. O Apêndice A apresenta os resultados desse levantamento de dados.

III.1 Revisão de Literatura

A combinação de técnicas de raciocínio baseado em casos em domínio modelado por uma ontologia com a finalidade de recuperação de conhecimento vem sendo usada com relativo sucesso em pesquisas (TELES LUCENA *et al.*, 2017), conforme pode ser observado em diversos trabalhos, como relatados a seguir:

III.1.1 CBR e Ontologias

Garrido *et al.* (2008) apresentou um modelo para a reutilização de soluções por meio da combinação de estratégias de gestão do conhecimento, utilizando técnicas de CBR e ontologias para formalização de conceitos. Para isso, foi proposta uma construção ontológica de casos para um sistema CBR, como um suporte teórico e útil para o compartilhamento e a gestão do conhecimento (TELES LUCENA *et al.*, 2017).

O trabalho de Mendes *et al.* (2013) propôs uma arquitetura de um agente CBR, cuja representação da base de casos foi baseada em ontologias. O agente engloba todos os mecanismos de um sistema CBR e a ontologia foi reunificou as informações, permitindo uma otimização do processo de seleção e recuperação dos casos.

Um sistema de *e-learning* inteligente, usando CBR, foi apresentado por Martin e León (2012) como um cenário para recuperação de conhecimento em bibliotecas digitais. Foi desenvolvido um protótipo chamado OntoFAMA, baseado em ontologias e sistemas especialistas. Os casos e as soluções foram armazenados em uma base ontológica.

Já Chunli e Hao (2008) desenvolveram um *framework* para gerenciamento do conhecimento usado no desenvolvimento de produtos de engenharia industrial. No sistema proposto é utilizada a técnica CBR e uma máquina de aprendizado para a realização de inferências e para capturar novos conhecimentos para complementar o repositório de projeto. A base de dados foi representada por meio de uma ontologia.

III.1.2 CBR e MAS

O trabalho de Bittencourt *et al.* (2006) consistiu no desenvolvimento de um ITS híbrido, onde são empregadas técnicas de CBR e RBS (Sistemas Baseados em Regras). O domínio do sistema são situações de Direito Penal e a abordagem de raciocínio é caracterizada por uma arquitetura multiagente.

A pesquisa de Santos *et al.* (2008) apresenta um sistema de CBR para recuperar problemas de programação semelhantes. O sistema é composto por um agente inteligente e as pelas funções do CBR (NASCIMENTO, 2017).

Yang e Yan (2011) propõem a obtenção de recomendações personalizadas de recursos de *e-learning* baseadas nas características de estudantes através de um modelo multiagente que utiliza CBR (NASCIMENTO, 2017).

Chunguang *et al.* (2008) apresentou uma proposta para melhorar o desempenho de sistema de recomendação de comércio eletrônico (ECRS) através do uso de CBR e Sistemas Imunes Artificiais (AIS). O mecanismo interno e o ciclo do AIS foram viabilizados pela implementação de métodos de aprendizagem de um ECRS. As etapas do CBR foram adaptadas para o subsistema de raciocínio do ECRS.

III.1.3 MAS e Ontologias

A pesquisa de Bremgartner, Netto e Menezes (2014) apresenta uma estratégia para adaptação de conteúdo pedagógico em um LMS a partir de abordagens construtivistas. O trabalho fez uso de sistemas multiagentes (MAS) e a base de conhecimento dos modelos de aprendizado foi especificada em uma ontologia de domínio.

O *framework* ForBILE, proposto por Bittencourt *et al.* (2007), permite a construção de ITS baseados em MAS. O *framework* foi desenvolvido a partir de uma estrutura ontológica e apresentou a capacidade de interagir com agentes artificiais e humanos.

Martin e León (2012) apresentaram um sistema de *e-learning* inteligente desenvolvido por um protótipo chamado OntoFAMA, baseado em ontologias e sistemas especialistas. A arquitetura da proposta é composta de três partes: base de dados especificada em uma ontologia, uma máquina de busca com agentes inteligentes, e uma interface com o usuário.

Dung e Florea (2016) apresentaram uma arquitetura de um sistema multiagente de *e-learning* personalizado para suportar a predefinição dos estilos de aprendizagem dos alunos e a reestimativa dos mesmos durante um curso. Foi definida uma ontologia de domínio para descrever o conteúdo e o material pedagógico, o perfil e os estilos de aprendizagem dos alunos.

III.1.4 Modelo SECI

Diversos trabalhos têm sido propostos utilizando o modelo SECI para o levantamento, tratamento e análise do conhecimento, em contextos educacionais. Dentre alguns pode-se citar:

Kassem, Hammami e Alhousaru (2015) aplicaram o modelo SECI em ambiente de *e-learning* a fim de avaliar a relação entre esse modelo SECI e o aprendizado *online*, para isso utilizou um LMS. Como resultado do trabalho constatou-se que ocorreu no ambiente de *e-learning* a criação do conhecimento conforme as etapas do modelo.

O modelo SECI também foi aplicado como uma estrutura de recuperação de conhecimento em um ambiente virtual de aprendizagem em HOSSEINI (2011). Todas as etapas foram implementadas no LMS, porém o autor admite que os elementos para a etapa de Socialização não podem ser efetivados *online*, pois as interações tiveram que ser presenciais para se obter melhores resultados.

O trabalho de Mustapha (2016) descreve a construção de uma plataforma de aprendizado integrada para facilitar algumas atividades selecionadas do modelo SECI. Cada quadrante foi especificamente apoiado por tecnologia específicas para apoio às suas atividades características.

O artigo de Wang (2014) explorou o modelo SECI em aplicações educacionais, dando ênfase especialmente à teoria da conversão dos conhecimentos explícito e tácito, considerando essa uma etapa fundamental para curso ideológicos e de prática social. Para a autora, o conhecimento tácito individual pode ser compartilhado em sala de aula pelos alunos através da interação entre os mesmos nas atividades pedagógicas, a fim de melhor assimilares os requisitos do ensino ideológico.

Santos *et al.* (2008) propôs um *framework* baseado no modelo SECI combinado com componentes visuais de *interfaces web*, para aplicações didáticas. Os procedimentos do

framework foram fundamentados em conceitos de gestão do conhecimento e usaram mecanismos de *design* visual para ampliar a interatividade com o usuário. O modelo proposto incluiu etapas de controle para contabilizar o número de ações em uma *interface web* relacionadas a cada quadrante do SECI.

A próxima seção é direcionada ao levantamento e análise de trabalhos na área de aplicação de Sistemas Multiagentes, em conjunto com a técnica de Raciocínio Baseado em Casos, cuja representação do conhecimento utilizou ou não Ontologias. Nos trabalhos selecionados serão identificadas suas relações com a proposta desta tese e suas contribuições para a formação da metodologia de combinação de evidências de informação. Algumas dessas pesquisas foram citadas nessa revisão de literatura e serão mais bem detalhadas a seguir.

III.2 Trabalhos relacionados

O uso de agentes inteligentes para melhorar o desempenho de sistemas CBR é bastante comum na literatura atual (MENDES *et al.*, 2013) (BITTENCOURT *et al.*, 2006) (MARTIN e LEÓN, 2012) e (GARRIDO *et al.*, 2008). Para Alonso (2002), o aprendizado tem recebido recentemente uma atenção crescente em relação a agentes e sistemas multiagentes (BREMIGARTNER, NETTO e MENEZES, 2014) (BITTENCOURT *et al.*, 2006), (BITTENCOURT *et al.*, 2007) e (GARRIDO *et al.*, 2008). Diversos artigos também propõem o uso de Ontologias para representar o conhecimento formal a ser utilizado nestes sistemas (MENDES *et al.*, 2013), (BITTENCOURT *et al.*, 2007), (MARTIN e LEÓN, 2012), (BREMIGARTNER, NETTO e MENEZES, 2014) e (GARRIDO *et al.*, 2008).

Nos trabalhos selecionados, a partir da revisão de literatura descrita na seção anterior, explora-se a utilização destes três recursos como apoio a uma abordagem de *blended-learning* – geralmente como suporte a um LMS – fazendo parte de arquiteturas ou *frameworks* voltados para objetivos educacionais. Ao fim da seção serão avaliadas as contribuições de tais trabalhos para a pesquisa dessa tese, visto que nossa proposta se apoia no uso das técnicas de CBR, MAS, Ontologias e ainda na opinião de especialistas no domínio de cursos na modalidade à distância.

III.2.1 Arquitetura de um agente CBR

Mendes *et al.* (2013) apresentou uma proposta de arquitetura de um agente CBR, cuja representação da base de casos está baseada em Ontologias. O agente CBR engloba todos os mecanismos de um sistema CBR tradicional, como acesso e recuperação de dados, cálculo de similaridade, aprendizado e adaptação de soluções. A ontologia foi empregada para formalizar o conhecimento e reunificar as informações, permitindo uma otimização do processo de seleção e recuperação dos casos. A base de dados inicial foi formada a partir do processamento da linguagem natural em documentos textuais, sendo que todos os casos

foram representados como instâncias de ontologia. Para o agente CBR, todo o mecanismo de inferência depende da análise de casos considerados similares.

A autonomia do agente CBR foi caracterizada pelo processo identificação, recuperação e adaptação do caso mais apropriado para a solução do problema proposto. Além disso, o agente proposto foi capaz de absorver a experiência desta solução. Tal aprendizado se deu pela percepção da eficácia das respostas ao problema. Esse processo foi representado segundo esquema da Figura 8.

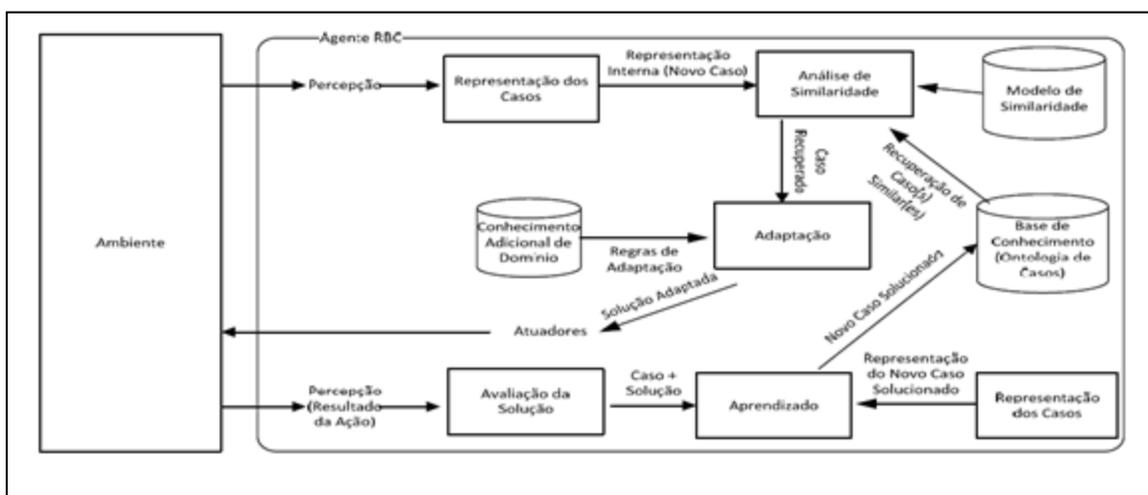


Figura 8 – Arquitetura proposta para o agente CBR (MENDES *et al.*, 2013).

As conclusões desse trabalho se resumem nas seguintes vantagens obtidas pelo uso de agentes em conjunto com Ontologias:

- Emulação do pensamento humano na recuperação e adaptação de soluções anteriores;
- Reutilização de informações, possibilitando o aprendizado contínuo;
- Soluções apresentadas em tempo de execução, devido à autonomia dos agentes inteligentes.

Esse trabalho contribuiu para nossa pesquisa por apresentar uma arquitetura eficiente de agente CBR para reutilização e aprendizado de soluções, utilizando ontologias para formalização do domínio estudado.

III.2.2 ITS híbrido

O trabalho de Bittencourt *et al.* (2006) consiste em uma proposta de ITS (*Intelligent Tutoring Systems*) híbrido, onde são empregadas técnicas de Inteligência Artificial, como Raciocínio Baseado em Casos (CBR) e Sistema Baseado em Regra (RBS) (HAYES-ROTH,

1985). O domínio do sistema são situações de Direito Penal e a abordagem de raciocínio é caracterizada por uma arquitetura multiagente. O CBR e o RBS são usados no ITS para identificar casos relevantes e conceitos jurídicos em uma consulta feita por alunos de Direito e retornar como resposta à situação as melhores soluções e os conhecimento técnico-teórico empregado.

A arquitetura do ITS apresenta um módulo especialista composto por agentes inteligentes, conhecimento externo (de especialistas) e uma base de conhecimento modelada por uma Ontologia (Figura 9). Os agentes são responsáveis pelas interfaces do módulo e pelo núcleo de raciocínio, que engloba os sistemas CBR e o RBS. Também foi desenvolvido um Módulo Pedagógico que usa heurísticas para definir a melhor estratégia e soluções de aprendizagem, a partir da análise do perfil do estudante.

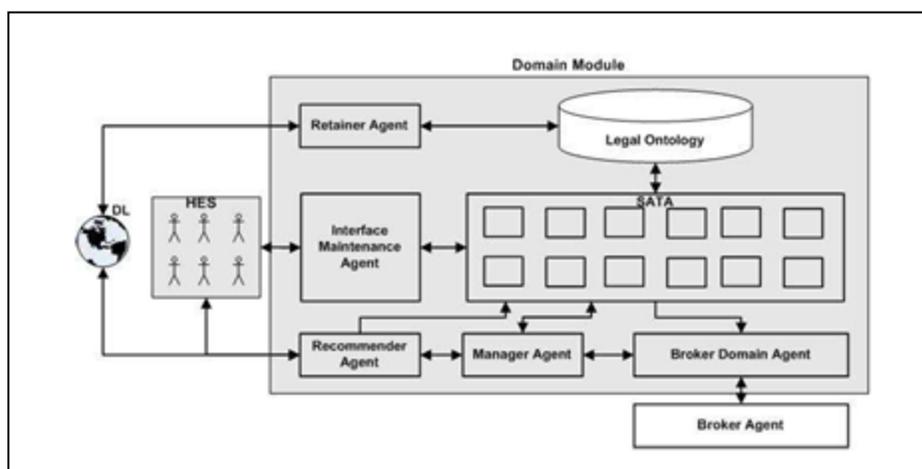


Figura 9 – Arquitetura do Módulo Especialista (BITTENCOURT *et al.*, 2006).

A técnica de CBR foi utilizada neste trabalho como modelo de resolução para os problemas típicos de Direito, a partir de três tipos de domínio de conhecimento (jurisprudência, conhecimentos normativos e doutrinas), e os resultados foram inferidos a partir de casos deste domínio. O RBS foi usado para selecionar as melhores definições e conceitos teóricos a fim de oferecer suporte à modelagem dos problemas propostos.

O trabalho apresentou uma proposta de combinação de técnicas de IA (CBR e RBS) para melhorar os resultados da recuperação do conhecimento, o que nos inspirou a adotar essa estratégia, acoplando à combinação, a opinião de especialistas e informações de aplicativos de suporte a ambientes virtuais de aprendizagem.

III.2.3 Recuperação de informações em bibliotecas digitais

Um sistema de *e-learning* inteligente foi apresentado por Martin e León (2012) como um cenário para recuperação de conhecimento em bibliotecas digitais. O objetivo do trabalho

é recuperar dados e informações em grandes coleções digitais, utilizando a abordagem de análise dos metadados semânticos armazenados nas mesmas, usando técnicas de Inteligência Artificial, como CBR, para a realização de inferências.

Foi desenvolvido um protótipo chamado OntoFAMA, baseado em ontologias e sistemas especialistas. A arquitetura da proposta é composta de três partes: base de dados especificada em uma ontologia, uma máquina de busca, e uma interface inteligente com o usuário.

A plataforma OntoFAMA (Figura 10) funciona como um sistema de busca focada em objetos de aprendizagem de bibliotecas digitais. O estudante entra com os metadados desejados e a máquina de busca executa a consulta, usando técnicas de raciocínio baseado em casos para recuperar os objetos de aprendizagem similares aos dados da pesquisa. Os casos e as soluções são armazenados em base de conhecimentos modelada a partir de uma ontologia. O conhecimento adquirido e tabulado pode ser modificado e adaptado para novas situações. A ideia é utilizá-lo como um conjunto de experiências passadas que foi usado para fornecer soluções para novas situações encontradas.

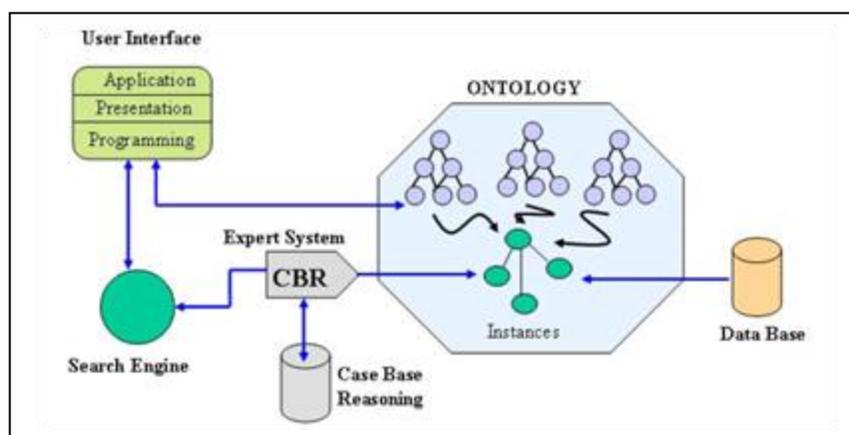


Figura 10 – Arquitetura da OntoFAMA
(MARTIN e LEÓN, 2012)

A ontologia foi tratada como a estrutura de conhecimento que vai identificar os conceitos, as propriedades, os recursos e relacionamentos entre as classes do domínio, a fim de permitir o compartilhamento e reutilização dos objetos de aprendizagem retornados. As descrições dos metadados dos recursos e dos objetos de aprendizagem (casos) são extraídas dos detalhes de sua representação física e são armazenadas na base de casos.

A interface com o usuário permitiu a formação de perfis individuais, armazenando consultas e preferências de cada usuário, contendo seus interesses específicos. A máquina de busca é instanciada para ser executada no contexto da biblioteca digital, a pesquisa então é direcionada a partir do perfil do usuário e o sistema CBR avalia e recupera os casos mais

similares, no caso, os objetos de aprendizagem que mais se encaixam nas especificações do usuário e da avaliação do seu perfil.

As conclusões apresentadas destacam um caminho para recuperação personalizada, a partir de um *e-learning* com máquina de busca inteligente, o que será aproveitado nesta tese. Técnicas semânticas para representar o conhecimento, como o uso de ontologias, e as estratégias do CBR permitiram retorno de soluções satisfatórias para os usuários, pois a plataforma tentou adaptar-se ao perfil individual, antecipando as necessidades de informação baseados em pesquisa, e pró-ativamente fornecer aos usuários informações relevantes.

III.2.4 Uso de agentes e ontologias em técnicas construtivistas para LMS

Bremgartner, Netto e Menezes (2014) propuseram uma estratégia para adaptação de conteúdo pedagógico em um LMS a partir de abordagens construtivistas. O trabalho fez uso de sistemas multiagentes (MAS) e a base de conhecimento dos modelos de aprendizado foi especificada em uma ontologia de domínio. O mesmo estabeleceu como meta o desenvolvimento de um modelo focado na aprendizagem direcionada ao indivíduo; esse mesmo modelo sofre adaptações a partir da análise do perfil de cada estudante.

Este modelo de aprendizagem baseado no aluno apresenta uma análise de multi-características, pois considera vários aspectos da relação do estudante com o ambiente onde ocorre o aprendizado. A abordagem tem por finalidade obter um diagnóstico mais preciso da aprendizagem individual, oferecendo um conteúdo adaptado ao conjunto de características de cada estudante. O perfil do aluno é composto pelos seguintes parâmetros de dados:

- 1) Desempenho nas atividades e frequência no ambiente virtual;
- 2) Estilo de aprendizagem;
- 3) Tipo de equipamento (PC ou dispositivo móvel) usado para acesso ao LMS;
- 4) Competências e habilidades.

Após a formação do perfil, será exibido ao aluno o seu modelo de aprendizagem individual, montado a partir da personalização do conteúdo através do perfil, e da recomendação de estratégias pedagógicas.

Os agentes inteligentes foram usados para validar o modelo e oferecer as adaptações de conteúdo no LMS, conforme o perfil do aluno. A função do sistema multiagente é manipular os dados dos alunos no banco de dados, permitindo atualizações em seu modelo. Além disso, os agentes selecionam as estratégias construtivistas armazenadas no repositório e que serão usadas na formação do modelo personalizado do aluno. A Figura 11 esquematiza a arquitetura do sistema para os experimentos.

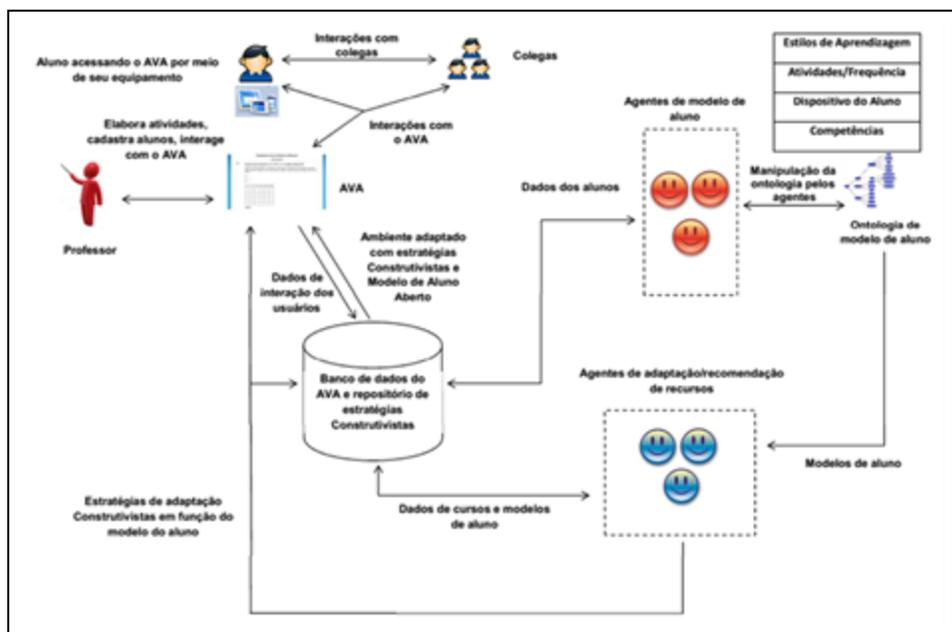


Figura 11 – Arquitetura do sistema (BREMGGARTNER *et al.*, 2014).

A ontologia construída definiu os dados deste modelo, formalizando informações como desempenho nas atividades e frequência no LMS, estilos de aprendizagem, dispositivo de acesso (equipamentos) e competências do estudante.

Foram realizados experimentos com turmas de alunos de graduação e os testes mostraram que a adaptação de conteúdo e a recomendação de estratégias pedagógicas individualizada aumentou o rendimento dos alunos. O processo de adaptação ao sistema aumentou a interação entre os estudantes do mesmo curso ou disciplina, aumentando assim o nível de conhecimento dos alunos como um todo e uma maior exatidão nas tarefas realizadas. A ideia de oferecer ao aluno um modelo individual e personalizado de aprendizagem firmou-se com uma maneira de melhorar o desempenho de estudantes que usam LMS. Os autores, afirmam que o uso de MAS associado a uma modelagem do domínio por meio de ontologias pode ser aplicado a outros LMS, uma vez que os agentes e o ambiente de *e-learning* compartilham o mesmo banco de dados. As experiências desse trabalho contribuíram com algumas considerações para esta tese:

- Formação de perfil do aluno, de acordo com seu histórico pedagógico e acadêmico, o que será realizado pelo agente LMS, no *framework* iDE, só que em uma visão focada na turma de um curso oferecido à distância.
- O MAS foi usado para validar o modelo e realizar adaptações no mesmo quando necessário. Da mesma forma, MAS que compõe o iDE coordenará as ações dos demais agentes de *software* na recuperação e transformação do conhecimento. A validação das respostas se dará pela análise das mesmas por especialistas.

III.2.5 Reuso do conhecimento em sistemas de tomada de decisão

O trabalho de Garrido *et al.* (2008) apresenta um modelo para a reutilização de conhecimento por meio da combinação dos conceitos de gestão do conhecimento, CBR e ontologias. Para isso, foi proposta uma construção ontológica de casos para o sistema CBR como um suporte teórico e útil para o compartilhamento e a gestão do conhecimento, de forma que a experiência adquirida em diversas organizações pudesse ser reutilizada nos processos de tomada de decisão.

A arquitetura funcional foi baseada em um sistema multiagente, formado por dois grupos de agentes: agentes de usuários e agentes CBR. Os agentes de usuário servem como meio de comunicação entre usuários e a base de conhecimento e fornecem transparência em diferentes níveis: localização de agentes CBR, tolerância a falhas em comunicação e processamento e balanceamento de tarefas para desempenho. Já os agentes CBR desempenham papéis diferentes relacionados ao ciclo de um sistema de raciocínio baseado em casos (recuperação, reutilização, revisão, retenção), como pode ser visualizado na Figura 12.

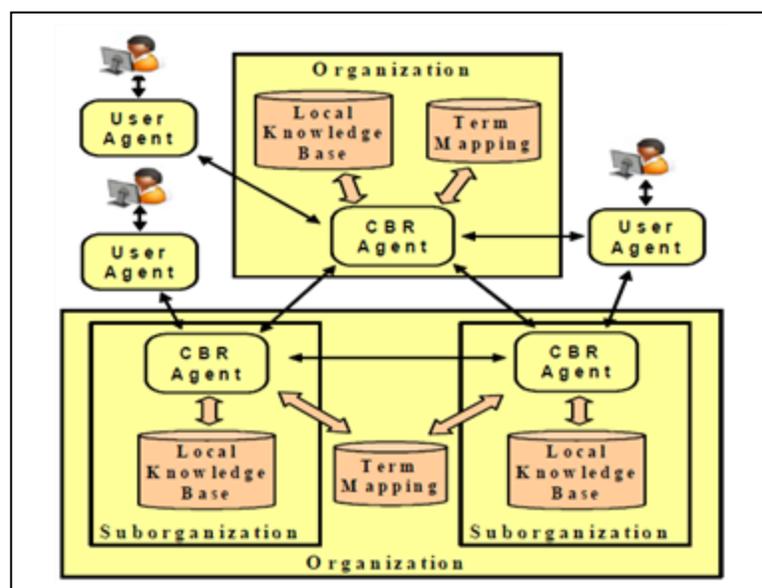


Figura 12 – Arquitetura do sistema CBR baseado em MAS (GARRIDO *et al.*, 2008)

Portanto, os agentes CBR podem cooperar uns com os outros, buscando e recuperando casos diretamente relacionados em outra base de conhecimento e armazenando em repositórios de mapeamento de termos, a fim de melhorar a reutilização futura do conhecimento. A aprendizagem do modelo é realizada a partir do reaproveitamento de casos antigos e de adaptações e armazenamento de novas soluções.

Essa proposta foi facilitada pela configuração de arquitetura multiagente, que permitiu inter-relacionamentos entre casos a serem estabelecidos e o conhecimento de diferentes repositórios de casos a serem recuperados, ou seja, o uso de MAS contribuiu para a recuperação do conhecimento através da identificação de casos similares.

A abordagem desta pesquisa se relaciona a esta tese porque propôs novos tipos de regras de adaptação estrutural e mecanismos de aprendizado, através da implementação de agentes inteligentes que identificavam casos semelhantes e recuperavam o conhecimento utilizando técnicas de Raciocínio Baseado em Casos. Assim, a arquitetura multiagente utilizada em conjunto com a construção de uma ontologia para descrição do CBR ampliou o uso desta técnica como meio de gestão do conhecimento, no caso, a memória e a aprendizagem organizacional. O trabalho concluiu que estas estratégias podem ser utilizadas em organizações, educacionais ou não, para aproveitar as experiências adquiridas em processos decisórios.

III.2.6 *Framework* baseado em ontologias para construção de ITS multiagentes

Um *framework*, denominado ForBILE, foi proposto por Bittencourt *et al.* (2007) com a finalidade prover a construção de ITS baseados em MAS de modo mais fácil, eficiente e rápido. Esse *framework* apresenta-se como um conjunto de ferramentas para facilitar o trabalho de especialistas em domínios particulares, desenvolvedores e usuários na implementação de sistemas tutores inteligentes. A aplicação do ForBILE se deu em dois domínios distintos: as áreas jurídicas e médica.

O ForBILE foi desenvolvido a partir de uma estrutura ontológica, que teve como base conceitual o modelo Mathema⁷ (COSTA *et al.*, 1998), que apresenta um ITS baseado em MAS para interagir com agentes artificiais e humanos, a fim de resolver situações heterogêneas, no caso, o domínio jurídico e o médico.

As principais vantagens desse *framework* são: a redução do custo de tempo para a construção de ITS, com poucas modificações no código; a capacidade de se adaptar às necessidades do usuário; e, permitir recuperação do conhecimento e a realização de inferência do agente de tutoria autônoma.

O sistema de aprendizado baseado em agentes se propôs a adquirir conhecimento através da resolução de problemas e o armazenamento para uso futuro desta mesma solução, conforme Figura 13.

⁷Ontologia de especificação educativa, possui uma visão tridimensional de modelos: de domínio, do estudante e pedagógico.

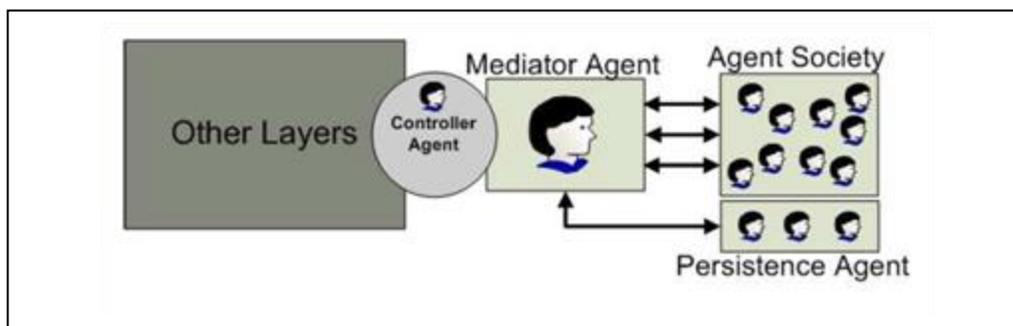


Figura 13 – Sistema de aprendizado baseado em agentes (BITTENCOURT *et al.*, 2007).

As ontologias ajudaram a configurar, detalhar e personalizar os domínios específicos do trabalho. Para isso elas se propuseram a assegurar a interação entre os agentes, formalizar e mapear o domínio, o perfil dos estudantes e os modelos pedagógicos, além de adaptar os mecanismos de raciocínio. Foram criadas/adaptadas três ontologias nesta proposta:

- 1) Ontologia de interação: define o protocolo de comunicação para os agentes de *software*. Foi definida pela tripla <agente, serviço, habilidade>. Essa ontologia possui ainda informações de implementação, como descrição de pacotes e serviços.
- 2) Mathema ontologia: foram feitos acréscimos nessa ontologia que tinha sido desenvolvida anteriormente em outras pesquisas (COSTA, 1998). As contribuições foram nos modelos de domínio, estudante e pedagógico da ontologia.
- 3) Ontologia de Inferência: permite a integração dinâmica dos mecanismos de inferência, e para isso foram consideradas quatro informações, a fim de garantir a integração do raciocínio: dados de entrada e saída, processo de raciocínio, dados de *feedback*, e dados estatísticos (utilizados para avaliar a eficiência do algoritmo).

A utilização de agentes de *software* contribuiu para as ações de adaptação no processo de aprendizagem. O MAS foi composto por Agente Controlador, Agente Mediador, Agente de Persistência e Agente Social. Esses agentes melhoraram a eficácia do processo de ensino adaptativo e facilitaram o desenvolvimento de sistemas de tutoria inteligente.

Este trabalho serviu de referência para esta tese devido à proposta de utilização de agentes inteligentes no gerenciamento de um *framework* para implementação de um ITS, cujo objetivo final era facilitar a construção do conhecimento através de uma abordagem de aprendizagem gerenciada por agentes e baseada em problemas.

III.2.7 Quadros comparativo e de contribuições

O quadro 1 relaciona os trabalhos anteriormente citados, sob o enfoque da utilização de técnicas de IA (MAS, CBR e ontologias) e suas possíveis combinações para aplicações em ambientes educacionais.

A maioria dos trabalhos apresentados utiliza sistemas multiagentes para realização de inferências e coordenação de tarefas. Todos fazem uso de ontologias de domínio para formalização do conhecimento do ambiente em que atuam. Somente duas pesquisas consideram as opiniões de especialistas para influenciar soluções, e também somente uma faz uso de aplicativos ou informações armazenadas em um LMS (no caso, o Moodle).

Quadro 1 – Comparação entre os trabalhos relacionados.

Trabalho	MAS	CBR	Ontologia	Apps em um LMS	Especialistas	EaD
Arquitetura de um agente CBR (MENDES <i>et al.</i> , 2013)		x	x			
ITS híbrido (BITTENCOURT <i>et al.</i> , 2006)	x	x	x		x	
Recuperação de informações em biblioteca digitais (MARTIN e LEÓN, 2012)		x	x			
Uso de agentes e ontologias em técnicas construtivistas em um LMS (BREMGGARTNER <i>et al.</i> , 2014)	x		x	x		x
Reuso do conhecimento em sistemas de tomada de decisão (GARRIDO <i>et al.</i> , 2008)	x	x	x			
Framework baseado em Ontologias para construção de ITS multiagentes (BITTENCOURT <i>et al.</i> , 2007)	x		x		x	
Framework iDE	x	x	x	x	x	x

Todas as propostas ofereceram informações sobre como agentes inteligentes e raciocínio baseado em casos podem ajudar na recuperação do conhecimento oriundo de experiências passadas, no contexto educacional, dando suporte a um ambiente virtual. As ontologias foram bastante úteis na padronização desse conhecimento, interpretando-o e modelando-o de acordo com a necessidade dos modelos, sistemas, arquiteturas ou *frameworks* propostos.

Portanto, as experiências obtidas a partir desses trabalhos contribuiriam para essa tese no sentido de mostrar que o uso de técnicas de IA pode oferecer diversas vantagens quando aplicadas na recuperação e reaproveitamento do conhecimento, em uma realidade de ensino e aprendizagem. As contribuições efetivas e as sugestões aproveitadas, que foram

incorporadas e implementadas nessa proposta, foram resumidas e podem ser visualizadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Contribuição e sugestões dos trabalhos para a tese.

Trabalho	Contribuição	Sugestão para o iDE
Arquitetura de um agente CBR (MENDES <i>et al.</i> , 2013)	Uso de CBR para otimizar a seleção e recuperação dos casos. Base de dados inicial foi processada a partir de linguagem natural para documentos textuais.	Soluções apresentadas em tempo de execução, devido à autonomia dos agentes. Todos os casos foram representados como instâncias de ontologia. O mecanismo de inferência dependeu da análise de casos considerados similares.
ITS híbrido (BITTENCOURT <i>et al.</i> , 2006)	Uso de heurísticas para definir a melhor estratégia e soluções de aprendizagem, a partir de análise de perfis.	Combinação de técnicas de IA para melhorar a recuperação do conhecimento e uso de opinião de especialistas para compor soluções.
Recuperação de informações em biblioteca digitais (MARTIN e LEÓN, 2012)	Interface para formação de perfis individuais, a partir de preferências e consultas. Uso de ontologias e CBR para recuperar o conhecimento de forma individual e adaptativa.	Interface inteligente com o usuário para facilitar o aprendizado. Utilização do CBR para reutilizar soluções anteriores.
Uso de agentes e ontologias em técnicas construtivistas em um LMS (BREMARTNER <i>et al.</i> , 2014)	Modelo de aprendizagem focado no aluno, a fim de personalizar o aprendizado.	Uso de ontologia para formalizar as informações acadêmicas e pedagógicas armazenadas no LMS.
Reuso do conhecimento em sistemas de tomada de decisão (GARRIDO <i>et al.</i> , 2008)	Arquitetura multiagente associada a ontologias ampliou o uso do CBR na gestão do conhecimento.	Cada agente implementa um CBR autônomo para tomada de decisão.
Framework baseado em Ontologias para construção de ITS multiagentes (BITTENCOURT <i>et al.</i> , 2007)	Uso de MAS para gerenciamento de um <i>framework</i> para construção de ITS.	Uso de ontologia como referência para o protocolo de comunicação entre os agentes.

III.3 Conclusões do capítulo

A revisão de literatura ofereceu uma visão geral das pesquisas utilizando Raciocínio Baseado em Casos, Sistemas Multiagentes, Ontologias e aplicações do Modelo SECI em contextos educacionais. Esse primeiro levantamento apresentou abordagens e estratégias que propõem a combinação de técnicas de Inteligência Artificial, como o uso de sistemas multiagentes e raciocínio baseado em casos, em soluções de problemas de aprendizado e/ou de tomada de decisões. A utilização de ontologias para a formalização do conhecimento

também foi bastante explorada como uma ferramenta que permitiu que a semântica associada ao domínio fosse explicitamente representada, o que ajudou a ampliar as capacidades de raciocínio dos agentes inteligentes nas inferências e decisões sobre o conhecimento útil a ser considerado.

As vantagens do uso de MAS e CBR foram discutidas e apontadas como significativas (na opinião de seus autores) para a melhoria da performance de sistemas *e-learning*, de tomada de decisão ou de apoio ao ambiente virtual de aprendizagem. Somente uma proposta considerou o desempenho acadêmico dos alunos, armazenado em um LMS e também dois trabalhos relacionados usaram opinião de especialistas como fatores de influência nas soluções apresentadas.

Neste segundo levantamento foram selecionados os artigos cujos trabalhos mais se aproximaram do escopo da proposta de nossa pesquisa. Os resultados destes artigos ajudaram a traçar as linhas base para especificação e desenvolvimento do tema dessa tese.

As contribuições de cada trabalho foram catalogadas e algumas sugestões, que foram implementadas nesta tese, foram selecionadas. Também foram mapeadas as limitações das pesquisas citadas e identificou-se que nossa proposta se diferencia das demais quando sugere a combinação de fontes distintas de informação para melhorar a relevância da recuperação dos conhecimentos tácito e explícito relativos ao um contexto educacional, cujo domínio será formalizado por uma ontologia, apoiado por um LMS.

IV A proposta para o *framework* iDE

Este capítulo apresenta a proposta de busca individual e combinação de fontes distintas de informação para a recuperação e tratamento dos conhecimentos tácito e explícito. Primeiramente, será apresentado o modelo de referência para o *framework* e a metodologia utilizada como estratégia para o tratamento, recuperação, busca individual e a combinação de fontes distintas de informações. Em seguida, será apresentada a arquitetura de referência que permitirá a implementação do sistema multiagente que compõe o iDE.

IV.1 Modelo de referência

O modelo de referência para o *framework* iDE tem a finalidade de direcionar as etapas de construção da arquitetura de referência que servirá de base para a implementação do arcabouço proposto. Apresentado de forma genérica (independente de protocolos, padrões ou tecnologias), o modelo de referência estabelece a estratégia de solução para a recuperação e utilização dos conhecimentos tácitos e explícito, no âmbito do *framework* iDE.

IV.1.1 Cenário e diretrizes

Nesta subseção são listadas e analisadas algumas situações que serviram de cenário de atuação e aplicação para o iDE. Essas situações foram selecionadas para fins de comparações de problemáticas usuais do ensino à distância com as soluções sugeridas pelo *framework*. A identificação de características específicas a essas questões estabeleceu os principais de elementos de partida para o desenvolvimento do modelo de referência para o *framework* iDE.

Assim, a partir da análise das situações expostas no Quadro 3, foi possível a esquematização das diretrizes que orientaram a implementação das soluções sugeridas pelo arcabouço proposto.

As situações enumeradas no Quadro 5 ajudaram a construir cenários que justificariam a aplicação do *framework* iDE, e definiram o ambiente onde sua atuação seja necessária. As intervenções sugeridas pelo *framework* – no caso dos cenários, identificado como um sistema inteligente – são importantes para facilitar as tarefas cotidianas comuns à realidade de cursos na modalidade à distância.

Quadro 3 – Comparação entre situação atual e soluções propostas

Id	Situação atual	Solução proposta
1	Problemas recorrentes a um curso ou polo.	Recorrer a soluções já usadas em situações semelhantes para formar uma possível solução para o problema.
2	Dificuldades em recuperar soluções já utilizadas com sucesso em situações anteriores.	Apresentar sugestão de soluções anteriores de acordo com as características do problema.
3	Dificuldades em adaptar soluções anteriores a problemas novos.	Sugerir combinação de soluções para se conseguir respostas para a formação de uma possível solução para o problema.
4	Dificuldades em combinar soluções diferentes.	Apresentação de informações de diferentes fontes de informação, que possam levar a uma combinação de respostas para uma possível solução para o problema.
5	Dificuldades em recuperar opiniões de especialistas.	Considerar as opiniões de especialistas, catalogando-as conforme o tipo de problema.
7	Modelos pedagógicos tradicionais para EaD não abrangem recuperação do conhecimento tácito e explícito.	Apresentar um arcabouço conceitual que ofereça um modelo para recuperar os conhecimentos tácito e explícito, com base na coleta de casos anteriores, na opinião de especialistas e em informações de um AVA.

Cenários de aplicação:

Cenário 1:

A sede do polo da cidade de Tefé, no Estado do Amazonas, ficou três dias fechada por conta de problemas na rede elétrica, causados por uma forte tempestade. O coordenador local informou que os alunos dos cursos de Ciências Agrárias e Educação Física, ministrados na modalidade à distância, não puderam realizar atividades no ambiente virtual, pois os computadores não estavam disponíveis. Os alunos, sentindo-se prejudicados, recorreram ao coordenador de curso para que as datas das atividades fossem postergadas. O coordenador de curso teve que convocar uma reunião com o coordenador de graduação e alguns professores para avaliar a situação.

Respostas para essa situação poderiam ser sugeridas por um sistema computacional inteligente que armazenasse conhecimento adquirido em experiências anteriores. O sistema analisaria a questão e verificaria similaridades com outros problemas, apresentando então propostas de soluções para o caso.

Cenário 2:

Alunos do curso de Administração estavam com dificuldades em acompanhar o conteúdo da disciplina Matemática Básica. Os tutores presenciais não estavam conseguindo orientar os alunos nas atividades, pois os mesmos alegavam não possuir domínio dos requisitos básicos para a disciplina. O coordenador de curso foi informado de que esta mesma

situação já tinha ocorrido antes, em uma gestão anterior e em outros polos, porém não conseguiu levantar qual solução foi empregada para resolver o problema.

Um sistema inteligente que contivesse informações de problemas e soluções passadas, empregadas com sucesso, poderia sugerir aquelas que mais se assemelhassem ao caso, analisando o nível de similaridade do problema atual com uma situação anterior.

Cenário 3:

As turmas de Introdução à Informática, disciplina oferecida aos cursos de Educação Física, Ciências Agrárias, Artes e Biologia, no primeiro semestre de 2015, vinha apresentando dificuldades na realização de atividades e de manuseio do LMS Moodle, fazendo com que os alunos não conseguissem realizar as tarefas e causasse uma desmotivação geral para com o curso. Os tutores presenciais e à distância perceberam o problema e comunicaram a situação aos professores e coordenadores. Os coordenadores de graduação e de curso solicitaram ajuda das coordenações de tecnologia e acadêmica. Foi sugerido que fosse realizado um levantamento do desempenho de turmas anteriores nesta disciplina, em relação à participação em atividades no LMS e nas notas finais. A coordenação acadêmica convocou todos os professores desta disciplina para montarem uma proposta de intervenção.

Um sistema inteligente poderia combinar informações provenientes de relatórios do A LMS (com dados pedagógicos e acadêmicos de turmas da mesma disciplina) com informações sobre soluções implementadas em ocasiões anteriores. Mesmo que não tenha ocorrido alguma situação considerada semelhante, a combinação dessas informações poderia fornecer soluções que pudessem ser aplicadas ao contexto do problema atual.

Cenário 4:

O polo de São Gabriel da Cachoeira possui muitas dificuldades de logística e comunicação devido à distância entre a capital Manaus, e aos poucos recursos tecnológicos disponíveis na região. Os tutores presenciais e o coordenador de polo já atuam há bastante tempo na região e conhecem bem as dificuldades presentes na rotina do processo de implantação e gerenciamento de um curso à distância, bem como o comportamento e especificidades dos estudantes da localidade. Esse conhecimento implícito tem sido muito útil para resolver os problemas diários deste polo, porém não se consegue aproveitá-lo para o emprego em outras localidades.

Um sistema inteligente poderia reunir essas informações através de uma interface *web*, amigável ao detentor do conhecimento e que facilitasse uma descrição convencional do mesmo. A formalização desse conhecimento, produziria informações que pudessem ser replicadas e reaproveitadas em diversas situações com características semelhantes.

Considerações:

A partir da descrição dos cenários apresentados, pode-se estabelecer quatro diretrizes básicas que nortearam o desenvolvimento do *framework* iDE, como se segue:

- Identificação e recuperação do conhecimento: o *framework* deve permitir a identificação e recuperação dos conhecimentos tácito e explícito, pertinentes a especialistas, base de dados de AVAs, e outros atores do processo de ensino-aprendizagem em EaD.
- Busca individual e combinação: o *framework* deve possibilitar a busca individual e a combinação de diferentes fontes de informação, a fim de oferecer soluções mais relevantes para o problema proposto.
- Apoio à decisão: o *framework* deve oferecer um mecanismo que auxilie a tomar suas decisões e escolher a solução mais relevante ao problema proposto.
- Aprendizagem: o *framework* deve possuir a habilidade de “aprender” com as respostas apresentadas como solução e com a avaliação de usuários e especialistas.

Cada diretriz representa um módulo conceitual do arcabouço a ser especificado no modelo de referência, cuja finalidade é designar as tarefas do *framework*, detalhando suas formas de intervenções individuais e conjuntas.

IV.1.2 Modelo conceitual para recuperação do conhecimento

A descrição do modelo conceitual para a recuperação do conhecimento é fundamental para a criação do modelo de referência do *framework* iDE, pois é nessa tarefa que se baseia o seu mecanismo de inferências para a construção de soluções para o problema proposto.

Para Strube (1991), a resolução de problemas humanos e a aprendizagem em geral são processos que envolvem a representação e utilização de vários tipos de conhecimento e a combinação de vários métodos de raciocínio. Desta forma, a inteligência poderá ser emulada a partir de um modelo que se baseie no discernimento cognitivo como um princípio orientador. Assim, um modelo onde a reutilização de casos esteja no centro, também deve incorporar outros tipos de conhecimento oriundos de outros meios de informação (STRUBE, 1991).

A modelagem do conhecimento é primordial nos sistemas educacionais baseados em tecnologia, visto que fornece os meios para apoiar a instrução adaptada e personalizada (DILLENBOURG e SELF, 1992). Conforme visto nos capítulos II e III, as técnicas de IA podem ser utilizadas para ajudar na recuperação do conhecimento, e alguns trabalhos relacionados, inclusive, citam estratégias de combinação para otimizar essa tarefa. Entretanto, o processo de se inferir o conhecimento inerente a um ambiente de aprendizagem, é mais do que selecionar informações passadas ou atuais, ou ainda, somente coletar a opinião

de especialistas. É necessária uma estrutura ou um modelo que suporte uma descrição precisa dessas técnicas e sua adequação ao contexto.

A fim de prover essa estrutura de conhecimento, foi desenvolvido um *framework*, cuja finalidade é oferecer um arcabouço conceitual para abrigar a máquina de raciocínio responsável pela combinação e adaptativa de fontes diferentes de informação. A partir dessas ações combinatórias, serão oferecidas soluções para problemas com características pedagógicas e de infraestrutura em um ambiente de educação a distância. Essas soluções serão submetidas à avaliação de especialistas e dos usuários que submeteram o problema proposto, por meio de uma interface *web* para entrada e saída de dados.

O arcabouço proposto fornece um modelo conceitual abrangente para a recuperação do conhecimento, no escopo de cenários de cursos oferecidos na modalidade à distância. Ele inclui a formalização de conceitos relativos ao modelo, dos elementos formadores de informação útil (dados e metadados) e a representação gráfica do processo de modelagem e recuperação do conhecimento (Seção IV.2). A metodologia para o seu desenvolvimento é definida pelos seguintes passos:

- 1) Definir uma terminologia consistente para utilização na investigação sobre a identificação dos conhecimentos tácito e explícito.
- 2) Identificar as técnicas de IA a serem usadas para extrair informações do contexto.
- 3) Descrever as buscas individuais e combinações possíveis dessas técnicas para a modelagem do conhecimento.
- 4) Estabelecer pesos para cada fonte de informação (conforme determinação do usuário), descrevendo as situações de variação dos mesmos;
- 5) Realizar a busca individual e combinação das técnicas, de acordo com a escolha do usuário.
- 6) Efetuar as tomadas de decisões, ponderando-se sobre os pesos dados aos conjuntos distintos de informações, resultantes da combinação escolhida.
- 7) Executar a ação de aprendizado, a partir da avaliação das soluções, realizada pelos especialistas.

As etapas descritas definem a estrutura conceitual computacionalmente orientada dentro da qual os métodos para a recuperação do conhecimento serão executados. O esquema geral da arquitetura do *framework* é mostrado na seção IV.4.

Além dos resultados oferecidos pelo *framework*, ou seja, as soluções para problemas recorrentes em ambiente de EaD, buscou-se respostas para os seguintes questionamentos, na abrangência do estudo de caso:

- 1) Os conhecimentos tácito e explícito foram recuperados satisfatoriamente a partir da combinação de técnicas de IA?

- 2) O conhecimento recuperado apresentou solução relevante (segundo avaliação de especialistas e dos usuários que cadastraram o problema) na resolução da questão proposta?

Estas sentenças ponderativas estão diretamente relacionadas às questões de pesquisa desta tese e foram respondidas por especialistas, a partir da aplicação do *framework* iDE no contexto do estudo de caso proposto.

IV.1.3 Definições do *framework* iDE

Nesta tese, o problema apresentado e seus desdobramentos são analisados sob a ótica do domínio do estudo de caso proposto. A relação entre situações problemáticas atuais e outras similares resolvidas anteriormente auxilia na identificação de soluções para possível reaproveitamento, a partir da aplicação de estratégias de resolução baseada em respostas recuperadas pelos agentes inteligentes que compõem o *framework*, conforme será discutido nesta seção.

A abrangência das respostas ao problema submetido ao arcabouço é definida por informações extraídas do conhecimento tácito e explícito, armazenados pelo *framework* iDE. Assim, as soluções para a questão de entrada, são baseadas na ação de um sistema multiagente, embasado pela modelagem de informação oferecida por uma ontologia, que caracteriza o domínio do estudo de caso.

De acordo com Dillenbourg e Self (1992), um comportamento de um agente é definido como uma sequência de ações realizadas por esse mesmo agente, como uma solução potencial para algum problema pertencente a um determinado domínio. O comportamento de um agente pode ser entendido como uma ação ou conjunto de ações executadas pelo mesmo. Para o arcabouço proposto, foram definidos quatro agentes: *Manager agent*, *Experts agent*, *LMS agent* e *CBR agent*, os quais possuem dois tipos de comportamentos: (i) coordenador e (ii) solucionador:

- (i) Coordenador: agente que gerencia e ativa o comportamento dos demais agentes. No iDE corresponde ao *Manager agent*, que também é responsável pela combinação do conhecimento das fontes de evidência de informação.
- (ii) Solucionador: o agente com comportamento solucionador de problemas (no caso, os agentes *CBR*, *LMS* e *Experts*) contém uma estrutura de inferência. Essa estrutura é um conjunto de regras inferenciais e relações de indução para ser usado para gerar alguma ação informativa, para um dado problema.

Para fins de formalização, entende-se por conjunto domínio do problema todos os elementos de entrada de dados e por contradomínio todas as saídas definidas para o *framework*, conforme pode ser visto na Figura 18.

Para a padronização dos dados de entrada e saída seguem as definições:

x : elemento correspondente a um dado de entrada.

y : elemento correspondente a um dado de saída.

Sejam as propriedades:

P_1 : uma propriedade definida por um conjunto de caracteres (variável), que armazenará um texto em linguagem natural, descrevendo o problema de entrada.

P_2 : uma propriedade definida por uma lista de itens, cujo valor será do tipo verdadeiro ou falso (*booleano*), que corresponde às opções necessárias à caracterização do problema.

P_3 : uma propriedade definida por um conjunto de caracteres (variável), que armazenará um texto em linguagem natural, descrevendo uma solução para o problema de entrada.

De forma genérica, considerem-se os conjuntos de entrada E_1 e E_2 :

$$E_1 = \{x|P_1(x)\} \text{ e } |E_1| = 1$$

$$E_2 = \{x|P_2(x)\} \text{ e } E_2 \neq \emptyset$$

Assim, o conjunto que representa a entrada de dados do *framework* iDE é dado por:

$$E = E_1 \cup E_2$$

E o conjunto que representa a saída de dados é dado por:

$$S = \{y|P_3(y)\} \text{ e } S \neq \emptyset$$

O modelo conceitual do *framework* iDE abrange três agentes de *software*, os quais correspondem às fontes de informação disponíveis para o estudo de caso, sendo:

X_1 : Conjunto que contém uma cadeia de caracteres que armazena as informações retornadas pelo *CBR agent*.

X_2 : Conjunto que contém uma cadeia de caracteres que armazena as informações retornadas pelo *Experts agent*.

X_3 : Conjunto que contém uma cadeia de caracteres que armazena as informações retornadas pelo *LMS agent*.

O conteúdo dessas variáveis é gerado pelas funções:

$$f_1(E)$$

$$f_2(E)$$

$$f_3(E)$$

Onde:

f_1 : função cuja imagem consiste no conjunto X_1 , gerado a partir da submissão dos elementos do conjunto E à ação do *CBR agent*.

f_2 : função cuja imagem consiste no conjunto X_2 , gerado a partir da submissão dos elementos do conjunto E à ação do *Experts agent*.

f_3 : função cuja imagem consiste no conjunto X_3 , gerado a partir da submissão dos elementos do conjunto E à ação do *LMS agent*.

Os detalhes de implementação destas funções serão apresentados no capítulo V.

Para a combinação de informações de diferentes fontes de evidências são estabelecidas as seguintes considerações:

Seja A o conjunto das informações retornadas pelos agentes de *software* que representam a fonte de informação e definido por:

$$A = \{X_1, X_2, X_3\}, \text{ e } A \neq 0$$

Os elementos de A serão submetidos ao processo de combinação de informações.

A partir destas definições, pode-se resumir a ação dos agentes de *software* que levarão à combinação das fontes de informação, cujo resultado disponibilizará possíveis soluções para o problema apresentado.

Assim, a combinação das fontes de informação será definida pela expressão:

$$S = \bigcup_{i=1}^n a_i \times w_i \quad \text{Equação 1: Equação ponderada}$$

Onde:

i = quantidade de fontes de evidência de informação.

a_i = elemento do conjunto A , que são as informações retornadas pelos agentes.

w_i = fator de peso a ser aplicado a cada fonte de informação, conforme opção do usuário.

S é o conjunto-saída, composto pelos elementos resultantes da combinação das fontes de informação e representam os dados de saída do *framework* iDE. O conjunto S será gerado pela função computacional $Comb(A)$.

A Figura 14 esquematiza as entradas, as funções que representam os agentes do *framework* e a combinação das fontes de informação que geram o conjunto-saída S .

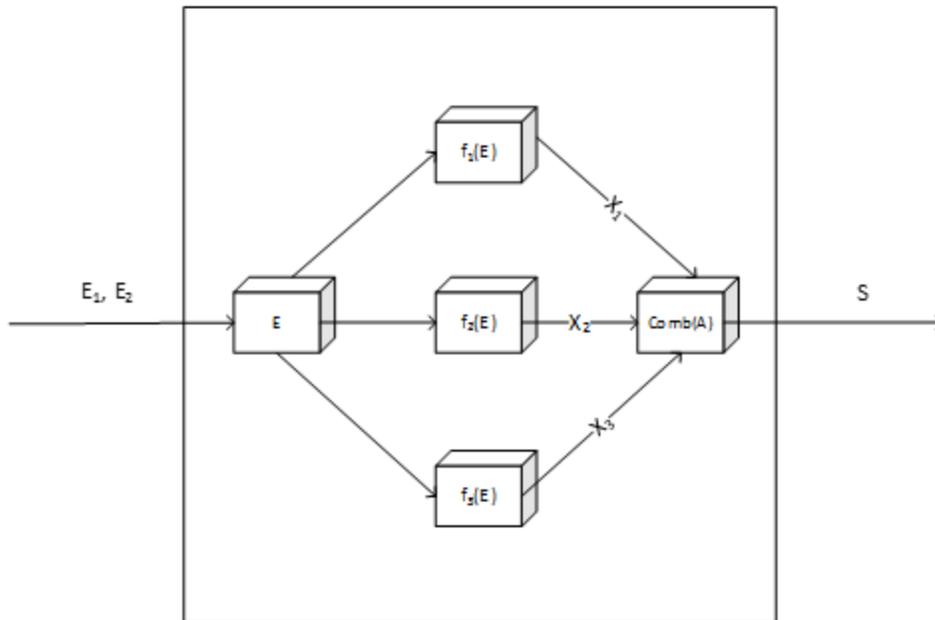


Figura 14 – Entrada e saída de dados no iDE.

Os conjuntos E_1 e E_2 representam os dados de entrada que formam o conjunto E . As funções f_1 , f_2 e f_3 atuam nos dados de entrada e retornam os elementos dos conjuntos X_n , que são submetidos à função de combinação $Comb(A)$, gerando assim o conjunto S , com os dados de saída.

IV.1.4 Caracterização e dimensões do *framework* iDE

As diretrizes de caracterização do *framework* iDE foram divididas em unidades de tarefas, que compuseram as dimensões de atuação do arcabouço.

- 1) Interação com o meio externo: o *framework* precisa prover a interação com o usuário, receber as informações referentes ao problema proposto e à avaliação das respostas.
- 2) Apreensão, verificação e armazenamento do conhecimento: essas tarefas têm a finalidade de recolher as informações de entrada no arcabouço e submetê-las à certificação de dados executada pela ontologia de domínio. Após a verificação ontológica, os dados serão armazenados na base de dados.
- 3) Coordenação e gerenciamento de tarefas: as tarefas de identificação do problema e da escolha das opções de busca de soluções devem ser gerenciadas e coordenadas de forma que as fontes de informação possam receber os elementos necessários à análise das questões.
- 4) Busca individual e combinação de informações: as informações devem ser repassadas aos módulos inteligentes, cujas funções atendam especificamente as opções de buscas solicitadas.
- 5) Apoio à decisão: as soluções serão retornadas a partir de uma análise inteligente, baseada em regras de similaridade entre os objetos de informação.
- 6) Acesso à solução: o *framework* deve prover ao usuário o acesso à visualização das soluções retornadas ao problema proposto.
- 7) Regras de aprendizado: o *framework* deve definir pseudo-heurísticas para definição das ações de aprendizado.
- 8) *Feedback* ao usuário: o *framework* deve prover ao usuário a opção de consulta aos dados cadastrados e às buscas mais recentes e às soluções consideradas relevantes.

Como pode ser visto, o *framework* iDE é composto por vários elementos fundamentais para o processo de estruturação das funções oferecidas, tais como: ações de agentes, banco de dados/ontologia, aprendizado e avaliação. Assim, o modelo de referência procurou contemplar esses elementos, a partir das diretrizes especificadas, em três dimensões, cujos objetivos são o gerenciamento e a organização dos recursos computacionais do iDE e suas interações com o ambiente externo.

As três dimensões estabelecidas são: (i) Comunicação; (ii) Análise e Recomendação; e (iii) Aprendizado. Os detalhes e características de cada dimensão são descritos na próxima subseção. A Figura 15 especifica o esquema gráfico para o modelo de referência do *framework* iDE e estrutura as três dimensões e as diretrizes que as identificam.

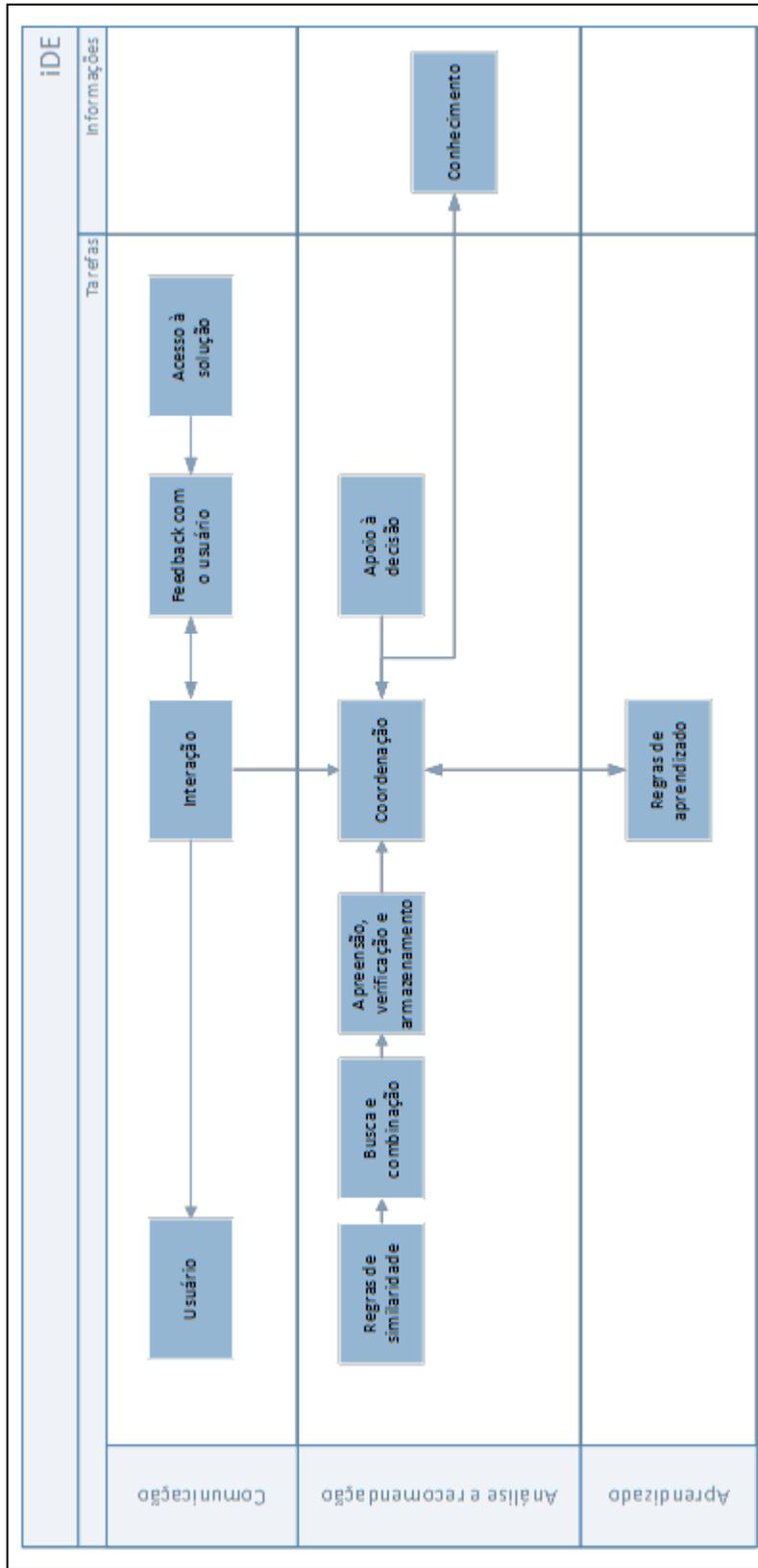


Figura 15 – Modelo de referência do *framework* iDE.

IV.1.4.1 Comunicação

A dimensão de comunicação do *framework* iDE se divide em dois aspectos: o externo e o interno. O aspecto externo diz respeito à interação com o ambiente exterior, ou seja, às mensagens trocadas entre o iDE e a *interface web* que estabelece a comunicação com usuários e permite a entrada e saída de dados do *framework*. O aspecto interno faz referência às mensagens e ações entre os agentes inteligentes, para carregamento de informações e ativação de funções.

As Figuras 16 a 19 exibem a comunicação entre os agentes de *software* e a *interface*, além de esquematizar as ações de ativação de funções.

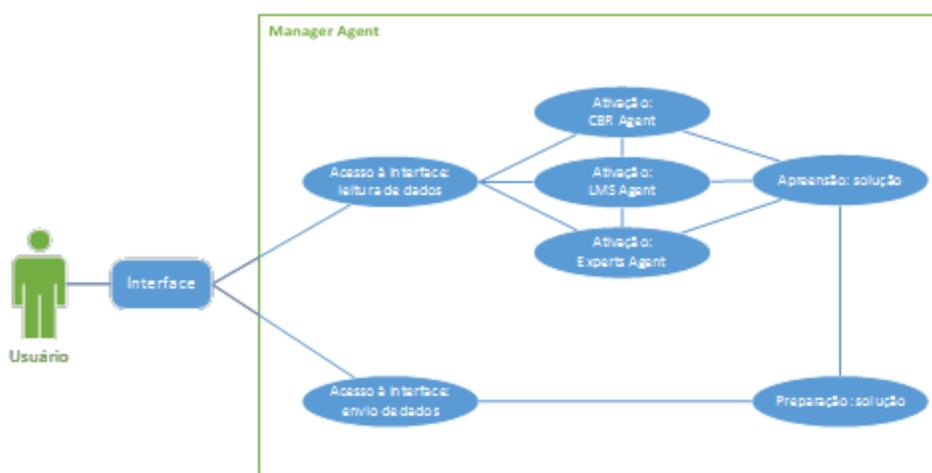


Figura 16 – Comunicação e ações: *Manager agent*.

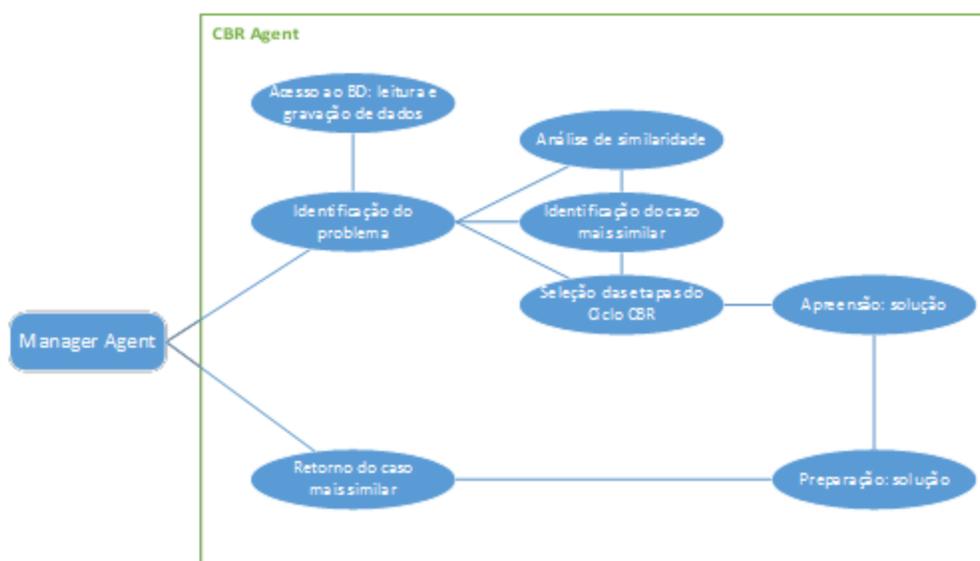


Figura 17– Comunicação e ações do *CBR agent*.

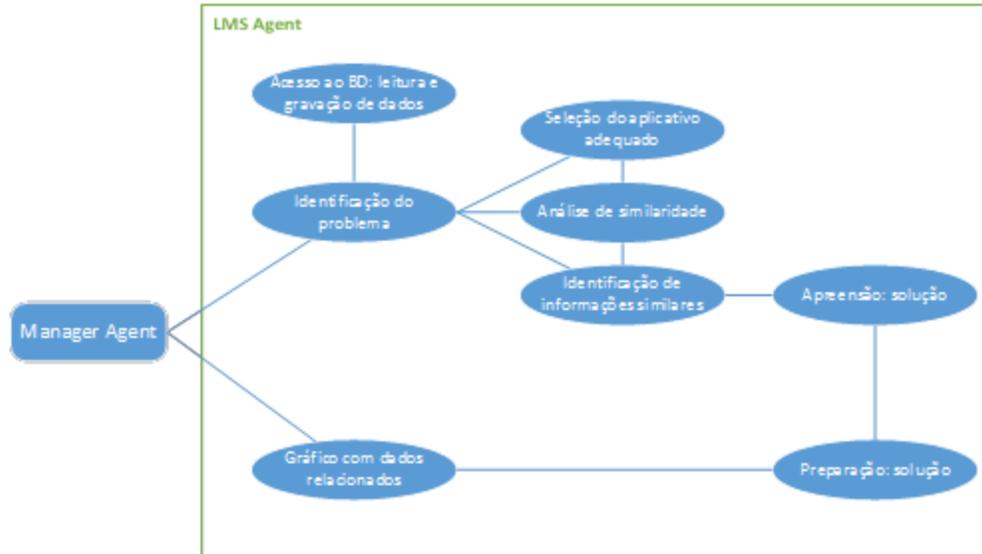


Figura 18 – Comunicação e ações do *LMS agent*.



Figura 19 – Comunicação e ações do *Experts agent*.

O carregamento inicial de informações ocorre na *interface*, com a entrada de dados como: problema a ser resolvido, por solicitação do usuário; detalhes do problema, tais como polo, curso, disciplina, período, entre outros; descrição detalhada; e relator. A partir dessa etapa, o *Manager agent* identifica o tipo de busca escolhido pelo usuário ou sugere a busca por CBR. Então, é disparada a mensagem de Ativação do respectivo agente selecionado.

Após as ações do agente, o *Manager agent* apreende a solução, a formata de modo a ser inteligível para o usuário e a envia para a *interface*.

As mensagens de comunicação e ações dos demais agentes de *software* seguem o mesmo padrão: primeiramente a ativação por parte do *Manager agent*, em seguida, ocorre a identificação do problema proposto e o acesso ao Banco de Dados, para resgate das informações que o agente necessitará para suas executar suas funções. A partir dessas, é gerada a solução, que é enviada ao *Manager agent* para tratamento e publicação na *interface*.

IV.1.4.2 Análise e Recomendação

As tarefas de análise do problema proposto e a recomendação de possíveis soluções para o mesmo são baseadas na abordagem da definição similaridade entre objetos de informação (WANGENHEIM, WANGENHEIM e RATEKE, 2013). Visto que o conceito de similaridade abrange a percepção de semelhança entre dois objetos, e essa impressão pode ser apreendida tanto por humanos quanto por modelos formais, a abordagem caracteriza-se como adequada para o contexto desta pesquisa, pois, as medidas de similaridade são “(...) a formalização de uma determinada filosofia de julgamento de semelhança através de um modelo matemático concreto.” (WANGENHEIM e WANGENHEIM, 2003).

A máquina de inferência do *framework* iDE é baseada em medidas de similaridade entre o problema proposto e as informações armazenadas, sejam elas originadas de casos passados, opinião de especialistas ou dados de um ambiente virtual. Os dados alimentam a função de similaridade que simula a tarefa de classificação e escolha da melhor solução, ou seja, a solução mais similar ao problema.

O modelo conceitual do iDE utilizou a abordagem de similaridade utilizada pela técnica de Raciocínio Baseado em Casos (CBR), e adaptou-a para suportar a inclusão de novas fontes de informação além dos casos passados. Para cada fonte de informação foram determinados índices específicos para o cálculo de similaridade, mas todas seguiram a representação descrita no modelo para a implementação da função de similaridade.

Desta forma, este modelo representa os objetos de estudo pela relação (problema, solução) e o cálculo da similaridade entre esses objetos é definido por uma medida numérica de distância (AAMODT e PLAZA, 1994), facilitando assim sua representação gráfica do problema e das informações armazenadas.

De acordo, com Wangenheim, Wangenheim e Rateke (2013), uma medida de similaridade sobre um universo U é uma função do tipo:

$$sim(x, y): (U \times U) \rightarrow [0,1]$$

Equação 2

Onde:

sim: é a similaridade entre o problema proposto (*x*) e a informação armazenada (*y*).

U: é o conjunto de todas as informações armazenadas e os valores 0 e 1 representam o intervalo de valores que a função pode assumir.

Para fins de implementação da função similaridade *sim*, foram consideradas as seguintes propriedades:

$$\forall x \in U \quad sim(x, x) = 1 \quad \text{reflexibilidade}$$

$$\forall x, y \in U \quad sim(x, y) = sim(y, x) \quad \text{simetria}$$

O objetivo da função *sim* é calcular a similaridade máxima a *x*. Então para $x \in U$, deve ser satisfeita a expressão:

$$\exists y \in BD (\forall u \in BD) \quad sim(x, y) \geq (sim(x, u))$$

Onde:

BD: é a base de dados.

Existem variados enfoques para determinação de medidas de similaridade, e várias técnicas têm sido largamente usadas na literatura, dentre elas pode-se citar (KOLODNER, 1993): *Nearest Neighbour*, Distância Euclidiana, Distância de Manhattan, Distância de Hamming, Coeficiente de Casamento Simples entre outras. Os métodos de recuperação do caso mais similar utilizados como mais frequência nessa etapa são os algoritmos *Nearest Neighbour* e as árvores de decisão.

No modelo do iDE optou-se por utilizar a técnica *Nearest Neighbour*, por ser simples e eficiente para o cálculo de similaridade entre objetos de informação. Esta técnica consiste na definição da similaridade como distância geométrica, ou seja, na representação da base de dados como pontos em um espaço multidimensional. Assim, a distância espacial entre um novo problema e as informações na base determina a similaridade entre eles.

A questão a ser resolvida pode ser representada geograficamente e a distância espacial entre o problema e as informações armazenadas significa a similaridade entre eles (WANGENHEIM e WANGENHEIM, 2003). Deste modo, a solução pode ser reduzida à

delimitação do vizinho mais próximo geograficamente, depois de se determinar a distância d .

Para fins de controle de atributos de maior relevância, será implementada a abordagem do *Nearest Neighbour* em sua forma ponderada, ou seja, considera-se a importância dos atributos, determinando pesos para os índices de maior relevância para o cálculo. Nessa variação, uma informação é considerada mais similar quando a similaridade global desta em relação ao problema fornecido é superior aos valores de similaridade das demais informações existentes na base de dados (SANTOS *et al.*, 2008).

Os valores de similaridade são normalizados em uma faixa de 0 a 1, sendo 0 “totalmente não-similar” e 1 “totalmente similar”. A normalização é realizada com a divisão do valor de similaridade pela soma total dos pesos dos índices.

A similaridade global indica a similaridade entre as informações armazenadas na base e é dada pela média ponderada das similaridades locais relacionadas aos pesos atribuídos a cada atributo, como mostrado na equação a seguir (FERNANDES, 2005):

$$\text{Similaridade } (P,A) = \frac{\sum_{i=1}^n f(P_i,A_i) \times w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

P = problema proposto

A = informação analisada

n = número de atributos

w = peso atribuído ao i -ésimo atributo

i = i -ésimo atributo

f = função que calcula a similaridade local entre o problema P e a informação A para o i -ésimo atributo

A similaridade local corresponde aos valores definidos em relação ao tipo específico de um atributo, integrados por meio de uma média ponderada para calcular a similaridade global, como pode ser visto na Equação 3. A medida de similaridade local tem de ser definida no contexto especificado, pois os atributos possuem importância diferente em cada situação.

Estabelecidas as similaridades global e local, pode-se compor o gráfico que representa o problema, as soluções e as distâncias entre eles que determinará o nível de similaridade (Figura 20). Convém observar que, neste exemplo, por causa dos diferentes pesos atribuídos aos atributos, a escala do eixo X é duas vezes maior que o eixo Y. Assim, a informação Info 2 está mais próxima ao problema P.

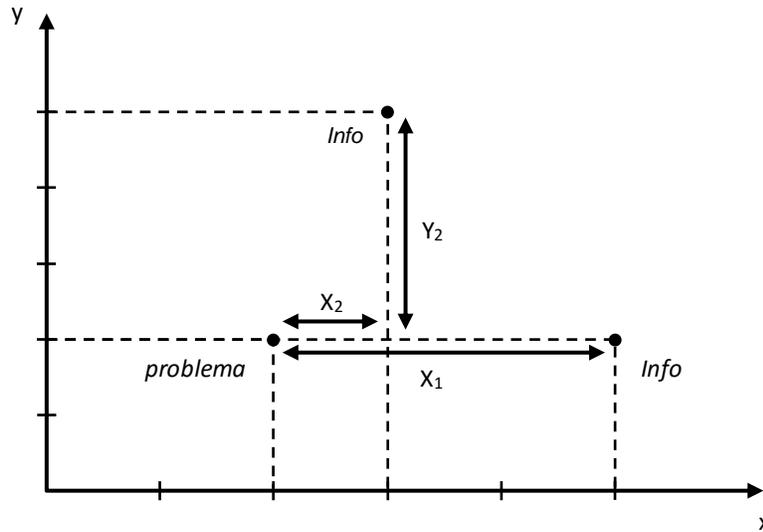


Figura 20 – Representação de um problema: *Nearest Neighbour* ponderado (adaptado de Wangenheim e Wangenheim (2003))

Como a similaridade local verifica a similaridade entres os atributos individuais das informações, a mesma deve ser definida conforme o tipo específico do atributo, como por exemplo: número, símbolo binário, símbolo (ordenado, não-ordenado, taxonômico), intervalos, conjunto, *string*, entre outros (NASCIMENTO, 2018).

A recomendação da solução mais similar cumpriu as seguintes etapas, baseadas em Wangenheim, Wangenheim e Rateke (2013):

- Estabelecimento da base de dados BD com n informações $D_i: BD = \{D_1, \dots, D_n\}$ e uma medida de similaridade sim .
- Consulta descrevendo (parcialmente) o novo problema ou situação: P
- Definição de recomendação:
 1. O caso mais similar D_i ou
 2. O conjunto das informações mais similares $\{D_1, \dots, D_m\}$ (ordenado ou não) ou
 3. Todas as informações $\{D_1, \dots, D_m\}$ que possuem similaridade em relação a P
 4. Definição de pelo menos um valor de similaridade \geq a um limiar mínimo de similaridade.

IV.1.4.3 Aprendizado

O processo de aprendizado ocorre sempre que um sistema altera seu conhecimento de forma constante, como por exemplo, pelo incremento de novas informações. A técnica do

CBR suporta o aprendizado sustentado pela atualização contínua dos casos, por essa razão a estratégia de aprendizado adotada para o *framework* iDE se baseará nas etapas ali sugeridas.

O método de aprendizado do CBR é feito por analogia, por meio da transformação e extensão de conhecimento existente, delimita-se uma tarefa ou problema similar para serem resolvidos, executando estratégias de indexação e recuperação para casos de um único domínio. As analogias geradas pelo CBR não necessitam ser corretas e generalizáveis (WANGENHEIM e WANGENHEIM, 2003).

Assim como no CBR, no modelo do *framework* iDE, as informações são armazenadas sem modificações em uma base de dados. O iDE aprende de modo incremental, e tem sua performance otimizada conforme a utilização de suas funções. Desta forma, a tarefa de aprender pode ser vista como um processo de melhora de desempenho das funções do iDE.

A base de dados foi montada a partir de um conjunto de exemplos cadastrados por especialistas. A ação de aprendizado ocorrerá quando o usuário julgar como relevante a solução apresentada pelo *framework*. Novas informações serão aceitas para compor a base, a partir desse critério de seleção.

O processo de aprendizado do iDE é definido pelos seguintes passos, adaptado de Wangenheim, Wangenheim e Rateke (2013), ressaltando que o termo “conceito” refere-se a uma nova solução que será aprendida pelo *framework*:

1. A partir da entrada de dados é gerada uma sequência de conceitos
 $C = \{C_1, \dots, C_n\}$.
2. Partindo-se de uma base de dados vazia e uma medida de similaridade inicial sim , é gerada uma sequência de tuplas $\{(D_1, sim_1), \dots, (D_k, sim_k)\}$ com $D \subseteq \{C_1, \dots, C_k\}$;
3. O aprendizado descreve um conceito C por meio de uma tupla (D_n, sim_n) .
4. O conceito que será aprendido é definido como a sequência
 $C_1 = (D_1, sim_1), \dots, C_k = (D_k, sim_k)$ de conceitos;
5. Um conceito C será aprendido pelo classificador do *Manager agent*, quando $\exists n \forall m C = (D_n, sim_n) = (D_m, sim_m)$, e quando ocorrer a entrada de mais informações $C_i, i \geq n$ e a descrição do classificador (D_n, sim_n) não se altere mais.

Em resumo, a relação da base de dados e da medida de similaridade com um conceito (solução) a ser aprendido pode ser descrita como segue:

conceito aprendido = base de dados + medida de similaridade

Na abordagem do *framework* iDE, o “conceito” aprendido consiste em uma solução que foi submetida à avaliação de um usuário especialista, que a analisou sob a ótica do

problema proposto e a considerou relevante. Assim, a expressão **conceito aprendido** define-se pela sua inclusão na base de dados e a definição da medida de similaridade que o representa no contexto da questão resolvida.

IV.1.5 Adaptações ao modelo SECI

Para as ações de recuperação e tratamento do conhecimento, propostas pelo *framework* iDE, será aplicado o modelo SECI para análise e transformação das informações obtidas e armazenadas no arcabouço. As etapas do processo do modelo serão adaptadas às atividades disponíveis no *framework* e relacionadas de acordo com suas características.

De acordo com Nonaka, Toyama e Konno (2000), o conhecimento é dinâmico e contextual, visto que é originado a partir de interações sociais entre as pessoas e organizações (NONAKA *et al.*, 2000). Como sua significação depende das variáveis tempo e espaço, o conhecimento consiste em apenas uma informação, caso não seja situado em um contexto.

Assim, nesta pesquisa, o conhecimento manipulado encontra-se no âmbito da Educação a Distância, sendo que o conhecimento tácito ou implícito será descrito como informações provindas de especialistas com experiência na área. O conhecimento explícito, que pode ser expresso em linguagem sistemática e compartilhada formalmente como dados, consistirá em informações oriundas de aplicativos (*plugins*) para o AVA Moodle e de informações de casos passados, resultantes da aplicação das técnicas de CBR.

Como discutido no Capítulo II, Seção II.2, o modelo SECI se divide em quatro formas de tratamento e conversão dos conhecimentos tácitos e explícitos, sendo essencial a interação entre ambos (NONAKA *et al.*, 2000) para que ocorra a transição harmônica do tipo de conhecimento. As quatro formas são: (1) Socialização (do conhecimento tácito ao conhecimento tácito organizado); (2) Externalização (do conhecimento tácito ao conhecimento explícito); (3) Combinação (do conhecimento explícito a um conhecimento explícito mais elaborado); e (4) Internalização (do conhecimento explícito ao conhecimento tácito).

A primeira etapa do ciclo SECI, a Socialização, é o processo de conversão de novos conhecimentos tácitos através de experiências compartilhadas. Como o conhecimento tácito é difícil de formalizar, sua apreensão acontece somente através da comunicação e colaboração entre pessoas de um mesmo ambiente. No *framework* iDE, esta etapa se traduz na inserção de informações provenientes de especialistas e de mediadores de curso à distância, ambos com bastante experiência em enfrentar problemas recorrentes no dia-a-dia desta modalidade de ensino.

A etapa de Externalização é a articulação do conhecimento tácito em conhecimento explícito, ou seja, é a informação formalizada, expressa em textos, dados, gráficos ou uma linguagem sistemática. Quando o conhecimento tácito é explicitado, sua formalização

permite que seja compartilhado, tornando-se a base do novo tipo de conhecimento. No iDE, esta etapa também faz parte das atividades de inserção de informação no *framework*, mas também abrange o início do tratamento dessas informações de modo direcionado à busca da solução para o problema proposto.

A Combinação é a etapa de conversão do conhecimento explícito em conjuntos mais complexos e sistemáticos de conhecimento explícito. A disseminação do novo conhecimento proporciona ao sistema experiências de aprendizado. No arcabouço proposto, esse conhecimento explícito é reunido a partir da entrada de dados e comparado à base de dados. As ações de inferência dos agentes inteligentes tratam-no de maneira analítica e combinatória, e as informações são editadas ou processadas para formar o novo conhecimento.

Por último, a Internalização é o processo de incorporar o conhecimento explícito e retransformá-lo em tácito. É o movimento final na espiral do conhecimento, proposta por Nonaka e Takeuchi (1995). Nesta etapa, o conhecimento explícito estabelecido é compartilhado e reconhecido em todos os módulos do sistema computacional, sendo que as respostas de saída caracterizam sua conversão em conhecimento tácito pelos usuários do *framework*.

Segundo Alavi e Leidner (2001), quando o conhecimento é internalizado para se tornar parte dos indivíduos, acontece a apreensão de novas experiências e, conseqüentemente, ocorre o aprendizado. Assim, esse conhecimento tácito acumulado no nível individual pode desencadear uma nova espiral de criação de conhecimento quando é recompartilhado com os outros através da socialização. São essas experiências diretas com o conhecimento que compõem o saber especialista.

A seguir, serão detalhadas em quadros classificatórios (Quadros 4 a 6) as atividades do *framework* iDE e sua relação com os quatro quadrantes do modelo SECI (S – Socialização, E – Externalização, C – Combinação, I – Internalização). Essas atividades se referem às opções disponíveis ao usuário e as especialistas e também às ações do sistema multiagente que atua no iDE.

Para as visões Especialista e Mediador foram selecionadas as atividades de inserção e manipulação de informação e sua transformação em dados digitais. As atividades de introdução de informações (cadastro de problemas, casos e opiniões de especialistas) pertencem ao quadrante de Socialização do conhecimento e as de Visualização fazem parte do modo de Internalização.

Quadro 4 – Atividades do *framework* iDE relacionadas aos quadrantes do modelo SECI.
Visão Especialista

Id	Atividades do iDE – visão Especialista	S	E	C	I
1	Inserção de nova opinião de especialista	X	X		
2	Classificação da opinião do especialista			X	
3	Visualização de histórico de opinião do especialista				X
4	Visualização detalhada de opinião do especialista				X

Quadro 5 – Atividades do *framework* iDE relacionadas aos quadrantes do modelo SECI.
Visão Mediador

Id	Atividades do iDE – visão Mediador	S	E	C	I
1	Inserção de problema a ser analisado	X	X		
2	Opção “Busca CBR”: Entrada de dados nos itens problema/caso	X	X		
3	Opção “Busca CBR”: Resultado (descrição/solução sugerida)			X	X
4	Opção “Busca CBR”: Resultado (aprendizado)			X	X
5	Opção “Dados do AVA”: Entrada de dados nos itens	X	X		
6	Opção “Dados do AVA”: Resultado (gráficos/análise de dados)			X	X
7	Opção “Dados do AVA”: Resultado (aprendizado)			X	X
8	Opção “Opinião de Especialistas”: Entrada de dados nos itens	X	X		
9	Opção “Opinião de Especialistas”: Resultado (solução retornada)			X	X
10	Opção “Opinião de Especialistas”: Resultado (detalhes)			X	X
11	Opção “Opinião de Especialistas”: Resultado (aprendizado)			X	X
12	Opção “Combinação”: Entrada de dados nos itens	X	X		
13	Opção “Combinação”: Soluções sugeridas pela combinação			X	X
14	Opção “Combinação”: Resultado (detalhes)			X	X
15	Opção “Combinação”: Resultado (aprendizado)				X
16	Opção “Combinações anteriores”: Lista de combinações			X	X
17	Opção “Combinações anteriores”: Detalhes do item selecionado			X	X

Id	Atividades do iDE – visão Mediador	S	E	C	I
18	Opção “Casos Passados”: Lista de casos			X	X
19	Opção “Casos Passados”: Detalhes do caso selecionado			X	X
20	Opção “Histórico de Buscas”: Lista de buscas			X	X
21	Opção “Histórico de Buscas”: Detalhes da busca selecionada			X	X

Para a visão de Agentes, as atividades relacionadas descrevem o processo de análise de dados para geração de Internalização do conhecimento, ou seja, para a transformação dos dados fornecidos pelo iDE em informação a ser assimilada pelo usuário do *framework*, o que o finaliza o processo do ciclo do modelo SECI, que é a conversão do conhecimento explícito em novamente tácito.

Quadro 6 – Atividades do *framework* iDE relacionadas aos quadrantes do modelo SECI.
Visão Agentes

Id	Atividades do iDE – visão Agentes	S	E	C	I
1	Apreensão de informação		X		
2	Reconhecimento e delimitação do problema		X	X	
3	Identificação de opções (fontes de informação escolhidas)			X	
4	Identificação de opções (fontes de informação sugeridas)			X	
5	Ações <i>CBR agent</i>			X	
6	Ações <i>Experts agent</i>			X	
7	Ações <i>LMS agent</i>			X	
8	Ações <i>Manager agent</i>			X	
9	Ações de aprendizado		X	X	X
10	Apresentação de soluções				X

A classificação das atividades do arcabouço seguiu as etapas de recuperação do conhecimento proposta por Alavi e Leidner (2001), a partir do modelo SECI: Criação; Armazenamento e Recuperação; e Transferência e Aplicação. Essas dimensões foram adaptadas ao modelo do iDE para definição das maneiras de construção e disponibilização do conhecimento no sistema computacional do *framework*. A *interface* do sistema, através dos componentes visuais, facilitou a interação do usuário com as informações que construíram seu novo conhecimento.

Deste modo, a aquisição (coleta) e o tratamento (manipulação) constante dos novos conhecimentos inseridos no *framework* iDE são parte da estratégia para facilitar o aprendizado e reutilização das informações úteis na solução dos problemas do contexto de EaD.

IV.2 Arquitetura de referência do *framework* iDE

A arquitetura de referência tem a finalidade de apresentar um modelo das entidades que constituirão a base conceitual para a implementação das funções do iDE. É pela arquitetura de referência que é possível realizar a transição do modelo de referência para as soluções de *software*. Assim, a arquitetura de referência descreve um *framework* genérico que pode ser expandido e empregado em outras instâncias de aplicação, desde que siga a estrutura do modelo de referência inicial.

Para a definição da arquitetura, foi utilizado o padrão de projeto MVC (Model, View, Control) (MAHMOUD e MAAMAR, 2007), a fim de definir as trocas de mensagens e os tipos de agentes inteligentes. A Figura 21 descreve as classes de serviço da arquitetura do iDE. As setas representam as mensagens trocadas entre as classes e o fluxo de informações. As setas orientadas refletem um caminho bidirecional da informação e as ligações por linha (sem orientação) no MAS significam que as classes fazem parte de um mesmo módulo com funções de modelo e controle.

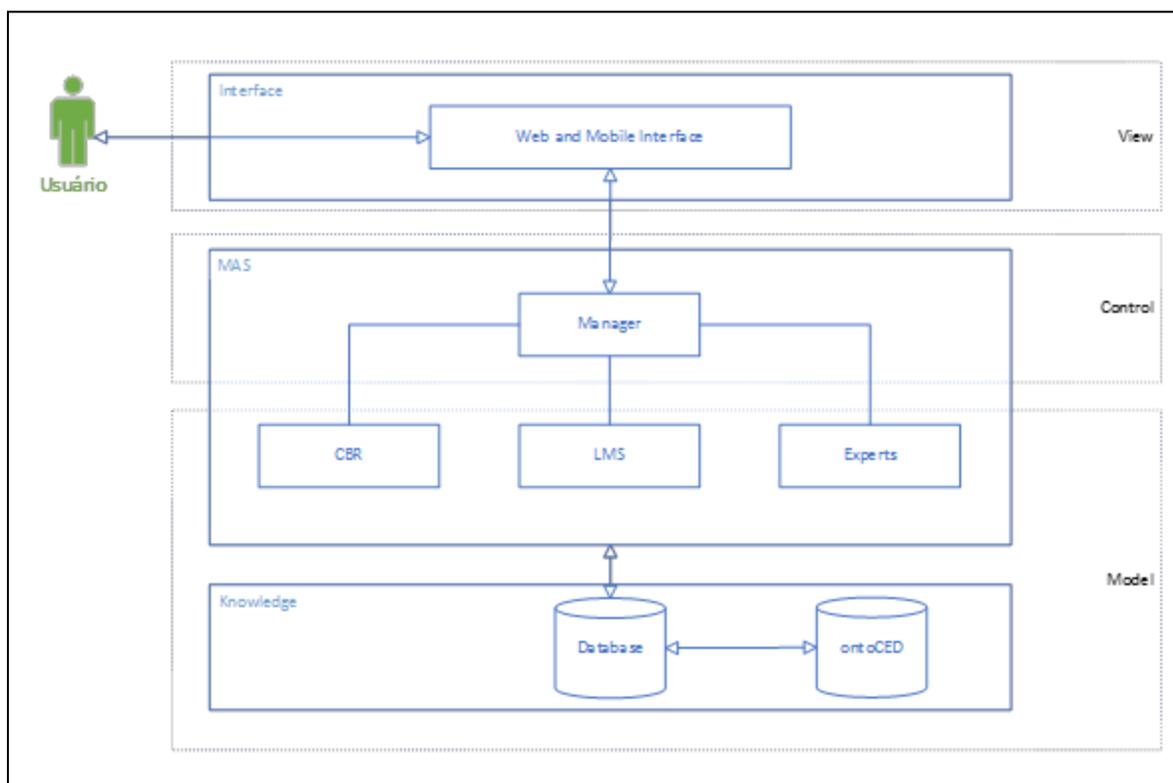


Figura 21 – Arquitetura de referência do *framework* iDE.

A representação do conhecimento é composta pela ontologia de domínio ontoCED e pela base de dados que controlará as informações que alimentarão as funções de análise e aprendizado do iDE. Desta forma, a camada *Model* é composta pelas funções de armazenamento do conhecimento e pelas ações dos agentes responsáveis por executar as tarefas de tratamento do mesmo. A camada *Control* é formada pelo agente responsável por gerenciar as ações de apreensão, manipulação e retenção (aprendizado) do conhecimento. E a camada *View* provê as ações de acesso à *interface* com o meio externo e coleta de informações para apreensão, facilitada pela interação com o usuário.

IV.2.1 Transição do modelo para a arquitetura

Os elementos do modelo de referência podem ser mapeados para seus correspondentes na arquitetura de referência (Quadro 7). Esse mapeamento segue as regras de equivalência de funções e tarefas no *framework* iDE.

Quadro 7 – Comparação entre elementos do modelo de referência e da arquitetura de referência do *framework* iDE.

MODELO	ARQUITETURA
Interação com o meio externo.	Interface com o usuário.
Apreensão, verificação e armazenamento do conhecimento.	Base de Dados, ontologia.
Coordenação e gerenciamento de tarefas.	Ações do MAS.
Busca e combinação de informações.	Ações do MAS.
Apoio à decisão.	Ações do MAS.
Acesso à solução.	Interface com o usuário.
Regras de aprendizado.	Interface de avaliação e ações de análise do MAS.
Feedback ao usuário.	Histórico de buscas recentes e soluções aprendidas.

IV.2.2 Caracterização das unidades

A Figura 22 apresenta a arquitetura geral proposta para o *framework* iDE. Nela pode-se observar a existência de uma interface *web* para entrada do problema e também para a visualização da solução. O iDE propriamente dito consiste na arquitetura do sistema multiagente, na base de dados que conterà todas as informações cadastradas e geradas, e na ontologia que formalizará todas as referências ao domínio do estudo de caso. A seguir, serão descritas cada unidade do *framework*.

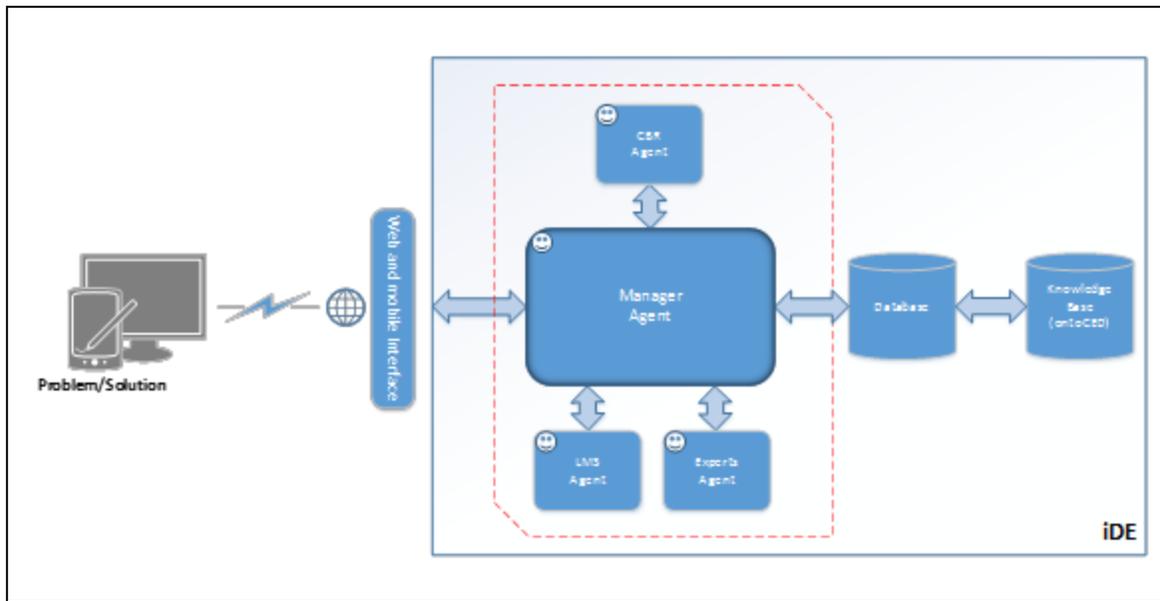


Figura 22 – Arquitetura geral do *framework* iDE.

- 1) *Web and Mobile interface* (WM): módulo para cadastro de usuários, entrada da descrição do problema, escolha do tipo de busca de solução e combinação desejada e visualização das soluções apresentadas. Além disso, a avaliação das soluções por parte de usuários especialistas será feita também nesta *interface*.
- 2) *Sistema Multiagente*: composto pelos agentes de *software*: *Manager agent*, *CBR agent*, *LMS agent* e *Experts agent*.
- 3) *Database*: banco de dados que armazenará todas as informações a ser utilizada no *framework* iDE: os casos passados, informações do ambiente virtual e a opinião de especialistas, do que serão utilizados pelos agentes de *software*. Esta base de dados será acessada somente pelo *Manager agent*, que receberá das outras unidades as requisições de acesso aos dados.
- 4) *Knowledge base (ontoCED)*: ontologia desenvolvida para representar o domínio do estudo de caso proposto. Formaliza os termos, entidades, relacionamentos, axiomas e instâncias usados em todo o *framework* iDE.

A capacidade de aprendizado do *framework* iDE será oportunizada pela interação do usuário com a *interface*, a partir de uma análise avaliativa sobre os resultados apresentados como solução. Essa *interface* permitirá ao *framework* armazenar a opinião do usuário quanto à relevância das respostas através do aproveitamento ou não das mesmas como soluções de sucesso.

IV.2.3 Especificação dos agentes

O Sistema Multiagente (MAS) do *framework* iDE é formado por quatro agentes de *software* que manipulam as informações de entrada e geram as soluções adequadas a elas. Os agentes são responsáveis por executar as tarefas de busca, a análise de similaridade e as regras de aprendizado, dentro do contexto definido para cada fonte de informação. A Figura 23 retrata a plataforma dos agentes de *software* do iDE e suas interações com o meio externo e a base de conhecimento.

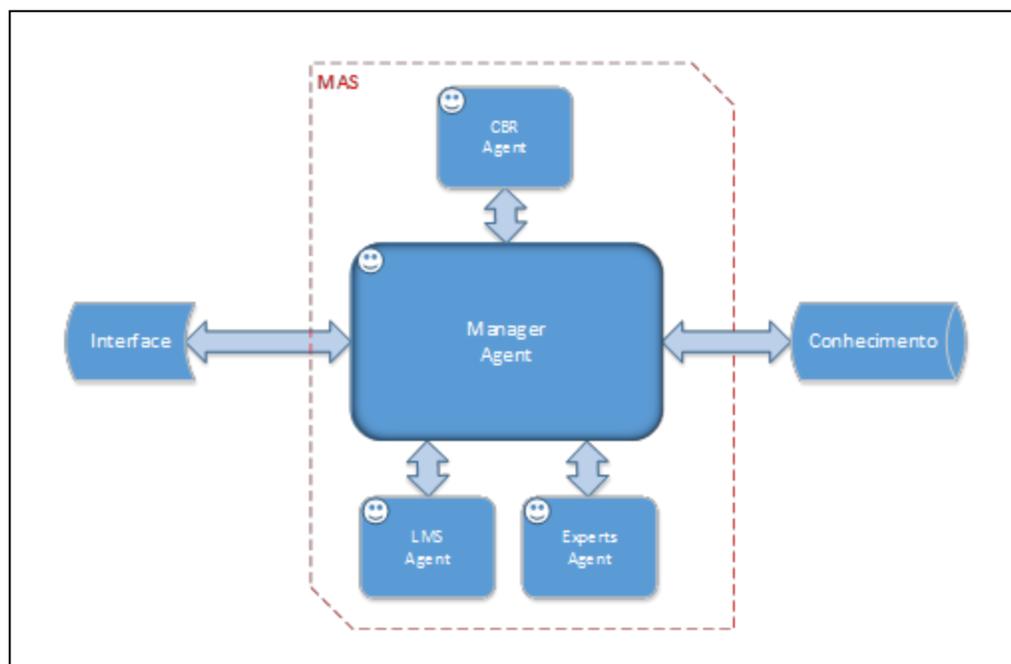


Figura 23 – Plataforma de agentes de *software* do *framework* iDE.

Os agentes que compõem o MAS do *framework* iDE são:

Manager agent: também chamado de agente gerenciador, é o principal agente do sistema, responsável pelo gerenciamento das informações e das tarefas enviadas aos demais agentes. O *Manager agent* avalia as informações de entrada, repassando-as para serem avaliadas pela ontologia. Ou seja, essa função de avaliação analisa se as informações estão conforme as regras de padronização dos termos do estudo de caso proposto. As informações serão certificadas e, se forem adequadas, serão adaptadas e acrescentadas ao modelo de representação de dados e ao vocabulário ontológico. Este agente também recebe as informações de saída (soluções) retornadas pelos demais agentes, preparando-as para serem exibidas na *interface*, como respostas ao usuário.

CBR agent: agente que desempenha as funções da técnica de Raciocínio Baseado em Casos. As informações de entrada são enviadas pelo *Manager agent* e então o agente realiza a busca na base de casos, calculando a similaridade dos mesmos com o problema proposto. As soluções mais similares são repassadas ao agente gerenciador para formatação e envio à *interface*.

LMS agent: agente responsável pela manipulação das informações oriundas dos aplicativos do LMS Moodle. Esse agente recebe as informações de entrada repassadas pelo *Manager agent* e executa o tratamento dessas informações, cruzando-as com os dados dos *apps*, a fim de calcular os níveis de similaridade. As respostas consideradas mais similares serão retornadas ao *Manager agent*, para preparação e envio à *interface*.

Experts agent: desempenha as funções de análise dos dados da base de opiniões dos especialistas e executa a função de similaridade desses dados com o problema repassado pelo *Manager agent*. As soluções mais similares são enviadas ao agente gerenciador para organização e envio à *interface*.

IV.3 Conclusões do capítulo

Este capítulo descreveu a proposta conceitual para o *framework* iDE para a utilização individual e combinação de informações, com dados provenientes da utilização das técnicas de IA e da opinião de especialistas. Foram definidos o modelo e a arquitetura de referência e estabelecidas as estratégias de tratamento e manipulação do conhecimento, bem como as diretrizes usadas na implementação do arcabouço.

V O desenvolvimento do *framework* iDE

As diretrizes para o desenvolvimento do *framework* iDE baseiam-se no pressuposto de que a recuperação do conhecimento requer um apoio tecnológico avançado para uma partilha eficaz. Isto porque o processo de aquisição de conhecimento deve consistir no desenvolvimento de ferramentas que visem apreender automaticamente a semântica da informação (GARRIDO, 2008).

Neste capítulo será descrito inicialmente o funcionamento do Sistema Multiagente e detalhadas as etapas de implementação dos agentes de *software*.

V.1 O Sistema Multiagente

O projeto do iDE constitui-se de uma plataforma formada por agentes inteligentes que incorporam características de um sistema distribuído, devido à sua estrutura organizacional no ambiente em que atua. A arquitetura que define o iDE é proposta com base em uma configuração multiagente para acesso semântico ao conhecimento.

Para Wooldridge (2009), um Sistema Multiagente é uma comunidade de agentes inter-relacionados em um mesmo ambiente. A adoção da abordagem de MAS neste trabalho é motivada por suas características de proatividade, interação e independência, que quando aplicadas no contexto de um LMS podem contribuir para melhorias nas funções de monitoramento de cursos na modalidade à distância gerenciados por este ambiente.

O sistema multiagente do iDE é baseado no seguinte processo:

- 1) Reconhecer uma consulta e delimitar o problema. O usuário poderá escolher uma ou mais fontes de informação para a consulta, se forem selecionadas mais de uma fonte, elas serão combinadas pelo módulo *Manager agent*.
- 2) Identificar as opções escolhidas pelo usuário e ativar a fonte de informação escolhida para levantar o conhecimento. Caso não sejam especificados os tipos de fontes, o *Manager agent* irá sugerir o recurso de análise de casos passados (CBR).
- 3) Se for solicitado o conhecimento de experiências anteriores, o *CBR agent* é capaz de recomendar intervenções e procedimentos para serem aplicados como resposta a uma ocorrência a partir da análise de similaridade desta com casos passados.
- 4) Se for solicitado o conhecimento pedagógico e acadêmico armazenado em um ambiente virtual, o *LMS agent* requisitará as informações específicas oriundas dos *plug-ins* desenvolvidos para acompanhamento didático-pedagógico e instalados no *LMS Moodle*.
- 5) Se for solicitado o conhecimento de especialistas, a opinião destes será requisitada e tratada pelo *Experts agent*.

- 6) A partir das respostas selecionadas pelos agentes de *software*, o *Manager agent* realizará a combinação das mesmas, se essa funcionalidade for solicitada pelo usuário. Esse agente acionará os agentes específicos para a resolução da combinação e enviará à *interface WM* as soluções consideradas pelo arcabouço como mais relevantes.
- 7) O usuário poderá avaliar as respostas e estabelecer sua relevância como resolução para o problema, e a partir dessa avaliação, o *Manager agent* incluirá essa solução como mais uma solução na base de dados, viabilizando as ações de aprendizado do *framework*.

As etapas de implementação do processo de estratégias do MAS do iDE podem ser melhor acompanhadas pelo fluxograma da Figura 24.

O MAS do *framework* iDE pode ser categorizado por dois critérios específicos para divisão de tarefas, conforme adaptação de Garrido (2008):

- (i) Processamento por meio de agentes únicos ou múltiplos.
- (ii) Gerenciamento do conhecimento a partir de casos anteriores, em dados de um ambiente virtual e na opinião de especialistas.

Esses dois critérios resultam em quatro configurações com propriedades distintas:

1. A resolução do problema é colocada na configuração de base de agente único ou múltiplo, de acordo com a solicitação.
2. A competência do agente acionado será aplicada para recuperação do conhecimento.
3. Os agentes cooperantes serão ativados para realizar as atividades de tomada de decisão a partir das inferências.
4. Na recuperação inteligente de informações a partir de fontes distribuídas heterogêneas, cada instância de tarefa fica sob a responsabilidade de um agente de *software* especializado. Deste modo, cada agente é responsável por suportar uma atividade específica de baixo nível: identificar as informações, transmitir mensagens, filtrar as informações, estabelecer os critérios de similaridade e retornar resultados.

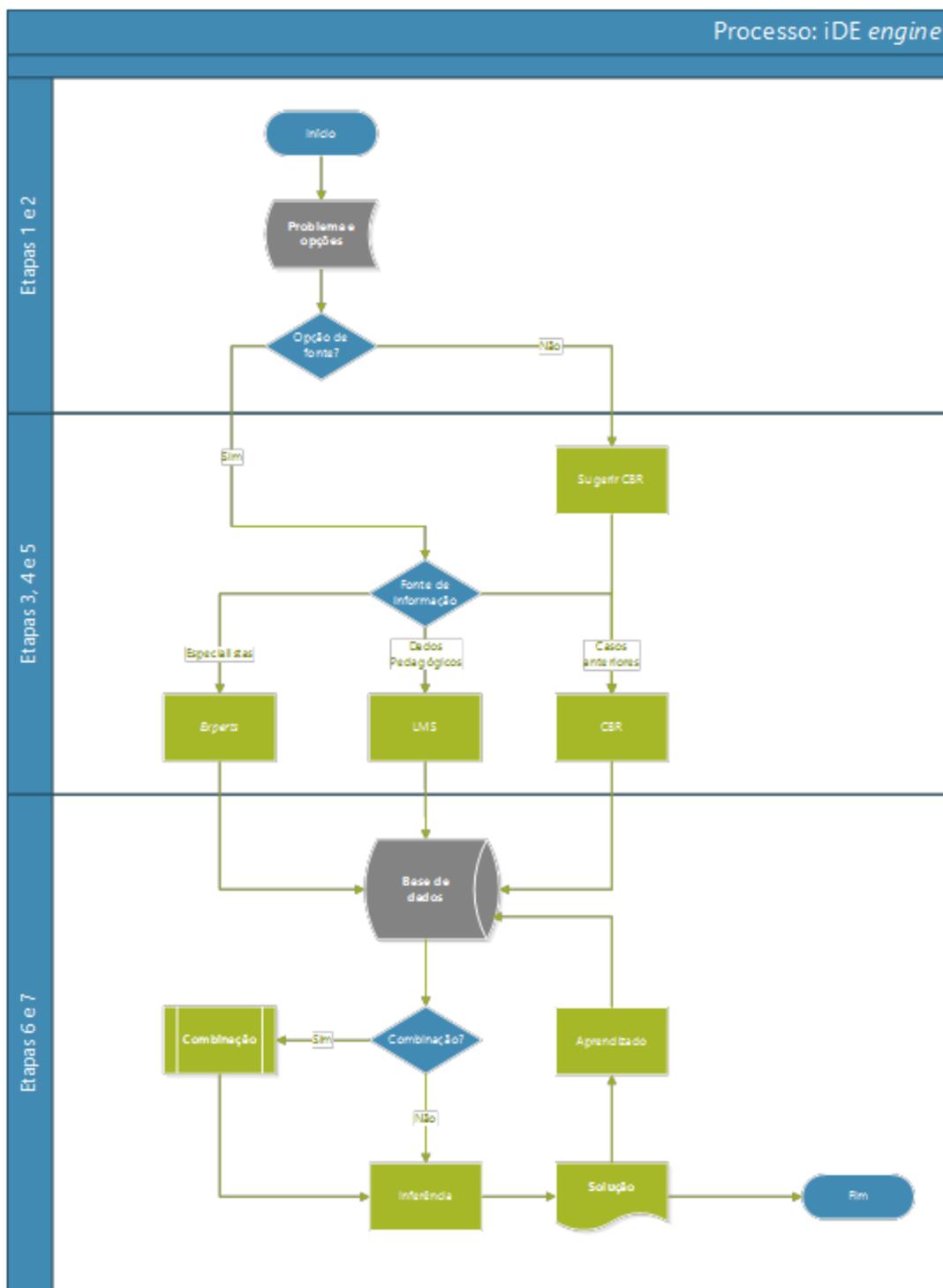


Figura 24 – Processo geral do iDE.

A Figura 25 exibe o diagrama de sequência do processo de ativação dos agentes de *software* do sistema multiagente. A Figura 26 mostra o diagrama de classes do banco de dados acessado pelo agentes de *software* do MAS.

No *framework* iDE, os agentes usam a semântica formal para raciocinar sobre a associação, equivalência, consistência e classificação de classes. A semântica formal e o suporte ao raciocínio serão fornecidos pela estrutura ontológica da ontoCED, usando raciocínios automatizados já existentes para esses formalismos. Como a ontoCED utiliza o padrão OWL⁸ são favorecidos no desenvolvimento da ontologia características como expressividade, inferência de suporte, reutilização de conhecimento e compartilhamento de conhecimento. Os raciocinadores baseados em OWL permitem os procedimentos de verificação, tais como verificação de consistência, veracidade de conceitos e compreensão da taxonomia utilizada (GARRIDO, 2008).

A implementação dos agentes seguiu a teoria de tratamento do conhecimento abordada pela técnica CBR, isto é, será baseada nos estágios de Recuperação, Reutilização, Revisão e Retenção de informações. A tecnologia utilizada para o desenvolvimento dos agentes foi *framework* jCOLIBRI⁹, versão 2, que apoia o ciclo CBR, e consiste em uma plataforma *open-source* orientada a objetos que fornece várias funcionalidades, como a utilização de ontologias na representação do caso, integração com a linguagem Java e uma biblioteca de métricas de similaridade.

O mecanismo do CBR deve acessar as informações armazenadas de modo eficiente, e, para tal, representa a arquitetura de persistência em duas camadas na versão jCOLIBRI2 (Figura 27). A persistência é construída em torno de conectores que representam a primeira camada do jCOLIBRI no topo do armazenamento físico. Conectores são objetos que sabem como acessar e recuperar as informações do meio e retorná-las para o sistema CBR de maneira uniforme. O uso de conectores oferece flexibilidade ao jCOLIBRI para a apreensão das informações armazenadas nas bases de dados (RECIO-GARCÍA *et al.*, 2008).

⁸ *Web Ontology Language* – linguagem recomendada pela W3C para o desenvolvimento de ontologias voltadas para aplicações *web*.

⁹ jCOLIBRI: <http://gaia.fdi.ucm.es/research/colibri/jcolibri>

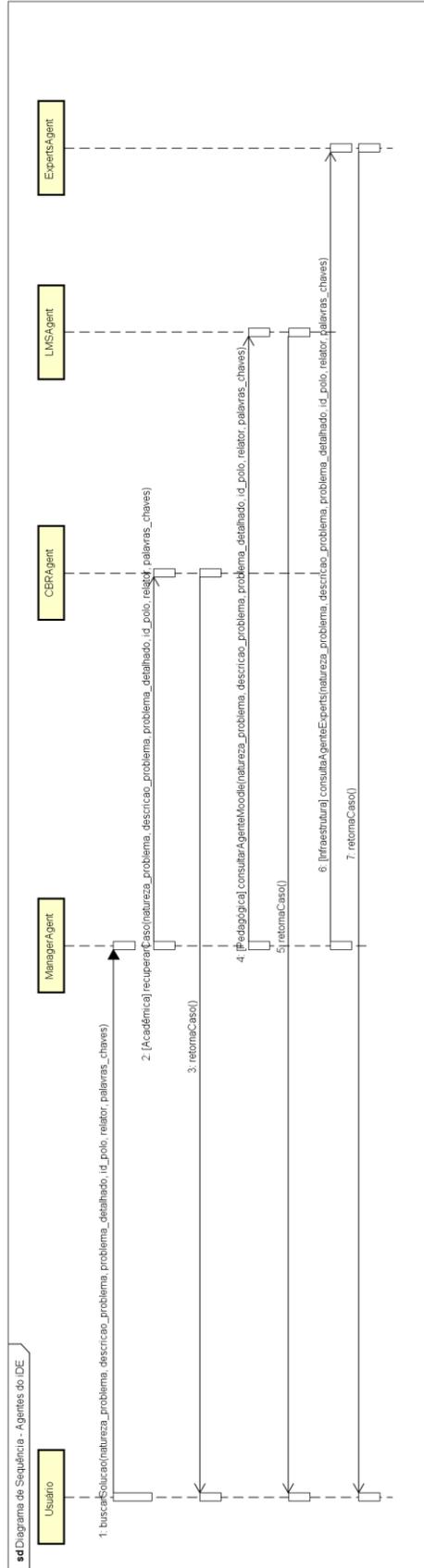


Figura 25 – Diagrama de sequência da ativação dos agentes de *software*.

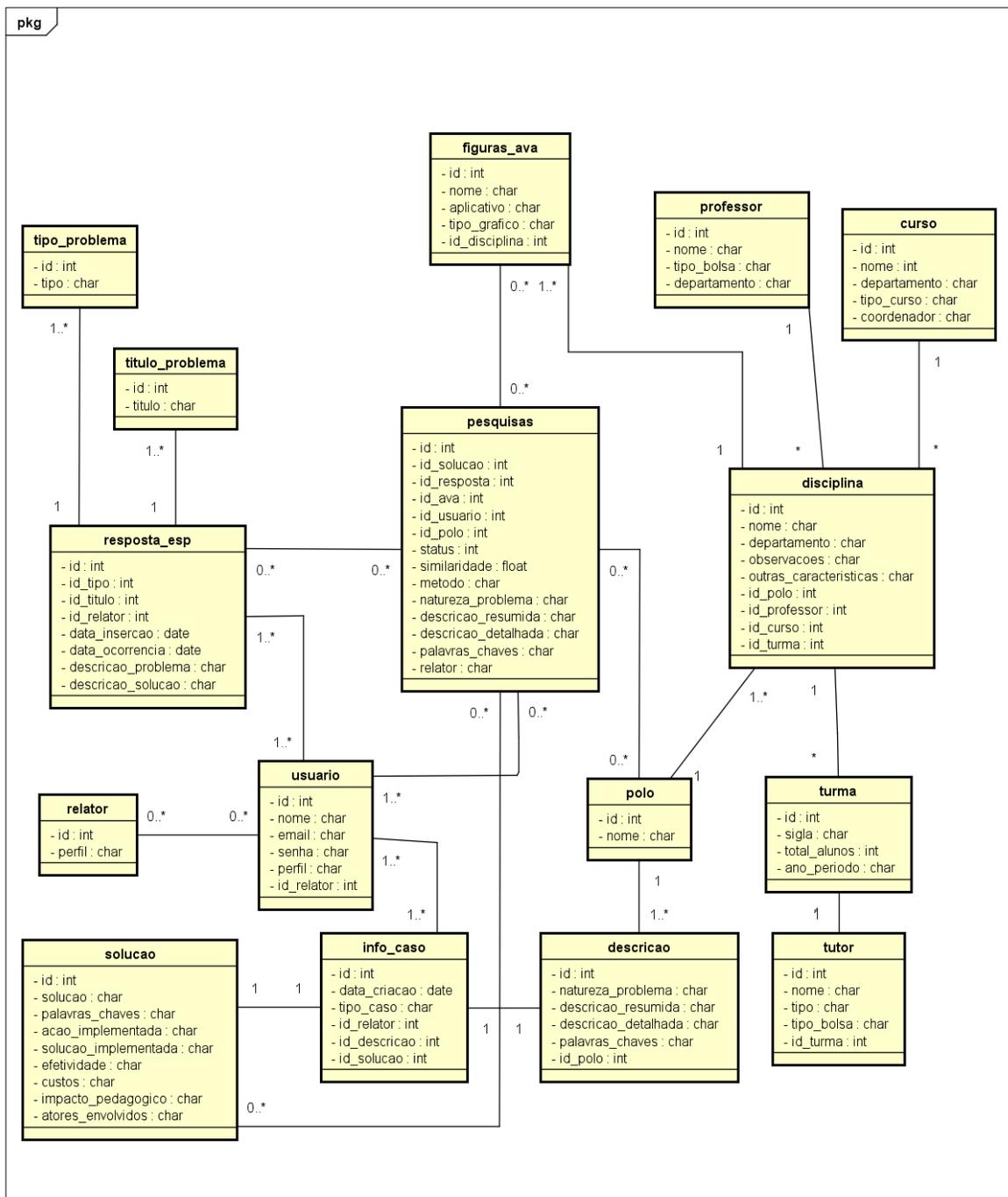


Figura 26 – Esquema de classes do Banco de Dados do *framework* iDE.

O jCOLIBRI2 inclui os seguintes conectores:

- `jcolibri.connectors.DataBaseConnector` (JDBC): gerencia a persistência das informações em bases de dados. Internamente, ele usa a biblioteca do Hibernate.
- `jcolibri.connectors.PlainTextConnector` (TEXT): gerencia a persistência das informações em arquivos textuais.
- `jcolibri.connectors.OntologyConnector` (DL): gerencia as informações armazenadas em ontologias. Usa a biblioteca `OntoBridge2`.

O pacote de bibliotecas do *framework* jCOLIBRI, inclui as interfaces para os conectores (RECIO-GARCÍA *et al.*, 2008), que proveem métodos para leitura da base de dados e pertencem ao pacote `jcolibri.cbrcore`.

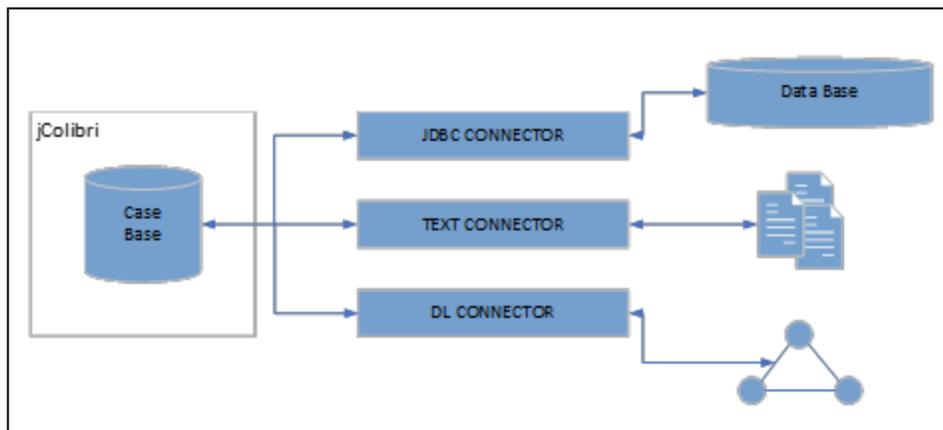


Figura 27 – Conectores das camadas de persistência do jCOLIBRI2.
Fonte: Adaptado de Recio-García *et al.* (2008).

V.2 O CBR agent

A finalidade do *CBR agent* é sugerir soluções adequadas a um problema utilizando técnicas de Raciocínio Baseado em Casos. O conhecimento tratado por este agente é armazenado na forma de casos. A competência do agente é realizar um processo de inferência que busca a ação mais apropriada a se tomar a fim de apreender uma nova percepção do domínio, tendo como base casos passados.

Para visão conceitual do que é representado no caso, levando-se em conta a estrutura (componente e relações semânticas), a meta-estrutura usada para representação de uma instância de problema será <problema, solução>. A indexação dos casos envolve a atribuição de índices aos mesmos para facilitar sua recuperação. E um caso será descrito como um conjunto de tuplas de valor e atributo, tais como: (polo, “Lábrea”), (curso, “Administração”),

(disciplina, “Informática Básica”). Assim, no modelo de implementação do *CBR agent* foi feito um mapeamento direto um-para-um entre as dimensões problema e solução.

Uma vez que um caso correspondente é recuperado, o *CBR agent* adapta a solução armazenada no caso recuperado para as necessidades do caso atual. A adaptação procura diferenças relevantes entre o caso recuperado e o caso atual e então aplica regras que levem essas diferenças em consideração ao sugerir uma solução.

Para o mecanismo CBR funcionar corretamente necessita-se do mapeamento de casos existentes na base. Deste modo, quando o *CBR agent* recebe a mensagem do *Manager agent* contendo a descrição de um problema, o algoritmo CBR deve recuperar o caso cuja descrição é mais similar à da mensagem. Em seguida, o CBR envia o identificador da solução referente à descrição encontrada e a taxa de similaridade entre a descrição recebida e a da solução existente na base. O *CBR agent*, após receber a resposta do mecanismo CBR, encontra a solução com o identificador da mensagem e recupera as informações deste registro. Por fim, repassa estas informações e a porcentagem de similaridade para o *Manager agent*.

Os atributos de um caso podem ser indexados ou não, e essa característica influencia diretamente na precisão das etapas do CBR. Para Watson (2003), os atributos indexados são identificados por índices com informações relevantes, usadas na etapa de recuperação da informação e que otimizam a busca pelo caso mais similar. Os atributos não indexados possuem somente informações sobre o caso, porém sem exercer influência na recuperação dos mesmos.

V.2.1 Cálculo de similaridade

As métricas de similaridade são necessárias para a etapa de recuperação do caso. Elas consistem em um cálculo que determina o nível de semelhança entre o caso descrito no problema e os casos anteriores, armazenados na base de casos. A aplicação dessas métricas é feita atribuindo-se valores aos atributos, e retornando-se um valor pertencente ao intervalo fechado entre 0 e 1. O caso retornado mais próximo ou igual a 1 será o mais similar e assim considerado como solução para o novo problema.

O cálculo das similaridades entre os atributos dos casos foi feito de acordo com as equações 2 e 3. Sendo que a similaridade local consiste em se determinar um nível de similaridade mais preciso entre os casos em nível de atributos. Assim, dado um novo caso x , os seus atributos serão comparados com cada atributo dos casos existentes na base de casos. De acordo com Wangenheim e Wangenheim (2003), considerar as similaridades locais proporciona a integração das similaridades individuais entre os atributos e o cálculo da similaridade global.

A medida de similaridade local deve ser definida de acordo com o tipo de atributo do caso. Sendo assim, neste trabalho foi utilizado o tipo *string* em todos os atributos do caso,

que o descreve por meio de um texto em linguagem natural. Para a codificação do *CBR agent* foi utilizada a função Equal, que retorna o valor 1 se os atributos possuem o mesmo valor. Caso contrário, retorna 0. Já a similaridade global indica a similaridade entre os casos na base e é dada pela média ponderada das similaridades locais relacionadas aos pesos atribuídos a cada atributo, como mostrado na Equação 3.

A Tabela 1 apresenta os pesos relacionados aos atributos de um caso, indicando sua importância na consulta (TELES LUCENA *et al.*, 2017). Os valores dos pesos foram atribuídos de forma empírica, a partir de entrevistas com especialistas.

Tabela 1 – Pesos dados aos atributos de entrada em um caso.

Atributos	Pesos
Natureza do problema	2
Polo	1
Relator	1
Descricao_Problema	2
Problema_resumido	3
Palavras-chave	3

O *CBR agent* encontra a solução com o identificador da mensagem e recupera as informações deste registro. Por fim, repassa estas informações e a porcentagem de similaridade para a interface de saída.

V.2.2 Etapas de implementação do CBR

O desenvolvimento do mecanismo do Raciocínio Baseado em Casos é composto pelas fases do ciclo CBR: Recuperação, Reutilização, Revisão e Retenção de Casos (conforme Figura 5).

A implementação das fases do ciclo do algoritmo *CBR* foi dividida em etapas, como se segue:

- 1) O *CBR agent* automatiza o processo de busca de solução dada a descrição de um problema: ao descrever um problema, primeiramente deve ser especificada a sua natureza (acadêmica, pedagógica ou infraestrutura). Após a especificação, outros dados serão necessários como: relator, problema resumido, problema detalhado, palavras-chaves, polo. De acordo com a natureza do caso, outras informações devem ser descritas, como curso, disciplina e turma.
- 2) A descrição do problema é enviada ao *CBR agent*, pelo *Manager agent*, no formato JSON¹⁰ (*JavaScript Object Notation*), através da biblioteca cURL¹¹

¹⁰ <http://www.json.org/json-pt.html>

¹¹ <http://php.net/manual/en/book.curl.php>

(*Client URL Library*) da linguagem de programação PHP¹² (*Hypertext Preprocessor*). Assim que o agente recebe a descrição, o componente CBR é inicializado e a base de casos é lida.

- 3) Levando-se em consideração os pesos de cada atributo que compõem a descrição, o caso cuja descrição é mais similar ao apresentado será selecionado. É seleção é calculada a partir da ativação da função `calc_similar()`, que gera a similaridade entre o problema e os casos cadastrados.
- 4) O *CBR agent* devolve uma mensagem no formato JSON ao *Manager agent*, incluindo o ID da solução do caso mais similar e o grau de similaridade.
- 5) A mensagem é decodificada e as informações são extraídas. A descrição da solução enviada ao usuário, o ID da solução mais similar e o grau de similaridade são salvos no banco de dados, porém, como um caso neutro (histórico de pesquisas realizadas).

Para fins de implementação, o desenvolvimento do *CBR agent* foi dividido em dois conjuntos: (i) o primeiro é a codificação dos componentes do ciclo do CBR na linguagem de programação Java¹³ com o *framework* jCOLIBRI 2.0, junto ao *web service* REST¹⁴ (*Representational State Transfer*), (ii) e o segundo trata-se do desenvolvimento de uma interface *web* na linguagem de programação PHP que faz as requisições REST para consultas e criações de casos.

Um *web service* foi criado para que o agente pudesse enviar e receber dados de plataformas diferentes, e assim garantir compatibilidade. Os dados enviados e recebidos estão no formato JSON, e a utilização da linguagem Java disponibilizou os serviços relacionados ao Banco de Dados e ao ciclo CBR.

A Figura 28 apresenta a estrutura organizacional do projeto do *CBR agent*, a qual é composta por sete pacotes: os quatro primeiros são relacionados ao ciclo CBR; um pacote representa as classes principais do caso: Descrição, Solução e Caso; o pacote *Resource* contém as consultas e métodos a serem requisitados; e o pacote *database* contém os arquivos XML (*Extensible Markup Language*) para mapeamento de dados da classe com o banco de dados. Os casos ficam armazenados em um Banco de Dados geral para o sistema multiagente.

¹² <http://php.net/>

¹³ <https://www.java.com/>

¹⁴ <http://www.restapitutorial.com/>

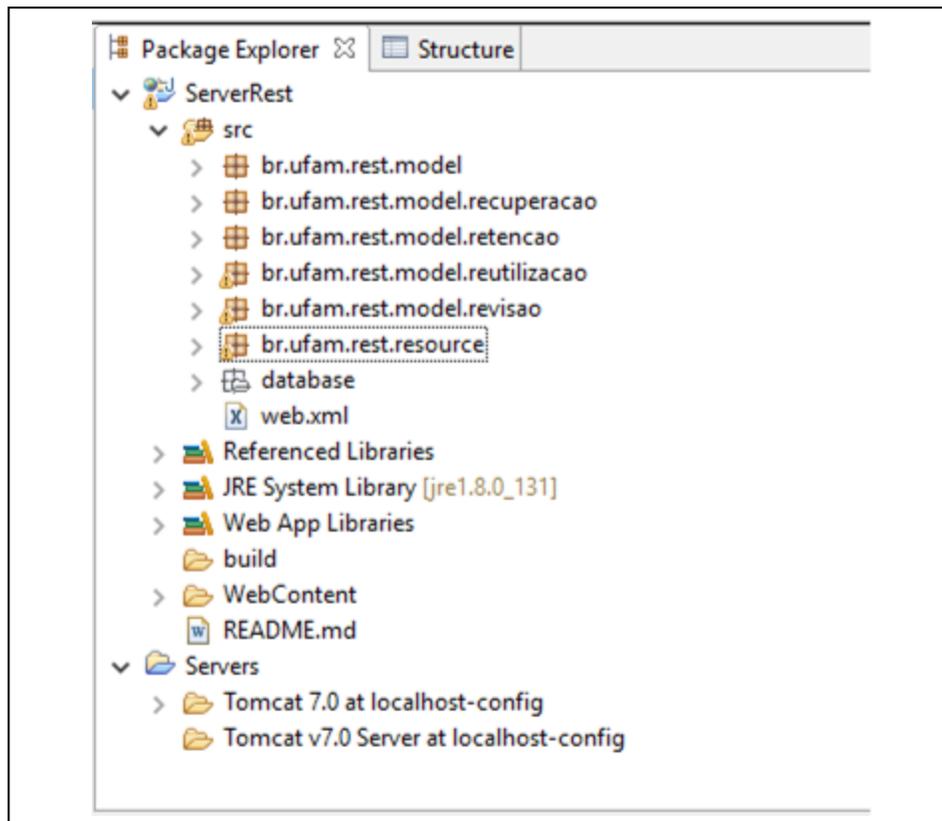


Figura 28 – Estrutura organizacional do projeto CBR.

V.3 O *Experts agent*

A responsabilidade do *Experts agent*, ou agente especialista, é gerenciar as informações de especialistas em EaD armazenadas na base de dados do *framework* iDE. Sua competência principal consiste em receber do *Manager agent* a consulta contendo o problema proposto e demais itens que a compõem. Em seguida, o agente especialista realiza o processo de inferência que analisará a solução mais apropriada à questão proposta, tendo como base as opiniões cadastradas.

Os elementos necessários para ativação dos procedimentos de busca de solução do *Experts agent* são informações como: a descrição do problema, sua natureza (acadêmica, pedagógica ou de infraestrutura), título do problema e palavras-chave.

O processamento das tarefas consiste nas seguintes etapas:

- 1) Assim como no *CBR agent*, a descrição do problema é enviada ao *Experts agent*, pelo agente gerenciador, no formato JSON, através da biblioteca cURL do PHP.

Assim que o agente recebe esses dados, o componente Especialista é inicializado e a base de dados é lida.

- 2) É ativada a função `calc_similar()` para calcular os valores da similaridade entre o problema proposto e as opiniões cadastradas.
- 3) O *Experts agent* devolve uma mensagem no formato JSON ao *Manager agent*, incluindo o ID da opinião mais similar e o grau de similaridade.
- 4) A mensagem é decodificada e as informações são extraídas. A descrição da solução enviada ao usuário, o ID da solução mais similar e o grau de similaridade são salvos no banco de dados, porém, como uma consulta neutra (histórico de pesquisas realizadas).

A interface *web* faz as requisições REST para consultas e acesso à base de dados. O *web service* permite que o agente possa enviar e receber dados de plataformas diferentes, e assim garantir compatibilidade. Os dados enviados e recebidos estão no formato JSON, e a utilização da linguagem Java disponibilizou os serviços relacionados ao Banco de Dados e às especificações das funções do *Experts agent*.

V.4 O LMS agent

O *LMS agent* tem a função de recuperar as informações oriundas de aplicativos instalados no LMS Moodle e armazenadas no banco de dados do *framework* iDE. As informações de ativação do processo deste agente requerem dados como: curso, disciplina e tipo de informação gráfica (trilha de aprendizagem, reprovação/aprovação e participação em atividades). Após a inserção destas informações, o agente fará comparações com o problema proposto enviado pelo *Manager agent*.

As etapas de processamento das tarefas inerentes ao *LMS agent* são as seguintes:

- 1) Assim como no *Experts agent*, a descrição do problema é enviada ao *LMS agent*, pelo *Manager agent*, no formato JSON, através da biblioteca `cURL` do PHP. Assim que o agente recebe esses dados, o componente LMS é inicializado e a base de dados é lida.
- 2) É ativada a função `escolhe_graf()` para retornar os gráficos solicitados, de acordo com os atributos especificados.
- 3) O *LMS agent* devolve uma mensagem no formato JSON ao *Manager agent*, incluindo o ID do gráfico selecionado e suas informações complementares.
- 4) A mensagem é decodificada e as informações são extraídas. A descrição da solução enviada ao usuário, o ID do gráfico selecionado e as outras informações são armazenadas no banco de dados, porém, como uma consulta neutra (histórico de pesquisas realizadas).

Assim como no *Experts agent*, a interface *web* faz as requisições REST para consultas e acesso à base de dados. O *web service* permite que o agente possa enviar e receber dados de plataformas diferentes, e assim garantir compatibilidade. Os dados enviados e recebidos por esse agente, assim como os outros, também estão no formato JSON, e a utilização da linguagem Java disponibilizou os serviços relacionados ao Banco de Dados e às especificações das funções do *LMS agent*.

V.5 O *Manager agent* e a combinação das fontes de informação

O *Manager agent*, ou agente gerenciador é o responsável pelo controle das ações dos demais agentes e da entrada, armazenamento e saída de informações do *framework iDE*. Ele possui funções de acesso à *interface* e identificação dos dados de entrada, como o problema proposto e seus elementos de caracterização. Também verifica a opção escolhida referente às fontes de informação a serem utilizadas na busca de soluções.

As tarefas do *Manager agent* podem ser resumidas nas seguintes etapas:

- 1) Identificação do problema proposto e demais elementos de entrada, e das opções de busca (formato individual ou combinação).
- 2) Assim que o agente recebe esses dados, é ativada a função que executa cada agente. O componente de acesso à base de dados é solicitado e os dados são lidos e enviados para o agente ativado.
- 3) O agente ativado devolve uma mensagem de retorno no formato JSON ao *Manager agent*, incluindo a identificação da solução encontrada e suas informações complementares.
- 4) A mensagem é decodificada e as informações são extraídas. São armazenadas no banco de dados as soluções e outras informações.

Se a opção escolhida for a combinação de mais de uma fonte de informação, o agente gerenciador seleciona os agentes responsáveis pelas fontes escolhidas e envia as informações para ambos. Quando as soluções são retornadas, o *Manager agent* combina-as e calcula a similaridade entre esse resultado e o problema proposto. Em seguida, retorna à *interface* a duas soluções e grau de similaridade para serem visualizados e analisados pelo usuário.

V.6 Implementação das funções de aprendizado

Após o envio das soluções retornadas pelos agentes à *interface web*, serão implementadas as etapas de Reutilização, Revisão e Retenção do conhecimento junto à base de dados do *framework iDE*.

Quando o *Manager agent* enviar à *interface* a solução encontrada e for exibida ao usuário as respostas de acordo com as fontes de informação solicitadas, ele poderá ajudar no aprendizado do *framework*. Depois da análise das respostas, o usuário verifica se a solução

pode ser adaptada ao problema em questão ou não. Na *interface* WM, existe uma opção de avaliação das respostas sugeridas. E caso a solução recuperada seja viável ao problema proposto, os dados da solução serão reunidos e adicionados a um registro novo na tabela de soluções relevantes do banco de dados. E assim, será cadastrado esse registro na base com dados do problema fornecido e a solução sugerida.

Como foi adotado o Ciclo CBR (seção II.3.1) para tratamento e recuperação do conhecimento no *framework* iDE, todas as suas etapas foram seguidas (vide Figura 5). A etapa conhecida como Reutilização ocorre somente após a recuperação de uma solução completa, pois é feita a reutilização das respostas retornadas como mais similares ao problema em questão. A próxima etapa é a Revisão e acontece quando o usuário rejeita a solução. Desta forma, a solução proposta não poderá ser aplicada diretamente a um novo problema. O usuário analisa as diferenças entre os problemas (novo e recuperado), identifica quais partes da solução apresentada são semelhantes ao seu problema e que poderão ser aplicadas ao mesmo, vinculando assim a nova solução como resposta para a situação em questão.

E a última etapa do ciclo consiste na Retenção da solução retornada como resposta possível a ser utilizada em outra situação. É o processo de armazenar o problema proposto e associá-lo à solução retornada para futuras recuperações.

V.7 Conclusões do capítulo

Este capítulo descreveu as etapas do desenvolvimento do *framework* iDE abordando as fases de implementação do sistema multiagente que o caracteriza. As funções dos agentes de *software* foram especificadas e as foram definidas ainda as estratégias para cálculo de similaridade e de aprendizado do *framework*.

VI Estudo de caso

Para fins de validação do *framework* iDE, optou-se por um estudo de caso exploratório para instanciação do arcabouço conceitual proposto. O objeto do estudo foi uma instituição que trabalha com educação a distância na oferta de cursos regulares. Este capítulo apresenta detalhadamente as características desse centro e descreve a ontologia de domínio criada para representar seu conhecimento e formalizar os termos a serem tratados pelo *framework*.

VI.1 O Centro de Educação a Distância

A Amazônia é uma região com ampla dimensão territorial e a maioria das cidades desta área são pequenos municípios geograficamente isolados pela floresta tropical e pelos rios. Problemas econômicos e de logística são consequências do isolamento e do difícil acesso a essas localidades, o qual, na maioria das vezes, é feito apenas por meio de barcos, o que pode levar semanas de viagem, a partir de Manaus.

Na tentativa de mitigar essas dificuldades, foi criado em 2006 o Centro de Educação a Distância¹⁵ (CED) como um órgão suplementar da Universidade Federal do Amazonas, que oferece cursos em nível de graduação e pós-graduação na modalidade à distância, para alunos da capital e do interior do estado. O CED apresenta uma estrutura que engloba, além do apoio didático-pedagógico aos alunos, soluções tecnológicas e de logística para tornar viável a oferta dos cursos em diversas localidades do interior do estado do Amazonas, chamadas de polos, e em algumas cidades de Roraima e Acre.

Cada polo possui prédio próprio, cuja responsabilidade de manutenção fica a cargo da prefeitura local. A estrutura de um polo contém uma secretaria, laboratório de informática e biblioteca. Através do programa GESAC¹⁶, cada polo recebe um *kit* de acesso, formado por 30 computadores com sistema operacional Linux, distribuição Linux Educacional, impressora, roteador sem fio e antena parabólica. Com este *kit* é possível acesso à internet a uma velocidade nominal de 512kbps. Entretanto, devido a fatores climáticos característicos da região, como grande quantidade de nuvens e chuvas frequentes, a velocidade real alcançada gira em torno de 100kbps. Devido às dificuldades de acesso aos polos, as visitas dos professores ocorrem somente no início de cada módulo, e nesta ocasião é ministrada uma aula introdutória das disciplinas.

VI.1.1 Estrutura organizacional e cursos

A estrutura organizacional do CED pode ser visualizada na Figura 29. A direção conta com cinco coordenações para suporte aos cursos: Administrativa, Design, Pedagógica, Pós-

¹⁵ <http://ced.ufam.edu.br/>

¹⁶ Programa do governo federal para inclusão digital em regiões remotas do país. Site <http://www.gesac.gov.br/>

Graduação e Tecnológica, com cerca de 30 colaboradores diretos trabalhando na sede em Manaus.



Figura 29 – Estrutura organizacional do CED/UFAM.

O CED possui atualmente cerca de 1.300 alunos (dados de 2017) distribuídos em cinco cursos de graduação oferecidos: Administração, Artes Plásticas, Biologia, Ciências Agrárias, Educação Física. A Tabela 2 relaciona os municípios do Estado do Amazonas que possuem ou já receberam cursos à distância gerenciados pelo CED, assim como traz a distância dessas localidades para a capital Manaus.

O gerenciamento das atividades à distância é realizado pelo LMS Moodle, onde são criadas salas de aula virtuais para as disciplinas, as quais contém o material didático, atividades de fixação e avaliativas, repositório de arquivos e espaço para visualização das notas. Esses ambientes virtuais simulam uma sala de aula física, na qual professores e alunos podem assimilar e compartilhar conteúdo, interagir entre si e, assim, construir conhecimento.

Tabela 2 – Polos do CED no Estado do Amazonas.

Distância entre Manaus e alguns polos	
Município	km
Autazes	161
Barcelos	496
Benjamin Constant	1.628
Borba	215
Coari	463
Eirunepé	5.138
Guajará	1.570
Humaitá	1.544
Itacoatiara	1.064
Lábrea	1.672
Manacapuru	102
Manaquiri	67
Maués	356
Parintins	420
Santa Izabel do Rio Negro	772
São Gabriel da Cachoeira	1.064
Tefé	672

VI.1.2 O Modelo pedagógico do CED

De acordo com Behar (2011), um modelo pedagógico adaptado para a educação a distância deve procurar estabelecer novos paradigmas na relação aluno-professor. Os elementos pedagógicos, organizacionais e tecnológicos deste modelo devem se harmonizar para que o aprendizado ocorra de forma interativa, cooperativa e autônoma. Assim, o CED estabeleceu um modelo pedagógico baseado nos pilares pedagógicos tradicionais, sendo apoiado por TICs e por toda uma infraestrutura logística necessária à região amazônica.

O CED possui um modelo de EAD diferenciado e adaptado à realidade dos polos aos quais os cursos de graduação são oferecidos. Como são grandes as distâncias geográficas da sede em Manaus e a precariedade das conexões para acesso à Internet são dificuldades diárias nesses lugares, a concepção pedagógica dos cursos é mediada por recursos como cadernos, apostilas e livros impressos, vídeos e por um LMS. Deste modo, o modelo de EaD implantado pelo CED – e denominado *Pedagogical Model Supported by Technology* (PMT) (OLIVEIRA *et al.*, 2012) – é composto de recursos tecnológicos apoiados por pessoal especializado e qualificado. O modelo segue ações e especificações e formalmente estabelecidas pelas coordenações Pedagógica e Tecnológica para atender igualmente todos os cursos nos mais diversos polos, conforme segue:

- 1) A preparação do material impresso segue os padrões rígidos de qualidade, sendo preparado por professores especialistas em cada disciplina correspondente. Após

a elaboração desse material, o mesmo é revisado por uma equipe habilitada em desenvolvimento de conteúdo para EaD e *design* instrucional. Os vídeos são produzidos e preparados objetivando imergir o aluno em um ambiente parecido com o da sala de aula tradicional. Para a utilização do LMS, os alunos recebem treinamento prévio na plataforma Moodle.

- 2) Cada polo possui um coordenador local, que é responsável pela sua infraestrutura e manutenção. Os alunos de um curso são divididos em grupos de 25 estudantes, orientados por tutores presenciais, cujas funções são de apoio pedagógico e tecnológico. Existem ainda os tutores à distância que são especializados na área do curso e encarregados da supervisão e correção das atividades de cada disciplina.
- 3) Na sede, em Manaus, ficam os coordenadores de tutores e coordenadores de curso. O papel do professor é dividido em dois tipos: professores autores e professores ministrantes. Os primeiros elaboram as apostilas (denominadas de cadernos) e montam as disciplinas nas chamadas “Salas de Aula Virtuais”, utilizando os recursos do LMS Moodle. Já os professores ministrantes têm a função de acompanhar o desenvolvimento da disciplina e o desempenho dos alunos no decorrer do período letivo.
- 4) Toda a grade curricular dos cursos é organizada no LMS Moodle, no qual as disciplinas são disponibilizadas conforme a oferta do período letivo. O aluno é matriculado na turma e acompanha seu conteúdo através de arquivos com aulas em slides e textos complementares. As atividades avaliativas consistem em envio de arquivos com respostas a questionamentos e trabalhos de pesquisa. Uma ferramenta muito usada no LMS do CED é o *Fórum*, onde o estudante tem a chance de interagir com os colegas, tutores e professores, dando opiniões sobre alguma questão estabelecida pelo professor.

O LMS exerce um papel fundamental no andamento do curso, pois, é nele que o aluno acompanha o conteúdo, realiza as atividades sugeridas, interage com os demais colegas, com o professor e com seus tutores. Este ambiente virtual incentiva a prática da aprendizagem colaborativa e a construção individual e coletiva do conhecimento.

Convém ressaltar que a conexão de internet nos polos é somente através de satélite, e a velocidade máxima é de 512Kbps, sendo a média alcançada normalmente de 100Kbps. Deste modo, para fins de adaptação a esta realidade, uma peculiaridade da utilização do LMS no PMT do CED é que são evitadas atividades que necessitem a participação *online* do aluno (como *chats* e outras atividades síncronas, etc.) ou que exijam *downloads* de vídeos e arquivos com muitas imagens.

Quando uma atividade requer a complementação de vídeos ou apostilas, outras adaptações são feitas em relação à logística necessária para a entrega de material didático, livros, cadernos impressos e DVDs com aulas. Por causa das grandes distâncias a serem

percorridas, o envio tem que ser planejado com bastante antecedência ao início do módulo. Em muitos casos, para que se chegue a algumas localidades é necessário um ou dois dias de viagem de barco, pois nem sempre as rotas de avião são disponíveis regularmente. A programação das aulas presenciais também segue um calendário com atividades e escalas pré-definidas de visitas de professores ministrantes aos polos (TELES LUCENA *et al.*, 2012).

Devido a essas dificuldades, o PMT foi estruturado de forma a contemplar: o suporte tecnológico oferecido pelo LMS; o apoio administrativo e logístico das coordenações Pedagógica e Tecnológica do CED em Manaus; o apoio técnico e pedagógico dos tutores; e o apoio especializado dos professores. A Figura 30 apresenta o PMT de forma simplificada, esquematizando o processo de ensino-aprendizagem do CED. É interessante observar que os atores podem interagir entre si através do LMS e que, apesar da representação hierárquica, a estrutura permite que alunos, tutores e professores possam agir de forma colaborativa através das linhas de interação.

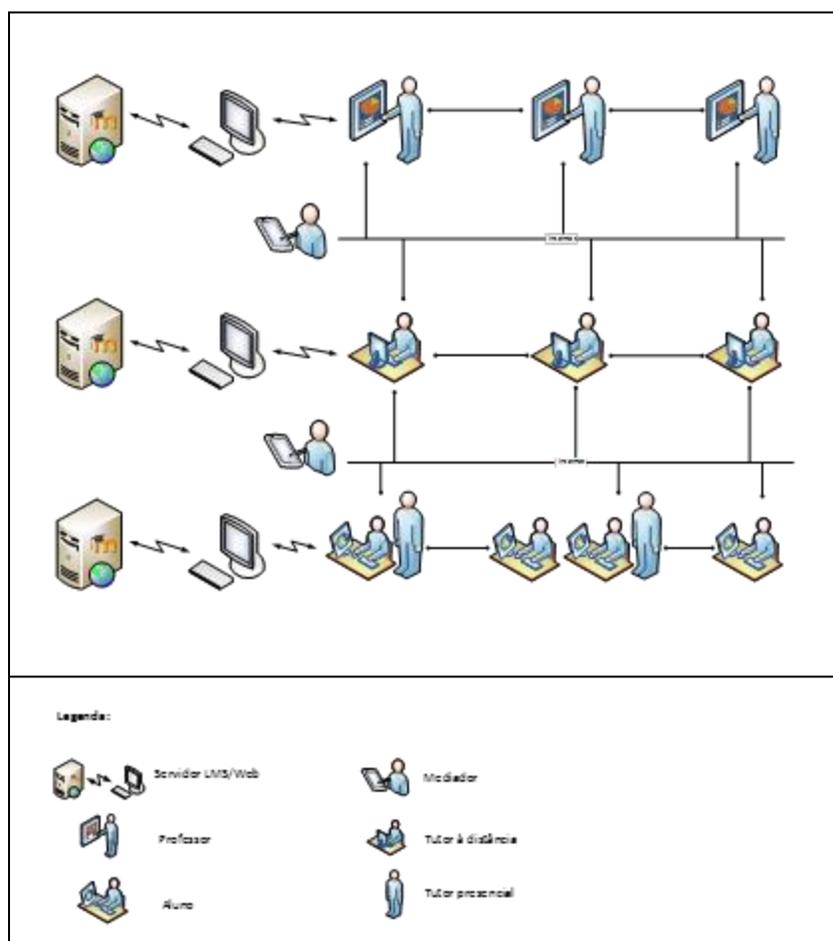


Figura 30– PMT do CED
 Fonte: Adaptado de OLIVEIRA *et al.* (2012).

A busca por melhorias para o atual modelo pedagógico apoiado por tecnologia do CED apresenta um cenário motivador para o desenvolvimento de pesquisas na área. Portanto, constitui-se um desafio desenvolver alternativas que utilizem novas tecnologias que facilitem o uso de recursos inovadores a serem agregados ao LMS. Uma delas seria considerar a possibilidade de uso de dispositivos móveis como ferramenta de apoio às atividades dos cursos.

Outro fator que se coloca como decisivo, é a forte tendência à utilização de equipamentos que facilitem a mobilidade e acessibilidade à informação. Além disso, a formalização do conhecimento implícito, de posse de tutores presenciais e coordenadores locais – com experiências no enfrentamento de dificuldades inerentes às localidades nas quais trabalham – também se mostra como um elemento fundamental para acesso e compartilhamento de informações e o reaproveitamento de soluções.

VI.2 A OntoCED

A ontoCED é uma ontologia de domínio criada para modelar o conhecimento tácito e explícito na abrangência pedagógica e acadêmica do CED. Ela foi desenvolvida para padronizar os termos que serão utilizados pelo *framework* iDE nas análises e inferências realizadas no processo de busca de soluções para os problemas propostos. A ontologia visa conceituar as entidades que caracterizam o domínio do CED e as relações que especificam as ações e a comunicação entre as mesmas. Ou seja, a fim de se descrever o domínio do problema abordado por esta tese e suas relações, decidiu-se definir uma ontologia para modelar e formalizar o conhecimento e torná-lo expressivo a partir de suas instanciações. As definições dos axiomas e suas relações foram estabelecidas seguindo regras de expressividade para sua correteza semântica.

A definição do conhecimento em forma de um modelo de representação para a recuperação inteligente de soluções pode facilitar muito a interação e compreensão do *framework*, a partir do ponto de vista dos usuários. A ontoCED usa os recursos de uma ontologia como um modelo de dados, pois o mesmo é usado para especificar domínio do conhecimento, que representa um vocabulário bem definido que descreve os objetos e as relações entre eles dentro do contexto do CED.

Para a modelagem formal da ontoCED optou-se pela linguagem padrão para ontologias do tipo *Web-based*, denominada *Ontology Web Language* - OWL (2017). A OWL é uma linguagem recomendada pela W3C (*World Wide Web Consortium*) e que tem como finalidade descrever um domínio disponibilizado em documentos *Web* e quando há necessidade de manipulação dos termos por aplicações computacionais. É especialmente recomendada quando se utiliza agentes de *software* para processar informações do conteúdo

tratado. Ou seja, a OWL é usada porque permite que a semântica associada ao domínio do conhecimento seja explicitamente representada, ampliando a capacidade de raciocínio usada pelos agentes para inferir o conhecimento útil a ser fornecido (MARTIN e LEÓN, 2012).

A semântica da OWL é fundamentada no domínio da lógica matemática e é usada para descrever precisamente o significado do conhecimento. No caso dos agentes que formam o *framework* iDE usarão a semântica formal da ontologia para raciocinar sobre a associação das classes e suas relações. O editor de ontologias adotado para a modelagem da ontoCED foi o *software* de arquitetura aberta conhecido como *Protégé* (NOY *et al.*, 2000), devido ao apoio dado por essa ferramenta à aquisição de conhecimento e base de desenvolvimento de modelos de ontologias. O *Protégé* usa OWL e RDF como linguagens de ontologias para estabelecer a semântica de relações entre as classes. As versões do *Protégé* utilizadas para a ontoCED foram 3.4 e 4.3, que usam a linguagem axiomática PAL (*Protégé Axiomatic Language*) que permite criar ontologias seguindo uma semântica formal OWL para derivar suas consequências lógicas.

O desenvolvimento da ontoCED seguiu as etapas baixo, conforme Noy e McGuinness recomendam (2001):

- Definição das classes na ontologia.
- Organização das classes em uma hierarquia taxonômica (subclasse-superclasse).
- Definição dos atributos (*slots*) e descrição de valores e restrições para os mesmos.
- Instanciação dos *slots*.

O desenvolvimento da ontologia ontoCED deveu-se à necessidade de formalização de classes e regras para a modelagem do domínio de conhecimento abrangido pelo *framework* iDE. A opção por criar uma ontologia de domínio deu-se pelas vantagens inerentes a essa forma de representação do conhecimento, como por exemplo: (i) as ontologias visam captar conhecimento consensual de uma forma genérica, para que possam ser reutilizados e compartilhados entre aplicativos e por grupos de pessoas (GOMÉZ-PÉREZ *et al.*, 2004) e (ii) as ontologias são úteis para especificar o problema, reutilizar conceitos e módulos, apoiar o desenvolvimento de sistemas e prover consistência para os mesmos (GRUNINGER, 1996).

A ontoCED foi desenvolvida como uma ontologia de domínio e de grau de formalidade considerado semiformal (MORAIS e AMBRÓSIO, 2007), visto que se trata de uma representação do conhecimento para consultas e padronização de termos, em cujo modelo semântico se baseia o *framework* iDE. Para o agente CBR, especificamente, as classes da ontologia e os atributos individuais foram traduzidos em uma estrutura específica para os casos. Essa estrutura ajudou a modelar o banco de dados de casos, conforme o domínio da ontoCED. Segundo SALES (2006), “as ontologias informais ou as semi-formais servem à confiabilidade dos *softwares*, agindo como um manual de verificação do modelo utilizado para a especificação”. VAN HEIJST *et al.* (1997) definem as ontologias

semiformais ou terminológicas como aquelas que somente especificam os termos que serão usados para representar o conhecimento em um domínio. Assim, decidiu-se por desenvolver a ontoCED como semiformal devido à necessidade de se ter uma definição em linguagem artificial e formalmente explícita para sua representação, sem a necessidade de um rigor formal para sua completez.

IV.2.1 Taxonomia

A taxonomia de uma ontologia é a classificação do domínio em uma estrutura baseada em herança, cujas classes, sub-classes, atributos e relações compõem uma base de dados para recuperação inteligente baseado em hierarquia e formalismo semântico (MARTIN e LEÓN, 2012). A Figura 31 mostra a classificação de alto nível da ontoCED, com as classes criadas para agrupar os recursos de descrição de domínio do CED. A estrutura hierárquica foi inicialmente definida com dez classes, sendo duas delas com três subclasses e uma com quatro.

Todas as classes são disjuntas, o que significa que não deve haver elementos pertencentes a mais de uma classe. As classes e sub-classes são:

- Aluno: classe que contém todas as instâncias de estudantes matriculados na turma virtual.
- Aplicativo: se refere aos aplicativos de suporte ao acompanhamento pedagógico, usados como plugins para os LMS.
- Atividade: se refere a todas as atividades constantes na sala virtual.
 - Textos: atividade de montagem de textos *online* ou *wikis*;
 - Upload: atividade de postagens de arquivos;
- Curso: classe referente ao curso em que o aluno está matriculado.
- Disciplina: refere-se à disciplina que faz parte de um curso.
- Mediador: se refere ao responsável pela turma virtual, cada aluno possui somente um mediador, que pode ser:
 - Coordenador;
 - Professor;
 - Tutor;
- Nota: referente à nota final do aluno na disciplina;
- Polo: infraestrutura física baseada em um município abrangido pelo CED.
- Recurso: alguns recursos oferecidos pelo LMS Moodle:
 - Calendário;
 - Chat;
 - Fórum;
 - Mensagem;
- Turma: referente à turma de uma determinada disciplina e oferecida em um polo.

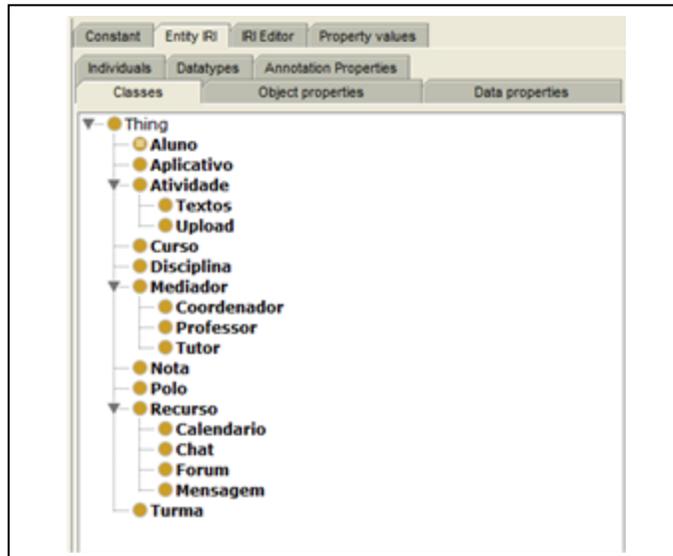


Figura 31 - Hierarquia de classes da ontoCED.

IV.2.2 Relações e propriedades

As relações entre as classes, também chamadas de propriedades podem ser visualizadas na Figura 32. Para exemplificar a estrutura hierárquica da ontologia e os relacionamentos entre as classes, seja considerada a classe Aluno:

- (i) As relações dessa classe com as outras classes são exibidas na Figura 33.
- (ii) Foi criada uma restrição existencial entre a classe Aluno e a classe Mediador, para indicar que um aluno poderá possuir somente um mediador direto.

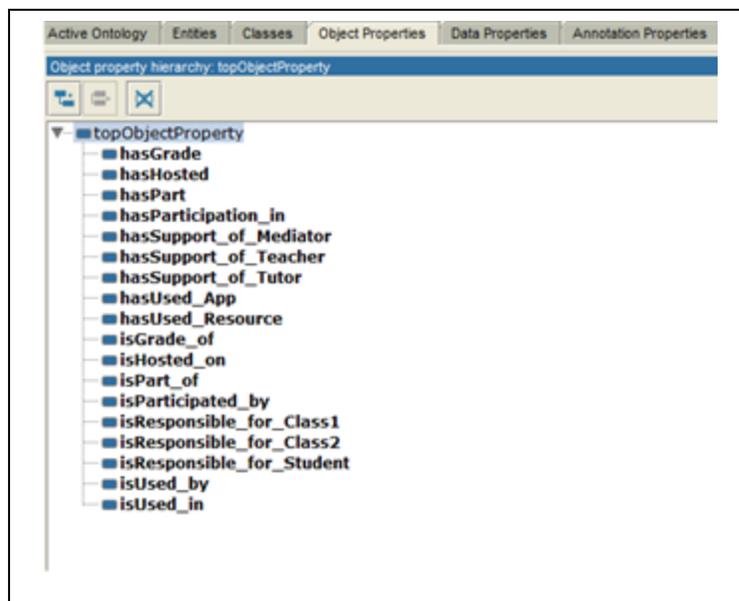


Figura 32 – Propriedades das classes

Neste exemplo, a restrição existencial entre a classe Aluno e Mediador foi definida como segue:

hasSupport some Mediador

Essa restrição indica que uma instância da classe Aluno é monitorada somente por uma instância de Mediador (coordenador, tutor ou professor).

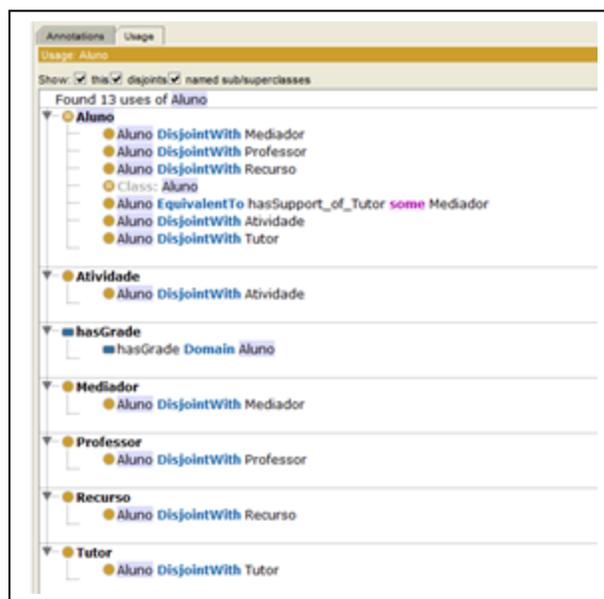


Figura 33 – Propriedades da classe Aluno.

As propriedades das outras classes e seus relacionamentos estão descritas no Apêndice G deste documento. A Figura 34 exibe o esquema conceitual da ontoCED de forma gráfica.

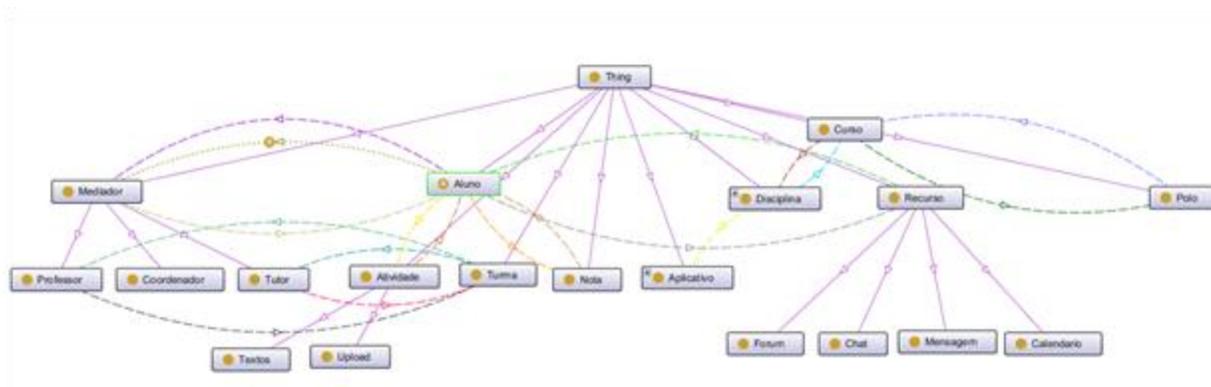


Figura 34 – Representação gráfica da ontoCED.

IV.2.3 Axiomas

Esta subseção traz as relações entre as classes da ontoCED e as regras que as determinam (Quadro 8). As relações estão escritas em inglês e as classes são identificadas em português, para melhor identificação com o domínio modelado. Os axiomas foram escritos em lógica proposicional, e as sentenças foram baseadas nas regras estabelecidas para relacionar as propriedades entre as classes.

Quadro 8 – Relações entre as classes da ontoCED.

Ax	Propriedades	Classe 1	Classe 2	Regras
1	hasGrade	Aluno	Nota	Todo aluno possui pelo menos uma nota
2	hasUsed_App	Disciplina	Aplicativo	Uma disciplina pode utilizar um aplicativo ou não
3	isPart_of	Disciplina	Curso	Todo curso possui pelo menos uma disciplina
4	hasParticipation_in	Aluno	Atividade	Todo aluno participa ou não de uma ou mais atividades
5	hasHosted	Polo	Curso	Todo polo abriga pelo menos um curso
6	hasSupport_of_Teacher	Turma	Professor	Toda turma possui pelo menos um professor
7	hasSupport_of_Tutor	Turma	Tutor	Toda turma possui pelo menos um tutor
8	hasUsed_Resource	Aluno	Recurso	Um aluno pode usar ou não um recurso
9	hasSupport_of_Mediator	Aluno	Mediador	Todo aluno é apoiado por um mediador
10	isGrade_of	Nota	Aluno	Toda nota está vinculada a um aluno
11	isUsed_in	Aplicativo	Disciplina	Um aplicativo pode ser usado ou não em uma disciplina
12	isParticipated_by	Atividade	Aluno	Uma atividade pode ser realizada por um ou mais alunos
13	isHosted_on	Curso	Polo	Todo curso está abrigado em um Polo
14	isResponsible_for_Class1	Professor	Turma	Todo professor possui um ou mais turmas
15	isResponsible_for_Class2	Tutor	Turma	Um tutor pode ter uma ou mais turmas
16	isResponsible_for_Student	Mediador	Aluno	Um mediador pode ter 0 ou mais alunos
17	isUsed_by	Recurso	Aluno	Um recurso pode ser usado ou não por um aluno

Para a elaboração das sentenças que descrevem os axiomas foram utilizados símbolos, quantificadores e expressões característicos da lógica de primeira ordem. No Quadro 9, a primeira coluna corresponde ao número de identificação da relação no Quadro 8 e a segunda coluna traz a sentença descrita em lógica proposicional equivalente à regra escrita em linguagem natural, no quadro anterior.

Quadro 9 – Principais axiomas da ontoCED.

Axioma	Regras
1	$(\forall x) Aluno(x) \rightarrow (\exists y) Nota \wedge hasgrade(x, y)$
2	$(\exists x) Disciplina(x) \rightarrow ((\exists y) Aplicativo(y) \wedge hasUsed(y)) \vee (\sim (\exists y) Aplicativo(y) \wedge hasUsed(y))$
3	$(\forall x) Curso(x) \rightarrow (\exists y) Disciplina(y) \wedge isPart_of(y)$
4	$(\forall x) Aluno(x) \rightarrow ((\exists y) Atividade(y) \wedge hasParticipation_in(y)) \vee (\sim (\exists y) Atividade(y) \wedge hasParticipation_in(y))$
5	$(\forall x) Polo(x) \rightarrow (\exists y) Curso(y) \wedge hasHostedP(y)$
6	$(\forall x) Turma(x) \rightarrow (\exists y) Professor(y) \wedge hasSupport_of_Teacher(y)$
7	$(\forall x) Turma(x) \rightarrow (\exists y) Tutor(y) \wedge hasSupport_of_Tutor(y)$
8	$(\exists x) Aluno(x) \rightarrow ((\exists y) Recurso(y) \wedge hasUsed(y)) \vee (\sim (\exists y) Recurso(y) \wedge hasUsed(y))$
9	$(\forall x) Aluno(x) \rightarrow (\exists y) Mediator(y) \wedge hasSupport_of_Mediator(y)$
10	$(\forall x) Nota(x) \rightarrow (\exists y) Aluno(y) \wedge isGrade_of(y)$
11	$(\exists x) Aplicativo(x) \rightarrow ((\exists y) Disciplina(y) \wedge isUsed_in(y)) \vee (\sim (\exists y) Aplicativo(y) \wedge isUsed_in(y))$
12	$(\forall x) Atividade(x) \rightarrow (\exists y) Aluno(y) \wedge isParticipated_by(y)$
13	$(\forall x) Curso(x) \rightarrow (\exists y) Polo(y) \wedge isHosted_on(y)$
14	$(\forall x) Professor(x) \rightarrow (\exists y) Turma(y) \wedge isResponsible_for_Class1(y)$
15	$(\forall x) Tutor(x) \rightarrow (\exists y) Turma(y) \wedge isResponsible_for_Class2(y)$
16	$(\forall x) Mediator(x) \rightarrow (\exists y) Aluno(y) \wedge isResponsible_for_Student(y)$
17	$(\exists x) Recurso(x) \rightarrow ((\exists y) Aluno(y) \wedge isUsedBy(y)) \vee (\sim (\exists y) Aluno(y) \wedge isUsedBy(y))$

Os axiomas formalizam as relações entre as entidades e as restrições de uso dos termos que definem o domínio da ontoCED, além de modelar as sentenças que serão utilizadas pelos agentes inteligentes.

IV.2.4 Instanciação

A instanciação das informações na ontoCED foi realizada no *Protégé*, para verificação dos dados de acordo com as regras axiomáticas e o dicionário de sinônimos da ontologia. O *framework* de desenvolvimento jCOLIBRI possui um módulo de ligação com arquivos em formato OWL. Esse recurso oferece uma arquitetura de gerenciamento de ontologias, o que permitiu o uso das informações certificadas pela ontoCED, em forma de instâncias, pela base de dados usada pelos agentes.

A Figura 35 esquematiza o mapeamento das informações da ontologia em conceitos, instâncias e dados no banco de dados.

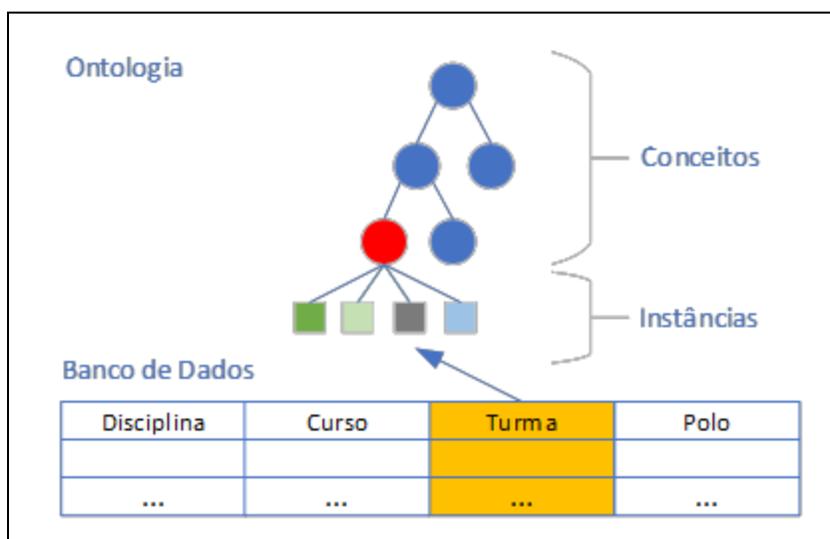


Figura 35 – Mapeamento entre o banco de dados e a ontoCED.
Fonte: Adaptação de Recio-García *et al.* (2008).

As informações foram inseridas nas classes da ontoCED, obedecendo as propriedades e as regras de relação entre as mesmas, e certificadas pelas funções de verificação de instâncias do *software Protégé*.

VI.3 Conclusões do capítulo

Este capítulo descreveu o estudo de caso proposto como forma de aplicação do *framework iDE*. Apresentou as características da ontoCED, ontologia usada para representação do domínio do objeto de estudo, e os detalhes de sua instanciação.

VII Experimentos e resultados

Os experimentos para validação do *framework* iDE objetivaram viabilizar a prova de conceito para o protótipo computacional inicial que simulou as funções do iDE. Como já foi visto no Capítulo VI, a instanciação para fins de Estudo de Caso foi o contexto do Centro de Educação a Distância (CED/UFAM). Os elementos de avaliação do *framework* foram elaborados para atender a uma avaliação pedagógica de relevância das respostas retornadas, e com o intuito de detectar também se foram atendidas as etapas do modelo de SECI para recuperação, transferência e aplicação do conhecimento.

VII.1 Avaliação de aceitação

A elaboração dos questionários aplicados seguiu o processo TAM (DAVIS, 1989) para avaliação de aceitação do *framework* iDE e a definição das variáveis observáveis cumpriu as recomendações do modelo.

VII.1.1 O Modelo TAM e a Escala Likert

O Modelo de Aceitação de Tecnologia ou *Technology Acceptance Model* (TAM) foi proposto por Davis (1989) e consiste em procedimentos específicos para área de sistema de informação com a finalidade de identificar a aceitação de uma tecnologia.

A robustez e a adequação do TAM têm sido confirmadas pelos resultados das validações, aplicações e replicações realizadas por pesquisadores e profissionais da área, independente de ambiente ou tecnologia (SILVA e DIAS, 2006). O impacto dos fatores externos sobre os internos do sistema de informação foi mapeado pelo modelo, que define ainda variáveis externas como características do sistema, ciclo de desenvolvimento, testes, entre outras (DIAS, ZWICKER e VICENTIN, 2003).

O modelo TAM está baseado em dois construtos (DAVIS, 1989): a Utilidade Percebida e a Facilidade de Uso Percebida, de acordo com disposição do esquema na Figura 36:

A **Utilidade Percebida** (PU - *Perceived Usefulness*): consiste no grau com que o usuário avalia a melhoria de seu desempenho e convicções, ao utilizar o sistema de informação.

A **Facilidade de Uso Percebida** (PEOU - *Perceived Ease of Use*): é o grau com que o usuário avalia a facilidade e o esforço depreendido ao utilizar o sistema de informação.

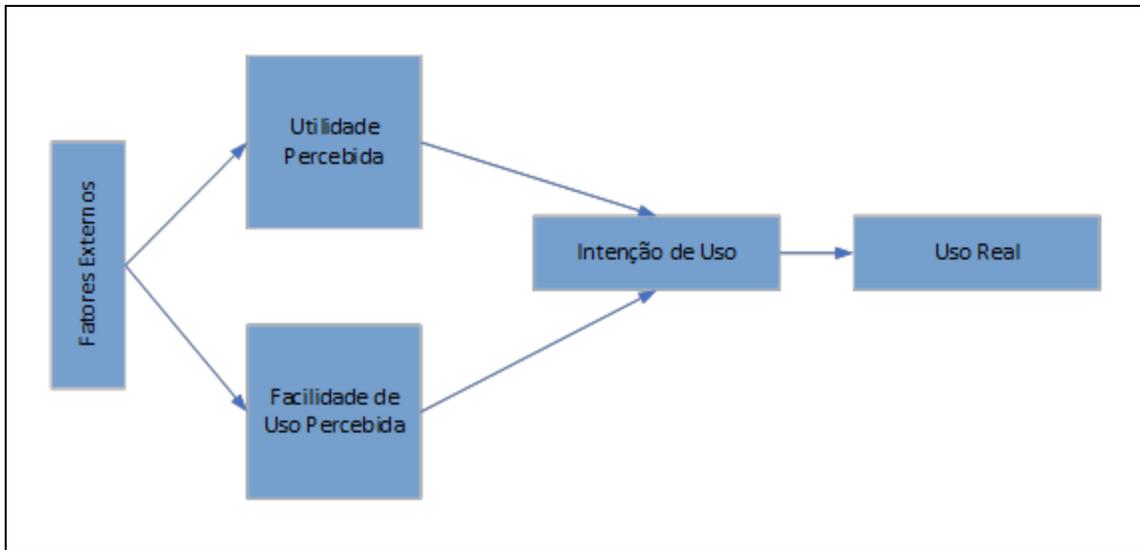


Figura 36 – Modelo TAM.
 Fonte: Adaptado de Davis (1989).

Para Davis (1989), esses dois construtos definem as ações e o uso da tecnologia avaliada, sendo que essas dimensões influenciam na decisão na aceitação de um sistema.

O TAM possui atualmente três versões (TAM 1, TAM 2 e TAM 3): a versão TAM 2 (VENKATESH e DAVIS, 2000) incluiu determinantes adicionais dos construtos *Utilidade Percebida* e *Intenção de Uso* para detectar o efeito destes ao longo de experiência de uso de um sistema. A versão TAM 3 (VENKATESH e BALA, 2008) acrescentou determinantes para os construtos *Facilidade de Uso* e *Intenção de Uso* para determinar a robustez de um sistema. Nesta tese, foi usada a primeira versão do TAM (Davis, 1989), visto que atende às necessidades de avaliação de utilidade do *framework* proposto.

A escala utilizada para aferir o nível de concordância dos entrevistados foi a Likert (LIKERT, 1932), pelas suas vantagens na elaboração de questionários e medição de intensidade na avaliação dos itens.

Foram estabelecidos para estes questionários itens com pontos de 0 a 10. Estes valores devem corresponder a opiniões individuais, sendo o limite inferior (0) definido como o conceito “Discordo totalmente” e o limite superior (10) como “Concordo Totalmente”. Os demais pontos do intervalo servem para refletir a intensidade da resposta e o quanto ela se aproxima dos marcos limítrofes.

VII.1.2 Indicadores

Os indicadores (ou variáveis observáveis) estabelecidos para a avaliação do arcabouço proposto seguiu a percepção dos construtos que norteiam o TAM. Os quadros 10 e 11 descrevem esses indicadores, separando-os de acordo com as visões de PU e PEOU.

Essas variáveis de avaliação abrangem as questões de usabilidade do *framework* e de relevância das soluções por ele apresentadas.

Quadro 10 – Indicadores: construto Utilidade Percebida (PU).

Construtos	Indicadores
PU.1	Adequação das fontes de informação ao contexto pedagógico.
PU.2	Utilidade das fontes para composição de soluções.
PU.3	Relação Problema Proposto <i>vs</i> Solução.
PU.4	Aplicação da solução.
PU.5	Relevância das respostas apresentadas.
PU.6	Conhecimento agregado e <i>feedback</i> instrucional.
PU.7	Contribuição para o aprendizado do <i>framework</i> .

Quadro 11 – Indicadores: construto Facilidade de Uso Percebida (PEOU).

Construtos	Indicadores
PEOU.1	Facilidade de uso, flexibilidade da <i>interface</i> .
PEOU.2	Visualização das soluções.
PEOU.3	Facilidade de inserção de <i>feedback</i> .
PEOU.4	Acesso ao conhecimento retido.

Os dados referentes às questões que formam esses indicadores serão mostrados em forma de gráficos na seção VII.4.

VII.2 Questionários aplicados

Os experimentos de validação do framework iDE consistem em testes aplicados para se realizada uma análise qualitativa das respostas levantadas. A fim de verificar o grau de satisfação com as respostas e a usabilidade da interface do sistema computacional que emula o *framework* iDE, serão aplicados dois questionários: (i) um de avaliação e (ii) outro de caracterização.

(i) Questionário de Avaliação: composto por perguntas diretas sobre itens de usabilidade de *interface* e importância pedagógica das soluções retornadas pelo arcabouço. O questionário foi formulado com base nos indicadores elaborados a partir do TAM. Foi apresentado ao entrevistado para preenchimento após a realização dos testes com o *framework*. Esse questionário é descrito no Apêndice C. A Figura 37 traz alguns exemplos de questões de avaliação pedagógica e de usabilidade inseridas no questionário.

1) Sobre as opções do framework iDE:

a) *O quanto você considera as opções disponíveis para entrada de dados e geração de soluções adequadas ao contexto pedagógico do framework?*

2) Sobre a(s) solução (ões) retornada(s):

a) *Na sua opinião, qual o nível de relevância pedagógica da(s) solução(ões) apresentada(s) para o problema proposto?*

Figura 37 – Exemplos de questões do questionário de avaliação.

(ii) Questionário de Caracterização: foi aplicado antes dos testes com o *framework*, e tem a finalidade de levantar informações sobre o participante dos testes, como identificação, tempo de experiência com EaD, função desempenhada e conhecimento em ambientes virtuais de aprendizagem. O Apêndice B apresenta esse questionário na íntegra.

Por meio desses questionários os participantes puderam expor suas impressões em relação a utilização do *framework* iDE. A subseção a seguir descreve como os questionários foram elaborados, sob os pontos de vista da avaliação de relevância pedagógica e do atendimento aos elementos característicos das etapas do modelo SECI.

VII.2.1 Avaliação de relevância pedagógica

Para o levantamento da qualidade pedagógica das funções do *framework* iDE, o questionário de avaliação foi elaborado considerando cinco das dez dimensões propostas por Nokelainen (2006) como base para as questões. As dimensões que tratam do material pedagógico não foram consideradas pois não são objetos de levantamento deste experimento. As demais dimensões foram adaptadas ao contexto do iDE, enquanto arcabouço de apoio à decisão para cursos à distância. O questionário de avaliação contemplou e adaptou as dimensões: aprendizagem colaborativa, valor agregado, motivação, flexibilidade e *feedback*.

A avaliação pedagógica foi aplicada de forma geral para todas as funções do iDE, e procurou detectar a percepção do testador quanto ao uso e importância das mesmas, no âmbito do estudo de caso proposto.

VII.2.2 Avaliação pelo modelo SECI

As questões de avaliação das atividades do arcabouço foram elaboradas também considerando as etapas de recuperação do conhecimento pelo modelo SECI: Socialização, Externalização, Combinação e Internalização. Essas etapas foram adaptadas ao questionário de avaliação a fim de se identificar se as formas de construção, disponibilização e apreensão do conhecimento foram atendidas pelo sistema computacional do *framework*.

Métodos de avaliar se o modelo SECI está efetivamente funcionando em um processo de execução real de um sistema de gestão do conhecimento ainda não foram estabelecidos formalmente (SUZUKI e TOYAMA, 2004). Porém, são sugeridas estratégias de verificação desses resultados em abordagens educacionais.

Hvoreccky (2015) afirma que devem ser indicadas questões de levantamento do nível de compartilhamento de informações e cooperação entre os usuários do sistema, para avaliação da apreensão do conhecimento. Os métodos educacionais contemporâneos, em sua maioria, concentram-se no conhecimento explícito e em sua manipulação. Esses elementos a etapa de Combinação, que é a transferência de conhecimento explícito existente. Assim, parte de habilidades e experiência são omitidos. É por isso que o conhecimento tácito se torna difícil de ser incorporado a um sistema educacional.

A avaliação de um arcabouço com essas características deve identificar itens de compartilhamento e armazenamento de novas informações (HVORECCKY, 2015). Assim, as questões do questionário de avaliação procuraram levantar o quanto o nível de conhecimento foi adquirido após a execução das tarefas do *framework*.

VII.3 Metodologia e condução dos testes

Os experimentos foram realizados no ambiente físico do CED/UFAM, com dez participantes, dentre eles professores, tutores e coordenadores com ampla experiência em EaD. Durante a seleção dos participantes foram encontradas algumas dificuldades para se conseguir um campo amostral maior, visto que a disponibilidade dos especialistas em participar dos testes era muito reduzida. A metodologia utilizada para os experimentos desenvolveu-se nos seguintes passos:

1) Os participantes foram direcionados, um por vez, a uma sala com um computador contendo o sistema computacional já carregado.

2) Foram aplicados o questionário de caracterização e o termo de consentimento antes do início dos testes. O participante assinou o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (Apêndice D), dando seu consentimento para a participação no experimento.

3) O *framework* iDE foi apresentado e os procedimentos dos testes foram esclarecidos. Foi ainda avisado ao participante que os testes poderiam ser gravados e as opiniões verbais registradas.

4) O participante segue o roteiro de avaliação do sistema computacional do *framework* iDE. O roteiro de tarefas tinha instruções para que o usuário experimentasse todas as funcionalidades disponibilizadas no sistema. Durante o uso do sistema foi utilizado um *software* próprio do sistema operacional para gravar as interações do usuário e quaisquer comentários feitos que pudessem conter informações relevantes para a análise do desempenho dos participantes.

5) Após o término dos testes, foi solicitado ao participante o preenchimento do questionário de avaliação pedagógica de usabilidade.

A base de dados disponibilizada para testes contou com:

- 30 casos passados reais, acontecidos no contexto do estudo de caso proposto;
- 30 registros de opiniões verídicas de especialistas em EaD e que vivenciam diariamente o contexto do estudo de caso proposto.
- 30 gráficos com informações oriundas de aplicativos instalados no LMS Moodle, ambiente virtual utilizado no CED/UFAM.

Os casos passados e as opiniões foram coletados a partir de entrevistas com especialistas do CED. A descrição de um caso corresponde a um episódio de um problema parcialmente ou totalmente resolvido e uma descrição de uma situação e experiências adquiridas durante a resolução. O registro de opinião de especialista consiste em informações

sobre problemas corriqueiros e de fácil solução. Os *plugins* utilizados pelo iDE e que trouxeram informações do LMS Moodle do CED foram:

- LMSMonitor (Antunes *et al.*, 2016): aplicativo que disponibiliza relatórios e gráficos com dados de aprovação e reprovação de uma turma. Permite a identificação de alunos com notas mais baixas para uma possível intervenção pedagógica.
- LPGraph (Ramos *et al.*, 2017): *plugin* em formato de grafo dirigido que mostra a trilha de aprendizagem (navegação entre os recursos) percorrida pelos alunos em uma sala de aula virtual.
- WebMonitor (Silva *et al.*, 2015): aplicativo que monitora o envio de tarefas obrigatórias e a participação ativa do aluno em fóruns de discussão em uma sala de aula virtual.

A Figura 38 mostra os *plugins* que foram usados pelo iDE para recuperação de dados do ambiente virtual do CED.

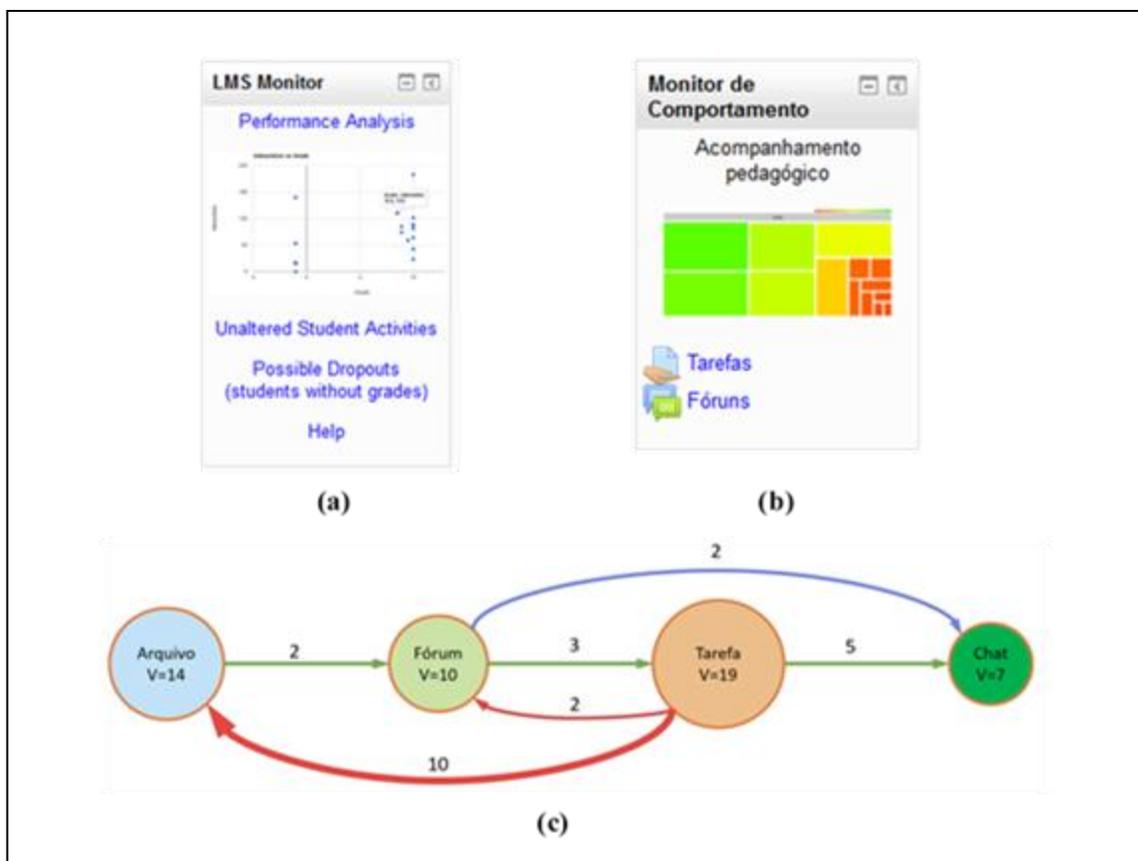


Figura 38 – *Plugins* do LMS Moodle, utilizados pelo iDE:
(a) LMSMonitor, (b) WebMonitore (c) PathGraph.

A próxima seção traz os resultados das avaliações, juntamente com a análise da eficiência do *framework* iDE.

VII.4 Resultados e discussões

O questionário de levantamento de qualidade pedagógica e usabilidade referentes às respostas retornadas pelo *framework* iDE dividiu-se em 5 partes, contendo questões objetivas e uma subjetiva, que formaram os indicadores de avaliação, conforme Quadro 12.

A primeira análise é justamente sobre os construtos PU (Utilidade Percebida) e PEOU (Facilidade de Uso Percebida). Os gráficos das Figuras 39 e 40 apresentam notas dadas às questões pelos entrevistados, de acordo com o intervalo da escala Likert estabelecida.

Quadro 12 – Questões e construtos.

Questões	Construtos
1.a	PEOU.1
1.b	PEOU.1
1.c	PEOU.1
2.a	PU.1
2.b	PU.1
2.c	PU.2
3.a	PU.3
3.b	PEOU.4
4.a	PU.5
4.b	PU.5
4.c	PU.5
4.d	PU.4
4.e	PU.6
5.a	PU.5
5.b	PEOU.2
5.c	PEOU.4
5.d	PEOU.3
5.e	PU.7

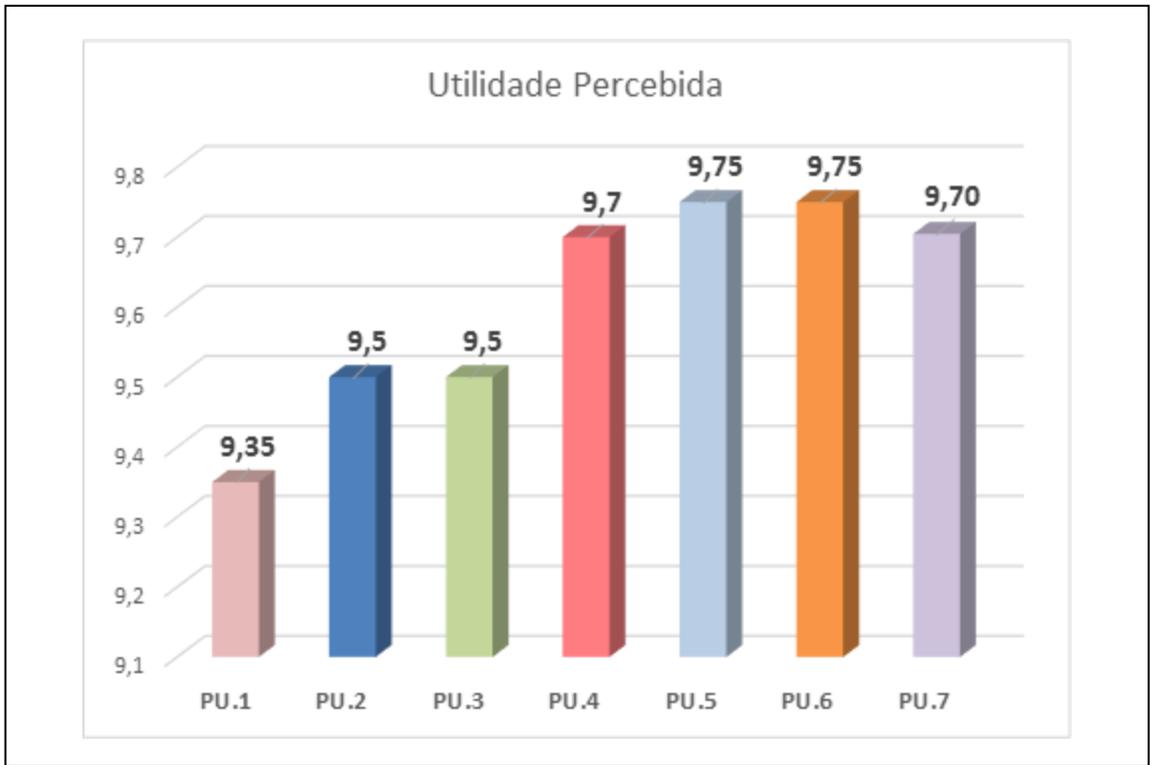


Figura 39 – Gráfico: Utilidade Percebida

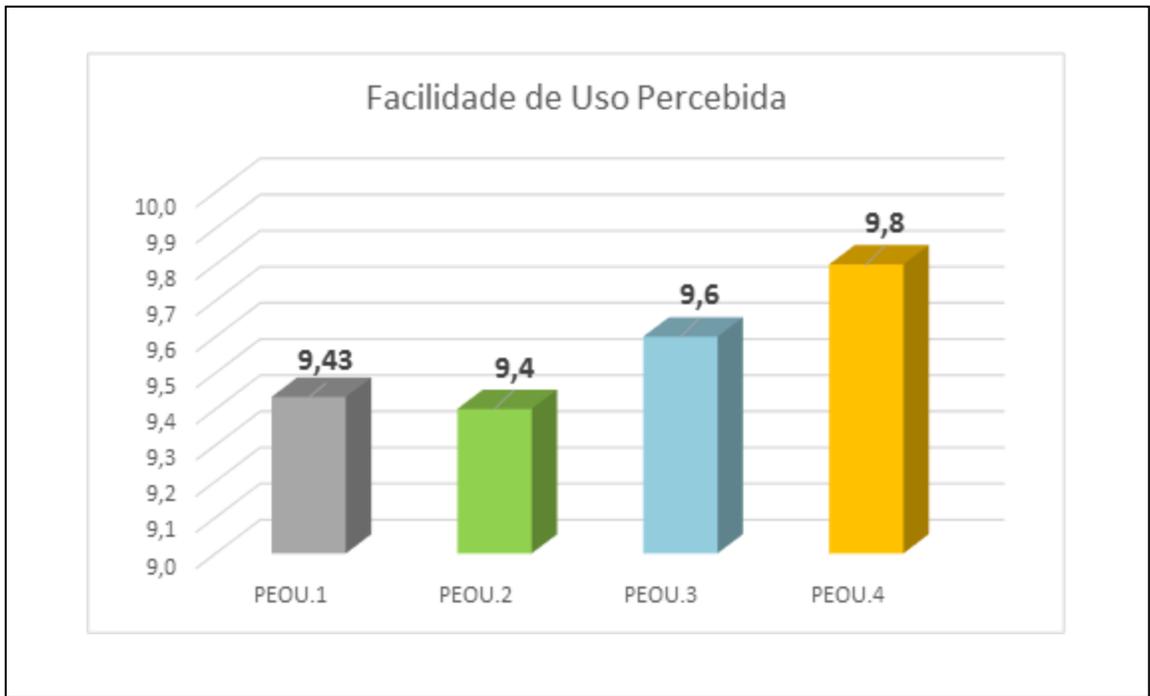


Figura 40 – Gráfico: Facilidade de Uso Percebida

Pelo gráfico “Utilidade Percebida” (Figura 39) nota-se que as maiores notas foram dadas para os indicadores “Relevância das respostas apresentadas” e “Conhecimento agregado e *feedback* instrucional”. Os menores valores atribuídos foram para “Adequação das fontes de informação ao contexto pedagógico”. Essas informações retratam que os entrevistados ficaram satisfeitos com o desempenho do *framework* no que diz respeito à relevância pedagógica das respostas e que o usuário ainda não se sente familiarizado com o uso das fontes de informação para busca de soluções.

Já no gráfico “Facilidade de Uso Percebida” (Figura 40) observa-se que os maiores valores foram atribuídos ao indicador “Acesso ao conhecimento retido”. As menores notas foram dadas para “Visualização das soluções”. As observações traduzem a relativa facilidade com que o entrevistado encontrou para acessar informações de buscas anteriores e pesquisar na base de dados do *framework*. A visualização das opções de Histórico de Buscas e Casos Anteriores precisa ser melhorada, segundo as indicações avaliativas.

A segunda parte da análise das avaliações considera as respostas para a segunda questões de pesquisa que ajudou a orientar nosso trabalho:

- **Q2:** O conhecimento recuperado apresenta soluções relevantes para a resolução de problemas frequentes em ambientes de EaD, a partir de sua aplicação no contexto do estudo de caso proposto?

Os comentários de análise serão balizados pelo gráfico da Figura 41:

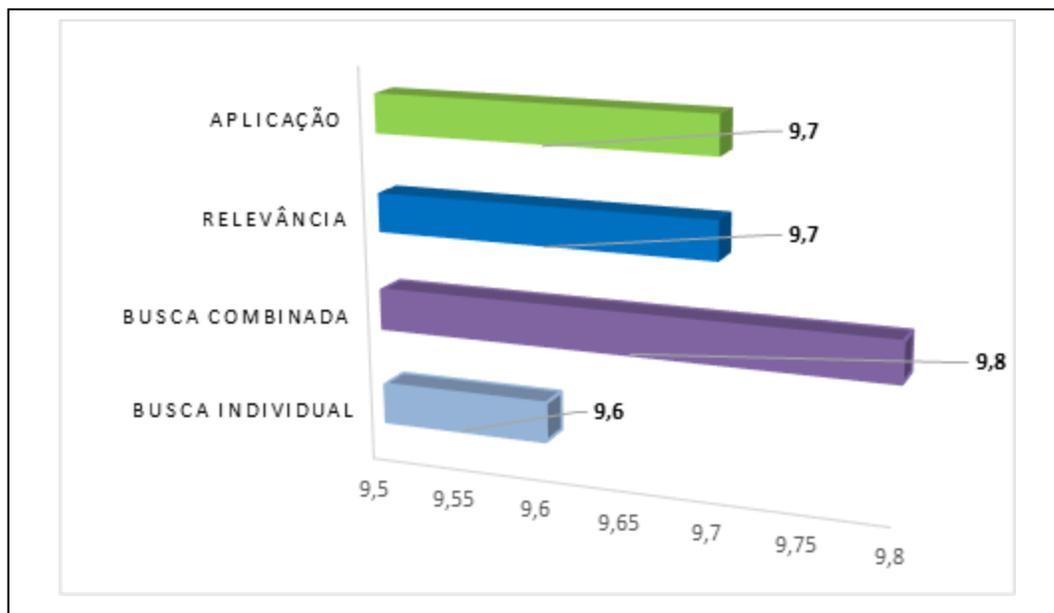


Figura 41 – Gráfico: Retorno sobre soluções apresentadas.

Nos quesitos “Relevância” e “Aplicação” das soluções encontradas, as médias das notas atribuídas tenderam a um mesmo valor (9,7), isso traduz a opinião positiva sobre a importância das soluções retornadas pelo arcabouço e a aplicabilidade prática das mesmas, no cotidiano de cursos oferecidos à distância.

A hipótese de pesquisa apresentada no primeiro capítulo e que norteou essa tese, pode ser analisada pelos dois elementos que geram as duas primeiras colunas do gráfico da Figura 41.

Hipótese:

A utilização individual e a combinação de informações provenientes do tratamento de dados por diferentes técnicas de IA, para recuperação dos conhecimentos tácito e explícito, pode viabilizar soluções relevantes para problemas distintos no contexto da educação a distância.

Percebe-se pelo gráfico que a busca de solução para o problema proposto utilizando somente uma fonte de informação obteve valores menores que a busca combinando várias fontes de informação. Ou seja, na opinião dos entrevistados, a combinação das buscas só melhorou em cerca de 2% a eficiência da solução apresentada.

Para fins comparativos dos dados retornados pelo iDE e a opinião dos entrevistados, serão observados os dados da Tabela 3. Ela mostra os resultados retornados pelo *framework*, com indicação da taxa de similaridade de um problema com a solução apresentada quando solicitada somente uma fonte de informação, no caso, a Busca em Casos Passados (CBR). Em comparação com esses dados, é mostrada a solução para o mesmo problema, mas utilizando desta vez a combinação de duas fontes de informação (CBR e Dados do LMS) e também é exibida a similaridade retornada para essa solução. Esse procedimento está ilustrado na Figura 41, que expõe as telas do *framework* correspondentes às buscas por soluções.

Tabela 3 – Exemplo de dados comparativos para uma busca

Tipo de Busca	<i>framework</i> iDE	Entrevistado
Busca individual (CBR)	60%	90%
Busca combinada (CBR+Dados LMS)	77%	95%

Pode-se concluir que os participantes da entrevista tendem a avaliar a semelhança entre o problema proposto e a solução retornada de forma geral, levando em conta a utilidade da resposta. O *framework* apresenta dados mais precisos, gerados a partir do cálculo da similaridade entre o problema e as fontes de informação.

Busca de solução

[Voltar](#)

Selecione a natureza do problema:
 Infraestrutura/Administrativa Pedagógica Acadêmica

Descreva o problema resumidamente:

Os alunos estavam acostumados a fazer prova com consulta e recorriam frequentemente à cola. Tinham a convicção dos tutores presenciais.

Relator

Coordenador Curso ▼

Descreva o problema detalhadamente:

Foram identificados casos de cola nas provas finais das disciplinas. O coordenador de curso decidiu aplicar pessoalmente as provas, de forma rígida e tomou providências para que não houvesse fraudes. A turma se revoltou com este procedimento e foi criado um mal-estar com todos envolvidos no curso.

Palavras-chaves

cola, fraude

Polo

Boa Vista ▼

[Buscar](#)

Resultado da busca

[Voltar](#)

PROBLEMA DESCRITO:

Descrição resumida: Dificuldades em utilizar computadores, internet e o AVA Moodle impediam que a maioria dos alunos tivessem um bom rendimento na disciplina Informática Aplicada.

Natureza do Problema: Pedagógica

Palavras-chaves: Dificuldades com Moodle, deficiência em Informática Básica

Função do Relator: Professor

Polo: Autazes

Solução sugerida

Solução	Oferecer treinamento em informática básica e noções gerais de uso do AVA Moodle.
Palavras-chaves	Oficina de Informática Básica, mutirão
Ação Implementada	- Organização de um mutirão de professores e tutores à distância para ministrarem uma oficina de Informática Básica nos três polos - Providência para viagem dos professores e tutores à distância aos polos. - Elaboração e impressão de uma apostila de Informática Básica.
Solução Implementada	Sim
Efetividade da Ação Implementada	Sim
Custos	Passagem aérea, diárias, impressão de apostila.
Impacto Pedagógico	Não houve
Atores Envolvidos	Coordenador de polo, professor, tutor presencial

Similaridade calculada: 60%

A solução recomendada ajudou na sua dúvida? [Sim](#) [Não](#)

Figura 42 – Telas de consulta e resultados do *framework* IDE.

Para a análise do nível de conhecimento adquirido pelo usuário a partir da utilização do iDE, informação que diz respeito à etapa de Internalização do modelo SECI, foram tabuladas as avaliações dos entrevistados referentes a essa questão (Tabela 4). Os dados demonstram que a maioria dos entrevistados consideram uma agregação de 100% ao seu conhecimento individual.

Tabela 4 – Porcentagem de conhecimento agregado pelo uso do iDE.

Participante	Opinião
Participante 1	100%
Participante 2	90%
Participante 3	100%
Participante 4	100%
Participante 5	100%
Participante 6	100%
Participante 7	100%
Participante 8	100%
Participante 9	100%
Participante 10	100%

Apesar do número reduzido de participantes do experimento, todos são considerados especialistas no domínio do estudo de caso proposto e têm bastante experiência em manipulação de ferramentas de apoio a cursos à distância, como pode ser conferido pelos gráficos das Figuras 43, 44 e 45. Assim, a relevância das avaliações e opiniões investigadas nesse experimento podem ser validadas de forma qualitativa, tendo em vista a qualidade das informações levantadas.



Figura 43 – Gráfico: Função dos entrevistados.



Figura 44 – Gráfico: Conhecimento de ferramentas para EaD.

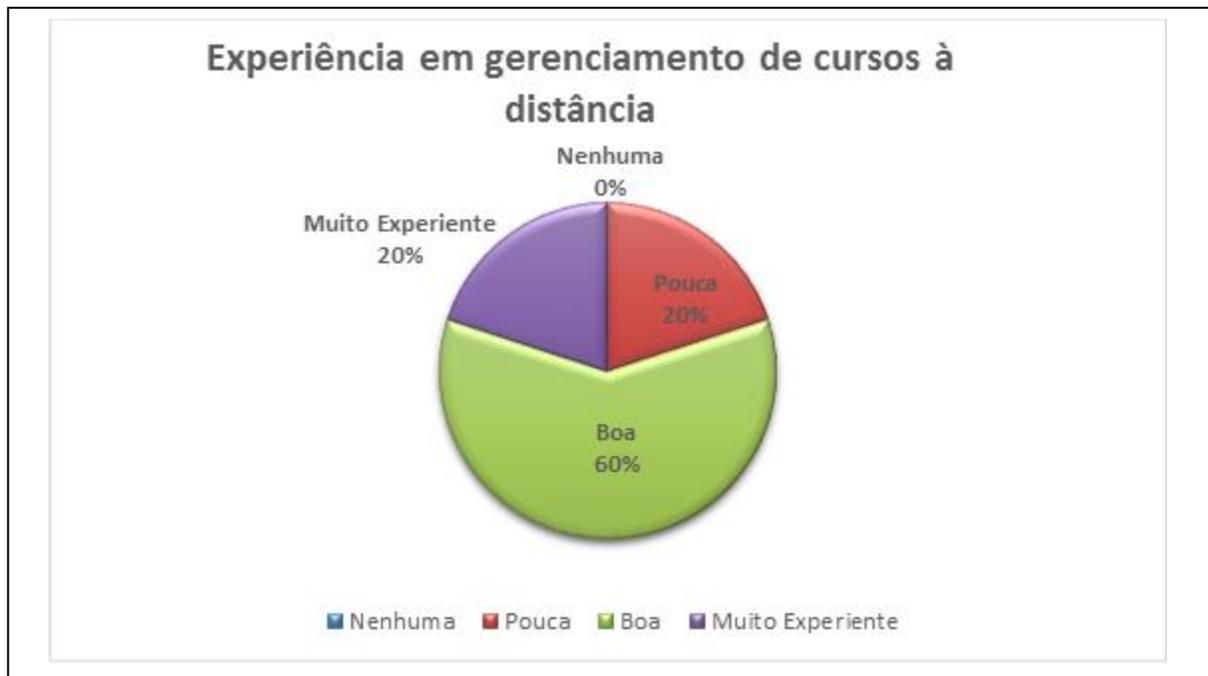


Figura 45 – Gráfico: Experiência em gerenciamento de cursos à distância.

Algumas opiniões subjetivas colhidas pelo questionário de avaliação podem ser observadas na Figura 46.

“À medida que o uso se intensifica, as opções enriquecem ainda mais os resultados.”

“Parece-me uma excelente ferramenta de mediação pedagógica.”

“Agilizaria bastante nosso trabalho na tutoria de cursos.”

“Excelente canal para auxiliar no planejamento pedagógico.”

“Considero o framework importante para auxiliar os envolvidos nos cursos a adquirirem informações mais precisas sobre as dificuldades dos alunos.”

“O retorno das soluções para os usuários facilita a resolução de problemas.”

Figura 46 – Exemplos de considerações dos entrevistados.

Como resumo dessas considerações pode-se constatar que, para os entrevistados, as respostas do *framework* potencializam o conhecimento baseado em experiências anteriores para solucionar novos problemas. As respostas indicam sugestão de ações interventivas, que são as soluções propostas pelas fontes de informação e que podem ser aplicadas pelos responsáveis pelos cursos à distância. Ou seja, as soluções apresentadas representam para o mediador exemplos de ações que podem ser implementadas para a resolução de problemas de cunho acadêmico, pedagógico, administrativo ou de infraestrutura.

VII.5 Conclusões do capítulo

Este capítulo descreveu a prova de conceito a que foi submetido o iDE, dentro do contexto do estudo de caso proposto. Detalhou os experimentos e analisou os resultados sob o enfoque da recuperação do conhecimento e as soluções propostas pelo *framework*. As conclusões foram estabelecidas a partir das informações obtidas pelos testes realizados com usuários especialistas no domínio de EaD.

VIII Considerações Finais

Um dos principais desafios das instituições que promovem cursos na modalidade à distância é acompanhar o desempenho acadêmico do aluno e disponibilizar infraestrutura física e pedagógica adequada ao curso oferecido. Além disso, também compõem esse desafio o reaproveitamento do conhecimento tácito, representado pela experiência de especialistas locais, que quase sempre é utilizado para solucionar questões recorrentes em localidades com problemas característicos da Região Amazônica.

Portanto, esta proposta de tese se propôs a discutir a relevância das respostas obtidas pelo uso individual e pela combinação de técnicas de Inteligência Artificial com dados provenientes de um ambiente virtual de aprendizagem e opinião de especialistas, no contexto de problemas do cotidiano de cursos de EaD. A utilização das fontes de informação e suas possíveis combinações foram viabilizadas por um *framework* conceitual chamado iDE, cujo objetivo é mapear o conhecimento implícito em informações oriundas de situações antigas e equivalentes ao problema proposto, para apresentar soluções que possam ser consideradas relevantes para resolvê-lo.

O *framework* usou as técnicas de Raciocínio Baseado em Casos e de Sistemas Multiagentes para extrair as informações que foram combinadas para gerar respostas a um problema dado como entrada. A relevâncias das soluções obtidas foram avaliadas por especialistas na área, por meio de uma interface *web*, o que contribuiu para o aprendizado do arcabouço.

Para o desenvolvimento desta proposta, foi feito inicialmente um levantamento bibliográfico em forma de revisão de literatura, a fim de se identificar o estado da arte das aplicações utilizando CBR, MAS e Ontologias, no contexto educacional e de recuperação do conhecimento. A tarefa de recuperação do conhecimento tácito e explícito seguiram as etapas do Modelo SECI (Socialização, Externalização, Combinação e Internalização), proposto por Nonaka e Takeuchi (1995). Essas etapas foram incorporadas ao modelo de referência proposto para o *framework* iDE.

A implementação dos agentes de *software* que compõem os Sistema Multiagente do iDE foi viabilizada pelo *framework* de desenvolvimento jCOLIBRI 2, e se baseou na teoria de tratamento do conhecimento abordada pela técnica CBR, abordando os estágios de Recuperação, Reutilização, Revisão e Retenção de informações.

Para a formalização dos conceitos e das informações manipuladas e geradas pelo arcabouço foi definida uma ontologia de domínio, com o objetivo modelar o conhecimento no contexto do estudo de caso proposto, o Centro de Educação a Distância da Universidade Federal do Amazonas.

Os experimentos de validação do protótipo de sistema computacional do *framework* iDE consistiram em testes com usuários especialistas em EaD e na avaliação das respostas dos questionários aplicados. Todas as informações armazenadas na base de dados são reais e foram levantadas a partir de entrevistas com professores, tutores e coordenadores de cursos oferecidos na modalidade à distância.

Os resultados das avaliações das soluções retornadas pelo arcabouço apontam para um desempenho positivo do *framework*, visto que as respostas apresentadas foram consideradas relevantes e passíveis de aplicação no gerenciamento de cursos à distância. As tarefas de recuperação, tratamento e retenção do conhecimento também foram viabilizadas a partir do uso das funcionalidades oferecidas pela *interface* com o usuário, sendo que o grau de agregação do conhecimento consistiu em um item bem avaliado pelos entrevistados nos testes.

VIII.1 Contribuições do trabalho

A constante melhoria na qualidade das respostas retornadas pela busca em situações problemáticas passadas equivalentes se estabeleceu como o objetivo principal do *framework* iDE. A formalização e recuperação do conhecimento tácito foi uma maneira adotada para se conseguir essa finalidade.

Para se tomar decisões apropriadas, os responsáveis por elas precisam demonstrar competência, motivação e ter acesso a informações pertinentes de qualidade para se chegar sentença ideal. E para isso é necessária a conversão dos conhecimentos tácitos e explícitos em informação efetiva e útil. Nesse contexto, as técnicas de Inteligência Artificial aqui utilizadas apresentaram-se como fundamentais para a execução dessa tarefa.

As funções dos agentes de *software* tornaram possível o reaproveitamento de sugestões anteriores para compor novas soluções para problemáticas parecidas. A modelagem das informações pertinentes ao *framework* e ao estudo de caso proposto, foi viabilizada pela ontologia desenvolvida, a ontoCED. A abordagem de uma estrutura ontológica para mapeamento das peculiaridades intrínsecas ao objeto do estudo de caso auxiliou nas tarefas específicas ao ciclo do SECI: a Socialização, a Externalização, a Combinação e a Internalização do conhecimento em um ambiente de gestão.

As contribuições desta tese podem ser assim sumarizadas:

- 1) As técnicas de IA (CBR, MAS e Ontologias) mostraram-se úteis para recuperar e manipular os conhecimentos explícitos e implícitos.

2) A recuperação de soluções anteriores e o seu reaproveitamento em problemas novos apresentou-se como uma boa estratégia para solução de dificuldades comuns aos cursos à distância, na opinião de usuários especialistas.

3) A abordagem das etapas do Modelo SECI contribuíram para os direcionamentos do processo de recuperação, tratamento e apreensão do conhecimento do *framework* iDE.

4) As soluções apresentadas pelo *framework* iDE poderão ser aproveitadas como sugestões de intervenções passíveis de aplicação em cenários de EaD, conforme constatação de usuários especialistas.

Desta forma, os resultados obtidos potencializaram o conhecimento baseado em experiências anteriores para solucionar novos problemas. As respostas indicam sugestão de ações interventivas, que são as soluções propostas pelas informações recuperadas e que podem ser aplicadas por mediadores de cursos à distância.

A partir dos experimentos com o *framework* pode-se perceber que, em seu domínio, o conhecimento é continuamente convertido e criado à medida que os usuários utilizam, colaboram, interagem e aprendem. Assim, conclui-se ser uma alternativa factível o uso do *framework* iDE para orientar a resolução de problemas a partir de situações anteriores e semelhantes.

VIII.2 Propostas de trabalhos futuros

A proposta do *framework* iDE abrangeu o uso de informações vindas de casos passados, opiniões de especialistas e dados de um LMS para recuperar soluções já usadas com sucesso anteriormente. O protótipo inicial contou com uma base inicial e estática com informações levantadas pela autora a partir de conversas com especialistas. Os dados oriundos do LMS Moodle foram extraídos e armazenados também nessa base de dados.

Portanto, para aperfeiçoamento do *framework* aqui apresentado, são sugeridas as seguintes propostas de trabalhos futuros:

- 1) Criação de um módulo na *interface* WM que viabilize o cadastro de novos casos e novas opiniões de especialistas;
- 2) Inserção, na arquitetura geral, de um componente específico para prover o acesso direto ao LMS para uso dos aplicativos no próprio ambiente, possibilitando a extração de informações de forma *online* e atualizadas com as turmas oferecidas no momento.

- 3) Melhoria no projeto visual da *interface* WM, pois este foi o item com menores notas na avaliação geral.
- 4) Ampliação da abrangência das funções de auxílio ao aprendiz: pode-se permitir ao usuário do *framework* a possibilidade de avaliação das respostas em forma de escala de valores ou de forma comparativa, com o objetivo de se detectar a intensidade da qualidade dos resultados retornados.

Essas propostas são viáveis de implementação a partir das informações contidas neste trabalho, considerando as limitações do modelo e da arquitetura de referência concebidas e de acordo com as exigências do domínio de aplicação.

Para fins de expansão científica desta tese sugerem-se as seguintes questões:

- 1) Acompanhamento da trilha de aprendizagem por turma, para auxiliar no monitoramento do desempenho dos alunos.
- 2) Implementar as funções de versionamento da ontoCED a fim de acompanhar a dinâmica das atualizações (*tracking*). Inserir na ontologia proposta a abrangência e tratamento dos casos tratados pelo CBR *agent*.
- 3) Acompanhamento e avaliação das etapas de transformação do conhecimento em explícitos, para fins de comparação com as fases implementadas no *framework*.

O *framework* iDE buscou, em sua essência, formalizar o conhecimento tácito e agregá-lo às informações já armazenadas em base de dados diferentes, como um ambiente virtual ou um banco de dados com opiniões de especialistas. O mapeamento das atividades do arcabouço relacionadas aos quadrantes do Modelo SECI permitiu uma visão das funções de acordo com o seu papel na criação e transferência do conhecimento. Então, pode-se concluir que as ações do *framework* proposto contribuíram para a transformação e apreensão do conhecimento a partir das práticas de identificação, classificação e combinação de conhecimentos distintos.

A sistematização do processo de busca por soluções para problemas recorrentes orientou a criação dos mecanismos de ações do *framework* iDE. Assim, as possibilidades de utilização individual e a combinação desses recursos trouxeram ao usuário respostas mais abrangentes e práticas, para aplicação em situações de gestão em EaD.

Referências

- AAMODT, A. and PLAZA, E. "Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches". AI Communications. IOS Press, Vol. 7: 1, pp. 39-59, 1994.
- AGUTI, B., WILLS, G. B. and WALTERS, R. J. "An evaluation of the factors that impact on the effectiveness of blended e-learning within universities". In: Proceedings of the International Conference on Information Society (i-Society), pp.117-121. London, 2014.
- ALAVI, M. and LEIDNER, D. E. "Review: Knowledge Management and Knowledge Management Systems: Conceptual foundations and research issues", MIS quarterly, p. 107-136, 2001.
- ALONSO, E. "AI and Agents - State of the Art". AI Magazine, Volume 23, Number 3, pp. 25-29. 2002.
- ANDREEVA, T. and IKHILCHIK, I. "Applicability of the SECI model of knowledge creation in Russian cultural context: theoretical analysis". Knowledge and Process Management, 18(1), 56-66. John Wiley and Sons Ltd, 2011.
- ANTUNES, O., TELES LUCENA, K. K., OLIVEIRA, E. H. T., GUSMÃO, T. H. Y. NOZAWA, E. H. and BRODBECK, W. "LMS Monitor: An application for academic and performance monitoring of students in LMS". In: Proceedings of the XXI Conferência Internacional sobre Informática na Educação - TISE 2016, pp. 45-52, Santiago, 2016.
- AZEVEDO, D., VACCARO, G. L. R., LIMA, R. C. S. e SILVA da, D. O. "Um estudo de simulação computacional para a análise de perfis de aprendizagem organizacional." Production Journal, vol.20, n.4, p.639-659, 2010.
- BARBOSA, R. M. (org.). "Ambientes Virtuais de Aprendizagem". Artmed, Porto Alegre, 2005.
- BARCHINOL, R., GUTIÉRREZ, J. M., OTÓN, S., MARTINNEZ, J. J., GUTIÉRREZ, J. A., HILERA, J. R., JIMÉNEZ, M. L. and PAGES, C. "An Example of Application in Mobile Learning Technologies". In: Proceedings of the First International Conference on Ubiquitous Computing, Madrid, 2006.
- BEHAR, P. A., PASSERINO, L. e BERNARDI, M. "Modelos pedagógicos para educação a distância: pressupostos teóricos para a construção de objetos de aprendizagem. RENOTE: Revista Novas Tecnologias na Educação, Porto Alegre, v. 5, pp. 25-38. 2007.
- BEHAR, P. A. "Constructing Pedagogical Models For E-learning". International Journal of Advanced Corporate Learning (iJAC), v. 4, p. 16-22, 2011.
- BEHERA. S. K. "M-Learning: A new learning paradigm". In: International Journal on New Trends in Education and Their Implications. Volume: 4 Issue: 2 Article: 03, 2013.

- BIOLCHINI, J., MIAN, P. G., NATALI, A. C. C. and TRAVASSOS, G. H. “Systematic Review in Software Engineering”. Relatório Técnico, COPPE/UFRJ, 2005. Documento disponível em: <www.cin.ufpe.br/~in1037/leitura/systematicReviewSE-COPPE.pdf>.
- BITTENCOURT, I. TADEU, M. and COSTA, E. “Combining AI Techniques into a Legal Agent-based Intelligent Tutoring Systems”. In: Proceedings of the 18th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering. (SEKE 2006), San Francisco, USA, 2006.
- BITTENCOURT, I. and COSTA, E. “Towards an Ontology-based Framework for Building Multiagent Intelligent Tutoring Systems”. SEAS 2007, III Workshop on Software Engineering for Agent-Oriented Systems, 2007.
- BONEU, J. “Plataformas abiertas de e-learning para el soporte de contenidos educativos abiertos”. Revista de Universidade y Sociedad del conocimiento, 4 (1), pp. 36-47, 2007. Disponível em: <<http://www.uoc.edu/rusc/4/1/dt/esp/boneu.html>>. Acesso em: 24 fev. 2016.
- BRATMAN, M. E. “What is intention? In Intentions in Communication (eds P. R. Cohen, J. L. Morgan and M. E. Pollack), pp. 15-32. MIT Press, Cambridge, MA, 1990.
- BREMGARTNER, V., NETTO, J. F. M. and MENEZES, C. “Using Agents and Open Learner Model Ontology for Providing Constructive Adaptive Techniques in Virtual Learning Environments”. In: Proceedings of 14th Ibero-American Conference on Artificial Intelligence (IBERAMIA), pp. 625-636. Santiago, 2014.
- CARVALHO, M. J. S, NEVADO, R. A. e MENEZES, C. S. “Arquiteturas Pedagógicas para Educação a Distância: Concepções e Suporte Telemático”. Anais - XVI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, 1, 362-372, Juiz de Fora, 2005.
- CASANY, M. J., ALIER, M., GALANIS, N., MAYOL, E. and PIGUILLEM, J. “Analyzing Moodle/LMS logs to measure mobile access”. In: Proceedings of the Sixth International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies. UBICOMM 2012, Barcelona, 2012.
- CED. “Centro de Educação a Distância da Universidade Federal do Amazonas”. Disponível em: <<http://www.ced.ufam.edu.br/>>. Último acesso em novembro de 2017.
- CHUNGUANG C., YUNLONG Z., HAIFENG, G. and XIAOMING, Z. “Study on electronic commerce recommendation system by CBR and AIS”. Intelligent Control and Automation. WCICA 2008. 7th World Congress on. pp.2110-2114, 25-27, Chongqing, 2008.
- CHUNLI Y., HAO, L. “Study on product knowledge management for product development”. Intelligent Control and Automation. WCICA 2008. 7th World Congress on, pp.7119-7124, 25-27, Chongqing, 2008.
- COPPIN, B. “Inteligência Artificial”. LTC. Rio de Janeiro, 2010.

- CORRÊA, J. “Educação a distancia – orientações metodológicas”. Artmed, 2007.
- COSTA, E., PERKUSICH, A. and FERNEDA, E. “From a tridimensional view of domain knowledge to multi-agents tutoring systems”. In: Oliveira F.M. (eds) *Advances in Artificial Intelligence*. SBIA 1998. *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 15, pp. 61–72. Springer, Berlin, Heidelberg, 1998.
- DAVIS, F. D. “Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology”. *MIS Quarterly*, 13(3), 319-340, 1989.
- DIAS, M. C., ZWICKER, R. VICENTIN, I. C. “Análise do Modelo de Aceitação de Tecnologia de Davis”. *SPEI*, Curitiba, v.4, nº 2, pp.15-23, 2003.
- DILLENBOURG, P. and SELF, J. “A framework for learner modelling”. *Interactive Learning Environments*, 1992, 2 (2), 111-137, 1992.
- DUNG, P. Q. and FLOREA, A. M. “An Architecture and a Domain Ontology for Personalized Multi-agent e-Learning Systems”. In: *Proceedings of the Third International Conference on Knowledge and Systems Engineering*. Hanoi, Vietnam, 2011.
- FERNANDES, A. M. da R. “Inteligência Artificial: noções gerais.” [S.l.]: Visual Books, 2005.
- FEW, S. “Information dashboard design: The effective visual communication of data”. Sebastopol, O’Reilly Media, CA, USA, 2006.
- FINN, A. and BUCCERI, M. “A case study approach to blended learning”. Los Angeles: Centra Software. Retrieved March 23, 2008.
- GARRIDO, J. L., Hurtado, M. V., Noguera, M. and Zurita, J. M. (2008) “Using a CBR approach based on ontologies for recommendation and reuse of knowledge sharing in decision making”. In: *Proceedings of the 8th International Conference on Hybrid Intelligent Systems*. IEEE 2008, Barcelona, Spain.
- GERRING, 2004. “What is a case study and what is it good for?”. *American Political Science Review*, v. 98, pp. 341-354, 2004.
- GOMÉZ-PÉREZ, A., FERNÁNDEZ-LÓPEZ, M. and CORCHO, O. “Ontological Engineering with examples from the areas of Knowledge Management, e-Commerce and the Semantic Web”. Springer-Verlag London Limited, 2004.
- GONZALES, M. “Fundamentos da Tutoria em Educação a Distância”. São Paulo: Editora Avercamp, 2005.
- GORDON, J. R. and GORDON, S. R. “Sistemas de Informação – uma abordagem gerencial”. 3ª Edição. Editora LTC, Rio de Janeiro, 2006.

- GRUNINGER, M. and USCHOLD, M. “Ontologies: Principles, methods and applications”. Journal: The knowledge engineering review. Volume 11, pp. 96-136. Cambridge University Press, 1996.
- GUARINO, N. “Understanding, building and using ontologies”. International Journal of Human and Computer Studies, 45 (2/3), 2 1997.
- GUIZZARDI, G. “Desenvolvimento para e com reuso: Um estudo de caso no domínio de vídeo sob demanda”. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo, 2000.
- HAYES-ROTH, F. “Rule-based systems”. Communications of the ACM, vol. 28, no. 9, pp. 921-932, September 1985.
- HORN, M. B. e STAKER, H. “Blended: usando a educação disruptiva para aprimorar a educação”. Editora Penso, Porto Alegre, 2015.
- HOSSEINI, S. M. “The Application of SECI Model as a Framework of Knowledge Creation in Virtual Learning”. Asia Pacific Education Review. v. 12, pp.263 – 270, 2011.
- HVORECKY, J. “Applying the SECI Model and Bloom’s Taxonomy to the preparation of Knowledge Management Specialists”. In: Proceedings of The Knowledge management and Enterprise Solutions Conference, 2012.
- ISOTANI, S. e BITTENCOURT I. I. “Dados abertos e conectados”. Novatec, São Paulo, 2015.
- KASSEM, S., HAMMAMI, S. and ALHOUSARU, T. “Applying SECI Model to Encourage Knowledge Creation in e-learning Environment”. International Journal of Economic Research, 12(4), pp.1601 – 161, 2015.
- KENSKI, V. M. “Educação e tecnologia: O novo ritmo da informação”. 8ª ed. Campinas/ SP: Papirus. 2012. Coleção Papirus Educação.
- KITCHENHAM, B. “Procedures for Performing Systematic Reviews”. Joint Technical Report TR/SE-0401. Software Engineering Group, Department of Computer Science, Keele University, Australia, 2004.
- KITCHENHAM, B. and CHARTERS, S. “Guidelines for Performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering”, versão 2.3. Relatório Técnico, Evidence-Based Software Engineering (EBSE), 2007.
- KOLODNER, J. L. “Case-Based Reasoning”. Morgan Kaufmann Pub., Inc. 1993.
- KOUNINEF B., TLEMSANI, S. M. and LOTFI, A. “LMS INTTIC System using Mobile Technology and Podcasting in Blended Learning”. In: Proceedings onf the International Conference on Education and e-Learning Innovations. IEEE ICEELI, pp.1-6. Sousse, 2012.

- LAKATOS, E. M. e MARCONI, M.A. "Fundamentos de metodologia científica". 6ª ed. São Paulo: Atlas, 2006.
- LIKERT, R. "A Technique for the Measurement of Attitudes". Archives of Psychology, 140: pp. 1-55, 1932.
- MAFRA, S. N. and TRAVASSOS, G. H. "Estudos Primários e Secundários Apoiando a Busca por Evidência em Engenharia de Software". Relatório Técnico, PESC - COPPP/UFRJ, 2006. Disponível em: <www.cos.ufrj.br/uploadfiles/1149103120.pdf>.
- MAHMOUD, Q. H. and MAAMAR, Z. "Applying the MVC design pattern to multi-agent systems". Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, n. May, p. 2420-2423, 2007.
- MANDALA, S., ABDULLAH, A. H. and ISMAIL, A. S. "A Survey of E-Learning Security". In: Proceedings of International Conference on ICT for Smart Society (ICISS), pp. 1-6, Jacarta, 2013.
- MARTÍN, A. and LEÓN, C. "An intelligent e-learning scenario for knowledge retrieval". In: Proceedings of the IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), Malaysia, 2012.
- MENDES, W., GIRARDI, R and LEITE, A. "Ontology-based architecture of a CBR agent". In: Proceedings of the 8th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI). Lisboa, 2013.
- MENOLLI, A., "Ambiente Colaborativo Semântico Voltado à Aprendizagem Organizacional para Empresas de Desenvolvimento de Software", Tese de Doutorado, 2013, PUC-PR, Paraná.
- MOODLE: Open-source Learning Platform. Disponível em <<https://moodle.org/>>. Último acesso em novembro de 2017.
- MOORE, J. L. DICKSON-DEANE, C., GALYEN, K. "e-Learning, online learning, and distance learning environments: Are they the same?". Internet and Higher Education 14 129–135. Elsevier, 2011.
- MOORE, M. G. and KEARSLEY, G. "Educação a Distância: uma visão integrada". São Paulo: Thompson Learning, 2007.
- MORAIS, E. A. M. e AMBRÓSIO, A. P. L. "Ontologias: conceitos, usos, tipos, metodologias, ferramentas e linguagens." Relatório Técnico, UFG, Goiânia, 2007.
- MUSTAPHA, S. S.M.F.D. "Towards Building Monolithic Computational Platform for SECI Model". International Journal of Intelligence Science, v.6, pp.29-41, 2016.
- NAISMITH, L., LONSDALE, P., VAVOULA, G. and SHARPLES, M. "Literature review in mobile technologies and learning". FutureLab: Innovation in Education, Scientific Report, 2004.

- NASCIMENTO, P. B. do. R. “Recomendação de ação pedagógica no ensino de introdução à programação por meio de raciocínio baseado em casos”. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Informática, Instituto de Computação, Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2018.
- NOKELAINEN, P. “An empirical assessment of pedagogical usability criteria for digital learning material with elementary school students”. *Journal of Educational Technology & Society*, 9 (2), 2006.
- NONAKA, I. and KONNO, N. “The concept of Ba: building a foundation for knowledge creation. *California Management Review*”. v. 40, n. 3, pp. 40-55, 1998.
- NONAKA, I. and TAKEUCHI, H. “The Knowledge-Creating Company, 17th ed. Oxford Oxford University Press, 1995.
- NONAKA, I. and TEECE, D. J. “Managing Industrial Knowledge: Creation, Transfer and Utilization”. Londres, SAGE Publications, 2001.
- NONAKA, I., TOYAMA, R. “The knowledge-creating theory revisited: Knowledge creating as a synthesizing process. *Knowledge Management research & practice*”. v.1. pp. 2-10, 2003.
- NONAKA, I., TOYAMA, R. and KONNO, N. “SECI, Ba and Leadership: a Unified Model of Dynamic Knowledge Creation”. *Long Range Planning*, v. 33, n.1 (2/1/), pp. 5-34, 2000.
- NOY, N. F., FERGERSON, R. and MUSEN, M. A. “The knowledge model of Protégé-2000: Combining interoperability and flexibility”. In: *Proceedings of the 2th International Conference on Knowledge Engineering and Knowledge Management (EKAW'2000)*. Juan-les-Pins, France, 2000.
- NOY, N. F. and MCGUINNESS, D. L. “Ontology Development 101: A guide to creating your first Ontology”. SMI Technical Report SMI-2001-0880, Stanford University, March, 2001.
- O'BRIEN, J. A. “Sistemas de Informação e as decisões Gerenciais na Era da Internet”. 3ª Edição. Editora Saraiva, São Paulo, 2011.
- OLIVEIRA, E. H. T. de, TELES LUCENA, K. K., NOZAWA, E. H., LUCENA, W.: “Distance Education with remote poles: an example from the Amazon region”. In: *Frontiers in Education (FIE)*. Seattle, WA, 2012.
- PEREIRA, A. C. “Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVA) – em diferentes contextos”. Editora Ciência Moderna, Rio de Janeiro, 2007.
- PRESSMAN, R. S. “Engenharia de Software - Uma Abordagem Profissional”. 7ª Edição. McGraw-Hill - Artmed, 2011.

- RAMOS, D., MONTEVERDE, I., NASCIMENTO, P., AMARAL, G. e OLIVEIRA, E. H. T. "Um modelo para Trilhas de Aprendizagem em um Ambiente Virtual de Aprendizagem". In: Anais do XXVIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE), Recife, 2017.
- RECIO-GARCÍA, J. A., DÍAZ-AGUDO, B. and GONZALÉZ-CALERO, P. "¡COLIBRI2 Tutorial". Group for Artificial Intelligence Applications, v.1.1, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 2008.
- RODRÍGUEZ-ELIAS, O.M., MARTÍNEZ-GARCÍA, A. I., VIZCAÍNO, A., FAVELA, J., and PIATTINI, M. "A framework to analyze information systems as knowledge flow facilitators". Information and Software Technology, v. 50, n. 6, p. 481-498, 2008.
- ROSINI, A. M. "As Novas Tecnologias da Informação e a Educação a Distância". Editora Thomson Learning, São Paulo, 2007.
- RUSSELL, S. and NORVIG, P. "Artificial Intelligence – A Modern Approach". Third Edition. Pearson, 2009.
- SACCOL, A., SCHLEMMER, E. and BARBOSA, J. "M-Learning e U-Learning: novas perspectivas de aprendizagem móvel e ubíqua". São Paulo, Pearson Education, 2010.
- SACCOL, A., SCHLEMMER, E. and BARBOSA, J. "Mobile Learning in organizations: lessons learned from two case studies". International Journal of Information and Communication Technology Education (IJICTE). Volume 7 (3), pp.11-24, 2011.
- SALES, L. F. "Ontologias de Domínio – estudo das relações conceituais e sua aplicação". Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Ciência da Informação. Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2006.
- SANTOS J., G. P., COSTA, E. B. e FECHINE, J. M. "Raciocínio Baseado em Casos para Auxílio a Alunos na Resolução de Problemas por Analogia – Uma abordagem para Representação e Recuperação de Casos". In: Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, pp.593-602. Fortaleza, 2008.
- SANTOS, D. B. G., SPÍNOLA, M. M. e SANTOS, J. C. "Aplicação de modelo de framework de procedimentos para criação e gestão do conhecimento em aplicações Web". In: Anais do XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, pp.1-9. Rio de Janeiro, 2008.
- SARMIENTO, C., DUARTE, O., BARRERA, M. and SOTO, R. "Semi-Automated Academic Tutor for the Selection of Learning Paths in a Curriculum: An Ontology-Based Approach". In: Proceedings of the 8th International Conference on Engineering Education (ICEED), Selangor, Malaysia, 2016.
- SCHNEIDER, K. "Experience and Knowledge Management in Software Engineering Heidelberg", Springer, 2009.
- SCHANK, R. C. "Dynamic Memory: A Theory of Learning in Computers and People". New York: Cambridge University Press, 1982.

- SERRÃO, T., BRAZ, L. M., PINTO, S. C. C. S. and CLUNIE, G. “An Architecture based on Web Services for Mobile Social Software”. In: Proceedings of the Euro American Conference on Telematics and Information Systems (EATIS), pp. 1-4, Valencia, 2012.
- SHARPLES, M., TAYLOR, J. and VAVOULA, G. “Towards a theory of mobile learning”. In: Proceedings of the International Conference mLearn, 1(1), pp.1–9. Cape Town, 2005.
- SILVA, A. L. M. R. e DIAS, D. S. “Influência do Treinamento de Usuários na Aceitação de Sistemas ERP no Brasil”. In: Anais do 30º Encontro da ANPAD, Salvador, 2006.
- SILVA, J. S., TELES LUCENA, K. K. e OLIVEIRA, E. H. T. “WebMonitor: uma ferramenta para monitoramento e acompanhamento de cursos em um AVA”. In: Proceedings of the IV Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE). Maceió, 2015.
- STRUBE, G. “The role of cognitive science in knowledge engineering”. In: Proceedings of Contemporary knowledge engineering and cognition: First joint Workshop, Springer, 1991.
- SUZUKI, Y. and TOYAMA, R. “A Self-Evaluation Method of SECI Process in Knowledge Management”. In: Proceedings of the IEEE International Engineering Management Conference. pp. 491-494, Singapore, 2004.
- TELES LUCENA, K. K., GUSMÃO, T. H. Y., ABREU, A. e OLIVEIRA, E. H. T. “Uma arquitetura de agente RBC baseada em ontologias para suporte a EaD”. In: Anais do XXVIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE), Recife, 2017.
- TELES LUCENA, K. K., SILVA, J. S., FROTA, V. B., OLIVEIRA, E. H. T. and GADELHA, B. F. “MobiMonitor: a Mobile App for Monitoring Distance Courses in the Amazon Region”. In: Proceedings of the IEEE Frontiers in Education Conference. Volume 1, pp. 2126-2133, Madrid, 2014a.
- TELES LUCENA, K. K., SILVA, J. S., OLIVEIRA, E. H. T., GADELHA, B. F. e LUCENA FILHO, W. “Um Sistema Multiagente para Suporte a Mobile Learning em Educação a Distância”. In: Proceedings of the XIX Congresso Internacional de Informática Educativa (TISE). Volume 10, pp. 226-245. Fortaleza, 2014b.
- TELES LUCENA, K. K., MOURA, L., NASCIMENTO, S., OLIVEIRA, A. R., SOUZA, G. e LUCENA, W. “O desafio da educação a distância na Amazônia: Um Estudo de Caso”. In: Anais do I Simpósio Internacional de Educação a Distância (SIED: ENPED). ISSN: 2316-8722. São Carlos. 2012.
- VAN HEIJST, G., SCHREIBER, A.T. and WIELINGA, B. J. “Using explicit ontologies in KBS development”. International Journal of Human Computer Studies, [S.l.], v. 46, n. 2-3, pp.183-192, 1997.
- VENKATESH, V. and BALA, H. “Technology Acceptance Model 3 and a Research Agenda on Interventions”. Decision Science, 39(2), 273-312, 2008.

- VENKATESH, V. and DAVIS, F. D. "A Theoretical Extension of the Technology Acceptance Model: Four Longitudinal Field Studies". *Management Science*, 46(2), 186-204, 2000.
- VIANA, D. "Facilitando a Aprendizagem Organizacional em Melhoria de Processo de Software". Tese de Doutorado em Informática. PPGI/ICOMP/UFAM, 2015. Manaus.
- WANG, Y. "The Application of SECI Model Theory in Ideological Teaching". *Computer Modelling & New Technologies*, v.18 (12c), pp. 689-691, 2014.
- WANGENHEIM, C. G. V. e WANGENHEIM, A. V. "Raciocínio baseado em casos". São Paulo: Editora Manole, 2003.
- WANGENHEIM, C. G. V., WANGENHEIM, A. V. e RATEKE, T. "Raciocínio baseado em casos – com software livre e aplicativos móveis". 2ª edição atualizada. Florianópolis: Editora Bookness, 2013.
- WATSON, I. "Applying knowledge management: techniques for building corporate memories". [S.l.]: Morgan Kaufmann, 2003.
- WAZLAWICK, R. S. "Metodologia de pesquisa para Ciência da Computação". 2ª Edição. Campus Elsevier, 2014.
- WHITELOCK, D. and JELFS, A. "Special Issue on Blended Learning". Editorial. *Journal of Educational Media*, Volume 28 (2-3), pp 99-100. 2003.
- WOOLDRIDGE, M. "An Introduction to Multiagent Systems". Ed. Wiley, Second Edition, England, 2009.
- YANG, L. and YAN, Z. "Personalized recommendation for learning resources based-on case reasoning agents". In: *Proceedings of the International Conference on Electrical and Control Engineering*, pp. 6689–6692, 2011, Yichang, China.
- YIN, R. K. "Estudo de caso: planejamento e métodos", 4ª Edição. Porto Alegre, Bookman, 2010.

Apêndice A – Revisão Sistemática de Literatura

A.1 RSL: Modelos de aprendizagem por tecnologia e LMS

A Revisão Sistemática de Literatura (RSL) consiste em um levantamento rigoroso e metódico de pesquisas e estudos que procuram caracterizar um assunto ou uma tecnologia a partir da identificação, avaliação e interpretação dos resultados obtidos através de um processo pré-definido de coleta de dados (KITCHENHAM, 2004) (KITCHENHAM e CHARTERS, 2007). Segundo Biolchini (2005), a RSL é um tipo de estudo secundário que tem por objetivo identificar tópicos ou questões de pesquisa ou fenômenos de interesse. Os estudos secundários exigem precisão e confiabilidade para direcionar de forma eficiente a investigação científica (MAFRA, 2006).

Os primeiros estudos informais sobre os modelos de tecnologia utilizados em um LMS, que buscavam gerenciar informações de ordem pedagógica e administrativa de uma instituição de ensino à distância, levaram à realidade da introdução de novas tecnologias de acesso à informação por parte dos alunos, como uma forma de expansão de interação com o LMS. Estes novos métodos, que visam melhorar a interação e comunicação entre mediadores, professores e alunos no contexto dos ambientes virtuais, baseiam-se principalmente na utilização de aplicativos específicos para equipamentos móveis, que integram aos recursos oferecidos pelo LMS.

Com a propagação das tecnologias móveis e sem fio (TIMS) no cotidiano das pessoas e o conseqüente avanço da utilização de *smartphones* e *tablets*, percebe-se a oportunidade e a necessidade de se adaptar tais equipamentos para um cenário educacional. Nesse contexto, o uso de dispositivos móveis vem sendo gradativamente introduzido nos ambientes virtuais como mais um recurso de pró-atividade e interação no contexto da aprendizagem apoiada por tecnologia e, assim, contribuindo para a difusão dos modelos de aprendizagem que têm como base as TICs. Diversos aplicativos vem sendo desenvolvidos com o objetivo de inserir nos LMS elementos como dinamicidade e praticidade oferecidas pelos *smarthphones* e *tablets*. Vantagens como facilidade de acesso ao conteúdo dos cursos virtuais e maiores possibilidades de cooperação e colaboração, trazidas por esses dispositivos, colocam-se como variáveis fundamentais para a popularização de modalidades educacionais recentes, como o *mobile learning* e o *blended learning*.

Por essas razões, a fim de se resumir formalmente o que vem sendo estudado e os trabalhos mais importantes que apresentam modelos voltados para o aprendizado baseado em tecnologias, móveis ou não, e suas implementações em ambientes virtuais de aprendizagem, foi realizada uma RSL com o objetivo de identificar as pesquisas já realizadas nesse domínio.

Tal revisão apresentou-se com uma estratégia adequada à realização do levantamento sobre a utilização desses modelos de aprendizagem em modalidades diferentes de ensino, a partir de adaptação de recursos em um LMS.

As etapas de seleção dos artigos foram elaboradas a partir de características baseadas nos tipos de modelos de tecnologia de aprendizagem e de acordo com as propostas desenvolvidas nos trabalhos inicialmente pesquisados.

A RSL foi implementada nos dois primeiros anos do período de doutorado (2014 e 2015). A expressão (ou *string*) de busca (vide Apêndice A) foi executada nas máquinas de busca das bibliotecas digitais escolhidas: IEEE Xplorer Digital Library¹⁷ e Scopus¹⁸. Os artigos foram selecionados seguindo-se os critérios de inclusão e exclusão estabelecidos segundo as diretrizes da revisão.

A.2 Lista de Controle e Expressão de busca

Antes de ser executada a revisão sistemática de literatura proposta neste documento, foi definida uma lista inicial de artigos para controle e validação da expressão a ser executada nas máquinas de busca das bases digitais escolhidas. Esta lista de controle foi montada a partir de uma pesquisa informal sobre artigos que tratassem de aprendizado móvel (*m-learning*) e ambientes virtuais de aprendizagem (LMS). Como resultado desta busca informal foram selecionadas 12 publicações. A partir das palavras-chave dessas publicações foi montada a expressão a ser usada como *string* de busca nas bibliotecas digitais Scopus e IEEE. Vale ressaltar que todos os artigos que compõem o grupo de controle foram retornados nas buscas e classificados pelos filtros definidos. O quadro a seguir deste Apêndice traz a lista das publicações utilizada como grupo de controle usado como referência para as buscas.

¹⁷ <http://ieeexplore.ieee.org>

¹⁸ <http://www.scopus.com>

Publicações da lista de controle

Nº	TÍTULO	AUTOR(ES)	ANO	PALAVRAS-CHAVE
1	A Context-Aware Mobile Learning Model for Web-Based Learning Environments	Hana Sadat Fahim Hashemi; Fatemeh Orooji; Fattaneh Taghiyareh	2012	web-based learning; context; contextaware learning; mobile learning; learning management system
2	Applicability of Mobile Learning Engine-Moodle in Computer Application Course	Mahendra Gupta, Ela Goyal	2011	m-learning, Mobile Learning Engine (MLE), Learning Management System (LMS), Moodle, Computer Applications Program.
3	A Service-oriented Approach towards Context-aware Mobile Learning Management Systems	Philipp Lehsten, Raphael Zender, Ulrike Lucke, and Djamshid Tavangarian	2010	aware computing, service-oriented architecture, mobile computing, e-learning, learn management system
5	Blending student technology experiences in formal and informal learning	K.-W. Lai F. Khaddage; Gerald Knezek	2013	ICT and pedagogy, informal learning, learning ecology, mobile technologies.
4	Developing a Mobile Learning Approach in Platform LMS INTTIC	Kouninef, B; Tlemsani, R	2012	E-learning, m-learning, learning management system, podcasting, Moodle platform
6	Educational techniques comparative study by using combined environment via computer and mobile devices in asynchronous discussion forum	Kiriakos Patriarcheas and Michalis Xenos	2010	asynchronous discussion fora; mobile learning; adult education; educational techniques; modelling

7	Evaluation of mobile assessment in a learning management system.	Zorica Bogdanovic', Dušan Barac', Branislav Jovanic', Snežana Popovic' and Božidar Radenkovic	2013	-
8	Integration of M-learning and LMS: A sustainability approach	Casany, M.J.Alier, M. Barcelo, M.	2012	M-learning; Learning Management Systems; Moodle; sustainability; Information and Communications Technologies for Development
9	M-Learning in University Campus Scenario – Design and Implementation Issues	Saurabh Pal, Srabasti Mukherjee, Prasenjit Choudhury, Subrata Nandi, Narayan C. Debnath	2013	LMS, mLMS, mobile, mobile learning, collaborative learning, wireless communication, WiFi, MANET, SOA.
10	Mobile learning environment with short messaging service: Application to a campus environment in a developing country	Premadasa, H.K. Salinda; Meegama, R. Gayan N	2013	Mobile technology; Mobile networks; learning management systems; Universities; Students; Mobile learning; Short messaging service; Moodle.
11	Moodbile: A Framework to Integrate m-Learning Applications with the LMS	María José Casany, Marc Alier, Enric Mayol, Jordi Piguillem and Nikolas Galanis, Francisco J. García-Peñalvo and Miguel Ángel Conde.	2012	Computers in education, Interoperability, Software Architectures.
12	SOA Initiatives for eLearning: A Moodle Case	Guerrero, M.J.C. Forment, M.A.; Gonzalez, M.A.C.; Penalvo, F.J.G.	2009	Interoperability, SOA, Moodle, OKI, IMS-LTI, mLearning.

A expressão definida (*string*) foi submetida nas máquinas de busca das bibliotecas digitais escolhidas (Scopus e IEEE). A partir dos resultados, essa expressão foi sendo modificada de acordo com as especificidades de cada base. O processo de análise do resultado de cada rodada consistiu em:

- 1) Montagem da expressão inicial, utilizando as palavras-chave escolhidas a partir do grupo de controle.
- 2) Teste da expressão na base de dados (rodada): adaptação da *string* à máquina de busca:
 - a. Ajustes de operadores booleanos (AND, OR, NOT);
 - b. Ajustes de marcadores de expressão como aspas simples (' ') ou duplas (" ") e ponto e vírgula (;).
 - c. Escolha dos campos de dados (filtros) adequados (Abstract, Article, Title-abs-key, Language, Authkey e Subjarea).
- 3) Análise da quantidade e dos artigos retornados na rodada:
 - a. Verificação da quantidade: retornaram muitos artigos? Ou a quantidade foi baixa? Os parâmetros usados para esta análise foram adquiridos de

forma intuitiva a partir da pesquisa inicial para definição da lista de controle.

- b. Com relação aos artigos retornados: os artigos da lista de controle constavam dentre as publicações que retornam?

O processo foi realizado de forma interativa, sendo repetidos os passos 2 e 3 até que o resultado final fosse considerado satisfatório.

Para a base de dados do IEEE foi necessária somente 1 rodada e a quantidade de artigos retornados foi 57. Os quadros a seguir detalham todas as rodadas feitas na base de dados Scopus e a quantidade de artigos retornados. Foram ao todo 6 (seis) rodadas até que se chegasse à quantidade de 148 publicações.

Rodadas com a expressão de busca na IEEE

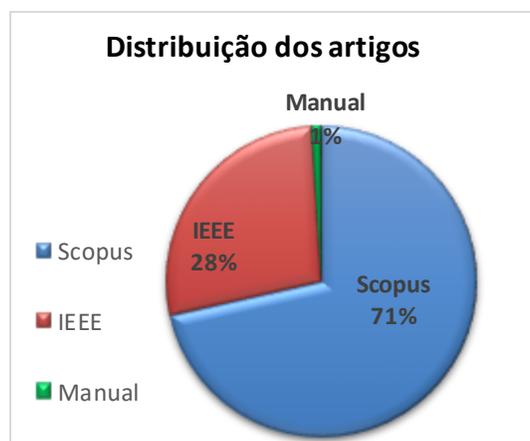
Rodada N°	STRING BUSCA	DATA	QTDE
1ª	("learning management system" OR "LMS" OR "learning management systems" OR "course management system" OR "CMS" OR "Moodle" OR "Moodle Platform") AND (m-learning OR "mobile-learning" OR "mobile learning")	03/09/2014	148

Rodadas com a expressão de busca na SCOPUS

Rodada N°	STRING BUSCA	DATA	QTDE
6ª	TITLE-ABS-KEY("learning management system" OR "learning management systems" OR "Learning Management System" OR "LMS" OR "Learning management systems" OR "Moodle" OR "CMS" OR "course management system" OR "Moodle platform") AND TITLE-ABS-KEY("m-learning" OR "M-learning" OR "Mobile learning" OR "M-Learning" OR "mobile learning") AND (LIMIT-TO(LANGUAGE,"English")) AND (EXCLUDE(DOCTYPE,"ch"))	05/03/2014	148
5ª	(TITLE("learning management system" OR "learning management systems" OR "Learning Management System" OR "LMS" OR "Learning management systems" OR "Moodle" OR "CMS" OR "course management system" OR "Moodle platform") OR ABS("learning management system" OR "learning management systems" OR "Learning Management System" OR "LMS" OR "Learning management systems" OR "Moodle" OR "CMS" OR "course management system" OR "Moodle platform") OR AUTHKEY("learning management system" OR "learning management systems" OR "Learning Management System" OR "LMS" OR "Learning management systems" OR "Moodle" OR "CMS" OR "course management system" OR "Moodle platform")) AND (TITLE("m-learning" OR "M-learning" OR "Mobile learning" OR "M-Learning" OR "mobile learning") OR ABS("m-learning" OR "M-learning" OR "Mobile learning" OR "M-Learning" OR "mobile learning") OR AUTHKEY("m-learning" OR "M-learning" OR "Mobile learning" OR "M-Learning" OR "mobile learning")) AND LANGUAGE(english) AND SUBJAREA(comp OR eart OR engi OR math OR busi) AND (LIMIT-TO(SUBJAREA, "COMP") OR LIMIT-TO(SUBJAREA, "SOCI"))	07/11/2014	101
4ª	(TITLE("learning management system" OR "learning management systems" OR "Learning Management System" OR "LMS" OR "Learning management systems" OR "Moodle" OR "CMS" OR "course management system" OR "Moodle platform" OR "Learning environment") OR ABS("learning management system" OR "learning management systems" OR "Learning Management System" OR "LMS" OR "Learning management systems" OR "Moodle" OR "CMS" OR "course management system" OR "Moodle platform" OR "Learning environment") OR ABS("learning management system" OR "learning management systems" OR "Learning Management System" OR "LMS" OR "Learning management systems" OR "Moodle" OR "CMS" OR "course management system" OR "Moodle platform" OR "Learning environment") OR ABS("learning management system" OR "learning management systems" OR "Learning Management System" OR "LMS" OR "Learning management systems" OR "Moodle" OR "CMS" OR "course management system" OR "Moodle platform" OR "Learning environment")	18/10/2014	456

	system" OR "Moodle platform" OR "Learning environment") OR AUTHKEY("learning management system" OR "learning management systems" OR "Learning Management System" OR "LMS" OR "Learning management systems" OR "Moodle" OR "CMS" OR "course management system" OR "Moodle platform" OR "Learning environment")) AND (TITLE("m-learning" OR "M-learning" OR "Mobile learning" OR "M-Learning" OR "mobile learning") OR ABS("m-learning" OR "M-learning" OR "Mobile learning" OR "M-Learning" OR "mobile learning") OR AUTHKEY("m-learning" OR "M-learning" OR "Mobile learning" OR "M-Learning" OR "mobile learning")) AND LANGUAGE(english) AND SUBJAREA(comp OR eart OR engi OR math OR busi) AND (LIMIT-TO(SUBJAREA, "COMP") OR LIMIT-TO(SUBJAREA, "SOCI"))		
3 ^a	(TITLE("learning management system" OR "learning management systems" OR "Learning Management System" OR "LMS" OR "Learning management systems" OR "Moodle" OR "CMS" OR "course management system" OR "Moodle platform" OR "Learning environment") OR ABS("learning management system" OR "learning management systems" OR "Learning Management System" OR "LMS" OR "Learning management systems" OR "Moodle" OR "CMS" OR "course management system" OR "Moodle platform" OR "Learning environment") OR AUTHKEY("learning management system" OR "learning management systems" OR "Learning Management System" OR "LMS" OR "Learning management systems" OR "Moodle" OR "CMS" OR "course management system" OR "Moodle platform" OR "Learning environment")) AND (TITLE("m-learning" OR "M-learning" OR "Mobile learning" OR "M-Learning" OR "mobile learning") OR ABS("m-learning" OR "M-learning" OR "Mobile learning" OR "M-Learning" OR "mobile learning") OR AUTHKEY("m-learning" OR "M-learning" OR "Mobile learning" OR "M-Learning" OR "mobile learning")) AND LANGUAGE(english) AND SUBJAREA(comp OR eart OR engi OR math OR busi) AND (LIMIT-TO(SUBJAREA, "COMP") OR LIMIT-TO(SUBJAREA, "SOCI"))	18/10/2014	456
2 ^a	TITLE-ABS-KEY("learning management system" OR "learning management systems" OR "Learning Management System" OR "LMS" OR "Learning management systems" OR "Moodle" OR "CMS" OR "course management system" OR "Moodle platform" OR "Learning environment" AND "m-learning" OR "M-learning" OR "Mobile learning" OR "M-Learning" OR "mobile learning") AND (LIMIT-TO(LANGUAGE, "English"))	15/10/2014	605
1 ^a	TITLE-ABS-KEY("learning management system" OR "learning management systems" OR "Learning Management System" OR "LMS" OR "Learning management systems" OR "Moodle" OR "CMS" OR "course management system" OR "Moodle platform" OR "Learning environment" AND "m-learning" OR "M-learning" OR "Mobile learning" OR "M-Learning" OR "mobile learning") AND (LIMIT-TO(LANGUAGE, "English"))	15/10/2014	605

Foram retornadas 207 publicações ao final da primeira execução da expressão de busca, sendo 148 da Scopus, 57 da IEEE, e 2 acrescentados manualmente, pois estes não retornavam pela filtragem. Em seguida, foram aplicados dois filtros para seleção das publicações.

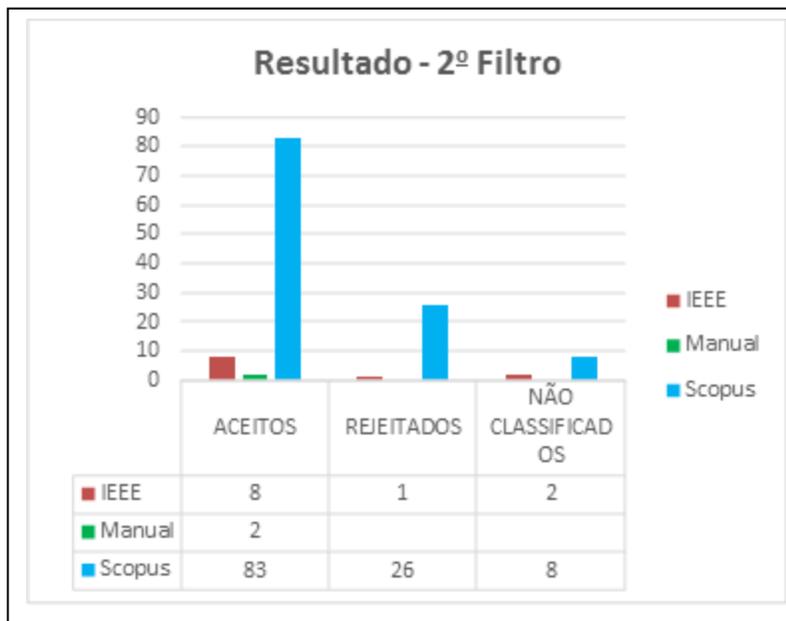


Publicações retornadas da base de dados de cada biblioteca digital

O 1º Filtro consistiu na conferência das publicações retornadas pelas máquinas de busca das bibliotecas digitais e na verificação das regras de aceitação estabelecidas. No 1º Filtro foram inspecionados os seguintes meta-dados dos artigos selecionados: título, palavras-chaves e resumo (*abstract*). A partir da *string* de busca, essas informações foram analisadas individualmente e os artigos foram classificados de acordo com os critérios de inclusão (CI) ou de exclusão (CE). Alguns artigos não puderam ser classificados por não disponibilizarem informações que pudessem identificar sua relevância para esta pesquisa. Os artigos sinalizados como duplicados foram aqueles que retornaram nas duas bases digitais.

No 2º Filtro foram lidos os 130 artigos classificados no 1º Filtro e com *status* “Aceitos”. Os artigos que não estavam disponíveis nas bases de dados e nem foram enviados depois de contato com os autores receberam o status de “Não classificados”. A análise do texto integral das publicações foi orientada pelos critérios de inclusão (CI) e exclusão (CE). A extração de dados relevantes foi executada nos artigos que se encaixaram em pelo menos um critério de inclusão.

Foram selecionados como “Aceitos” um total de 93 artigos, que estão listados no item A.5. A figura a seguir traz a quantidade de publicações retornadas no 2º Filtro, por biblioteca digital.



Quantidade de publicações retornadas no 2º Filtro, por biblioteca digital.

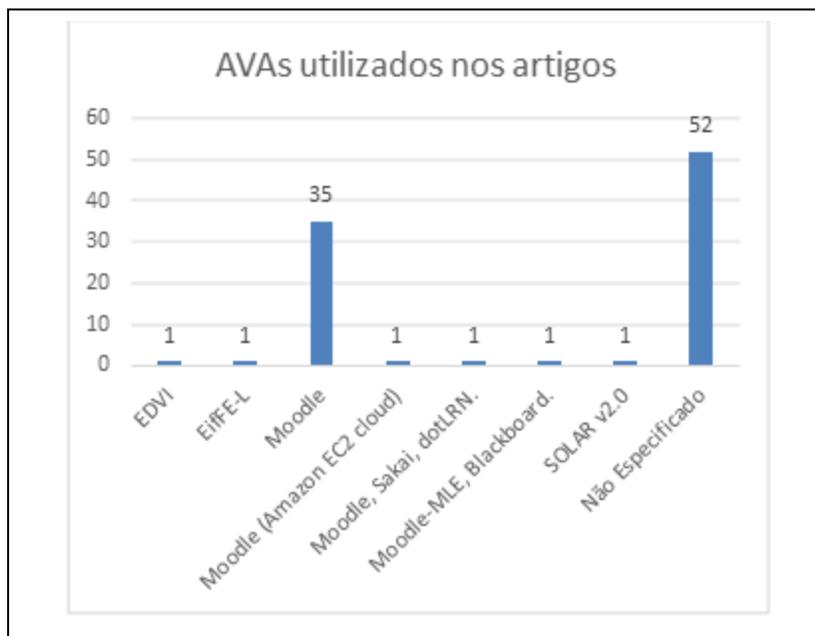
A.3 Tabulação e Análise dos Resultados da RSL

A análise das publicações selecionadas pela RSL foi direcionada a partir das seguintes questões de pesquisa:

(Q1): “**Quais os ambientes virtuais de aprendizagem que possuem adaptações e disponibilidade para dispositivos móveis?**”.

Para início das considerações desta questão, verificou-se primeiramente qual LMS utilizado pela maioria dos trabalhos. Desta forma, a leitura dos 93 artigos retornados pelo 2º Filtro apontou que 55,9% (52 publicações) não especificavam qual o LMS usado nos estudos direcionados a aprendizado móvel, e 37,6% (35 publicações) utilizaram o ambiente Moodle (2015), como ambiente virtual de aplicação. Os demais usaram outros ambientes, sendo que alguns também trabalharam com o Moodle integrado a outros LMS, como pode ser observado na figura a seguir.

Estes dados mostram que na maioria das pesquisas optou-se por usar exclusivamente o LMS Moodle, devido à sua característica de ser um *software* gratuito e de código aberto. As implementações também são facilitadas neste ambiente, pois existem vários *plug-ins* disponíveis para desenvolvedores Moodle. O desenvolvimento de sistemas específicos para *mobile learning* objetivaram, na maioria das vezes, a criação de *apps* ou *plug-ins* para os LMS mostrados no gráfico da figura a seguir.



Distribuição das publicações retornadas no 2º Filtro, por LMS.

Para uma análise mais detalhada da subquestão Q1.1, da questão Q2 e subquestão Q2.1 foram considerados os 26 artigos fichados tendo em vista a apresentação nos mesmos de trabalhos mais específicos sobre os recursos implementados, a abordagem de propostas e o modelo de aprendizagem por tecnologia relacionado.

A subquestão Q1.1 especifica:

(Q1.1): “Quantos trabalhos implementaram recursos (se for possível, citar) para apoiar o processo de ensino-aprendizagem móvel nos ambientes virtuais de aprendizagem?”.

Pode-se analisar este questionamento sob o ponto de vista dos dados do quadro a seguir, que mostram as publicações e os recursos ou customização de *m-learning* implementados para LMS. Em 14 artigos foi utilizado o LMS Moodle, sendo desenvolvidos *plug-ins* ou aplicações de suporte ao aprendizado móvel para este ambiente. Em oito publicações, o LMS utilizado não foi especificado, e foram implementados aplicativos específicos para atividades de *m-learning*, como identificação por GPS ou sensíveis ao contexto. No restante dos artigos, foram apresentados novos LMS, desenvolvidos com interface e recursos para equipamentos móveis.

Publicações com implementação de recurso ou customização para *m-learning*

Artigo	LMS	Recurso	Descrição
P1	Não especificado	Leitor de Código de barra 2D	Leitor de código de barra 2D de realidade aumentada para o sistema de aprendizagem HELLO.
P2	Moodle	MobiSchool	Sistema de gerenciamento de aprendizagem móvel para escolas secundárias.
P3	Moodle	Interface para m-learning	Sistema que permite o acesso a uma plataforma independente para o LMS Moodle, com interface para dispositivos móveis.
P4	Não especificado	Sintetizador de voz	Sistema para suporte ao aprendizado de línguas estrangeiras, utilizando m-learning.
P5	Moodle	Plugin para MLEA	Software que permite o uso de redes sociais <i>online</i> para Moodle por dispositivos móveis. Integrado ao MLEA (Mobile Learning Environment Adapter).
P6	EDVI	LMS EDVI	LMS para comunicação utilizando dispositivos móveis.
P7	Moodle	Sistema TaaS	Sistema colaborativo que engloba conceito de nuvem de hospedagem <i>cloudhosting</i> e LMS, orientado para dispositivos móveis.
P8	Moodle	MLEA	LMS com recursos para m-learning. Utiliza serviços <i>web</i> , <i>design patterns</i> , ontologias e técnicas de computação móvel.
P9	Moodle	Plugin para m-learning	Plugin com uma aplicação móvel e um serviço <i>web</i> projetado para extensão do LMS Moodle.
P10	Moodle	Projeto GEMIS e Sistema QUADRO	Projetos para diminuir índices de reprovação e abandono em um curso de Ciência da Computação. O QUADRO ajuda na organização do curso, controlando agendas, calendários e atividades autônomas.
P11	Não especificado	HELLO	Sistema de aprendizagem para melhorar o nível de inglês. Integra um sistema de gerenciamento de aprendizagem e um conjunto de ferramentas de m-learning.
P12	Moodle	Plugin para mensagens curtas	Sistema para <i>short-messages</i> concatenado ao LMS Moodle, para facilitar a comunicação entre professores e alunos.
P13	AulaNet	Sistema m-learning com GPS	Sistema de localização m-learning para PDAs, utilizando GPS.
P14	Não especificado	CLEV-R, MCLEV-R	Sistemas para acompanhamento de m-learning e interfaces de aprendizagem <i>online</i> , oferecendo interfaces 3D para interação.
P15	Moodle	Plugin para <i>podcasting</i> e m-learning	Sistema para aperfeiçoar a plataforma Moodle da INTTIC, combinando o uso de dispositivos móveis com o a tecnologia de <i>podcasting</i> .

P16	Moodle	MobileTwitter: M2Learn	Plataforma aberta para combinar tecnologias de RFID, GPS, sinal de celular para operar com o LMS Moodle.
P17	Moodle	Aplicação para context-aware	Aplicações sensíveis ao contexto para m-learning dentro do LMS Moodle.
P18	Moodle	Plugin para m-learning	Aplicações para adaptações de m-learning para o LMS Moodle.
P19	MVLE	LMS para m-learning	Sistema para suportar m-learning no LMS MVLE.
P20	Não especificado	Leitor de QR-tags para m-learning	Aplicativo móvel para ler QR-Codes ou QR-Tags em livros a partir de um LMS.
P21	Stud.IP	Plugin para m-learning	Aplicativo para versão m-learning para o LMS Stud.IP.
P22	Moodle	TaaS	LMS orientado a serviço para desempenho acadêmico em m-learning.
P23	Não especificado	Sistema para conteúdo adaptativo	Plataforma de geração de conteúdo adaptativo para m-learning.
P24	Moodle	Moodbile	Sistema para integrar dispositivos móveis e aplicações educacionais no LMS Moodle.
P25	Não especificado	MobileCMS	Sistema adaptativo para m-learning.
P26	Não especificado	Hard SCORM LMS	Sistema para leitura de livros no padrão SCORM através de uma HyperPen, utilizando LMS e dispositivos móveis.

Já a segunda questão Q2 e a subquestão Q2.1 tratam de que abordagens e propostas foram adotadas nas pesquisas e de que tipos e que modelos de tecnologia foram apresentados nos trabalhos:

(Q2): “Quais publicações propuseram um modelo de aprendizagem por tecnologia e qual foi (*e-learning, m-learning, b-learning, outros*)?”.

(Q2.1): “Que tipos de propostas foram apresentadas para representar ou descrever o modelo de aprendizagem por tecnologia (modelo, sistema, *framework, arquitetura, outros*)?”.

O quadro a seguir exibe as informações relativas a essas duas questões.

Das 26 publicações, 17 trabalharam com o modelo de aprendizagem baseado em *mobile learning (m-learning)*, seis usaram aplicações de *eletronic learning (e-learning)*, duas combinaram recursos e apresentaram propostas para *blended learning (b-learning)*.

As propostas abordadas e apresentadas nos artigos foram Arquitetura (7), Sistema (10), *Framework* (5) e Modelo (4). O cruzamento desses dados pode ser visualizado no gráfico da figura a seguir.

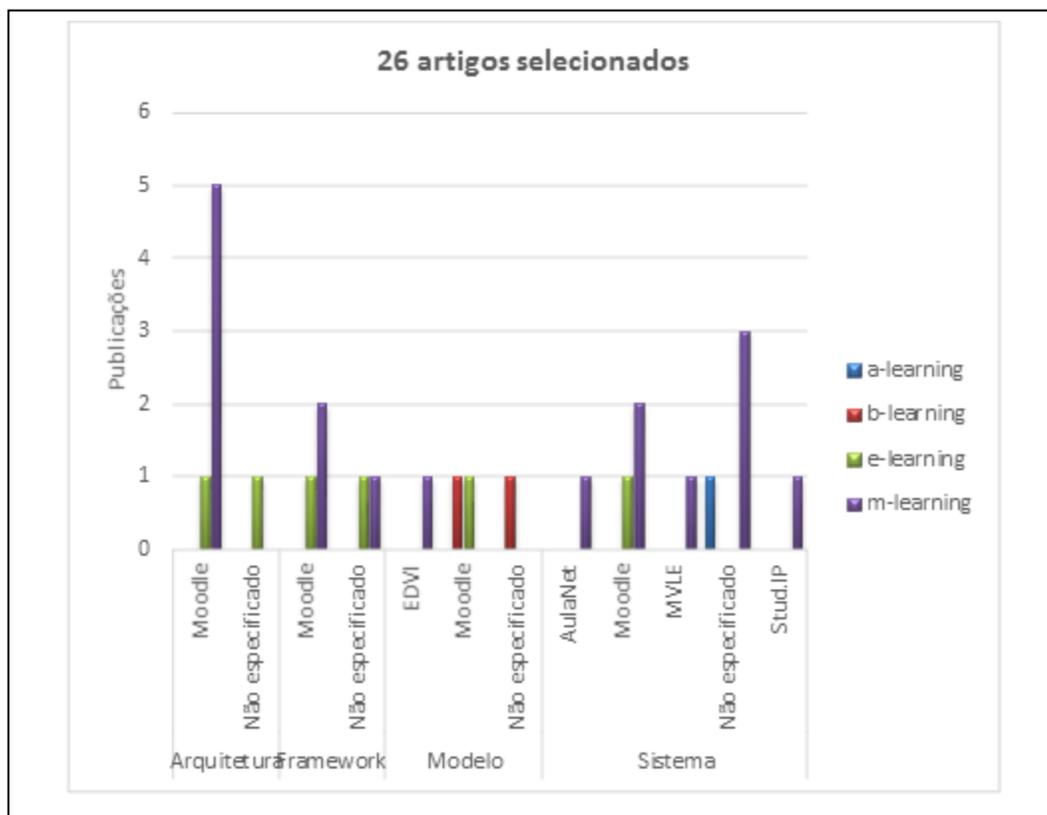
Modelos de tecnologia e propostas apresentadas nos 26 artigos seleccionados

Artigo	Modelo	Proposta
P1	<i>m-learning</i>	Sistema
P2	<i>m-learning</i>	Arquitetura
P3	<i>e-learning</i>	Arquitetura
P4	<i>b-learning</i>	Modelo
P5	<i>m-learning</i>	Arquitetura
P6	<i>m-learning</i>	Modelo
P7	<i>m-learning</i>	Sistema
P8	<i>m-learning</i>	Arquitetura
P9	<i>m-learning</i>	Arquitetura
P10	<i>e-learning</i>	Sistema
P11	<i>m-learning</i>	Sistema
P12	<i>m-learning</i>	Sistema
P13	<i>m-learning</i>	Sistema
P14	<i>m-learning</i>	Sistema
P15	<i>b-learning</i>	Modelo
P16	<i>e-learning</i>	Framework
P17	<i>m-learning</i>	Arquitetura
P18	<i>e-learning</i>	Modelo
P19	<i>m-learning</i>	Sistema
P20	<i>e-learning</i>	Framework
P21	<i>m-learning</i>	Sistema
P22	<i>m-learning</i>	Framework
P23	<i>a-learning</i>	Sistema
P24	<i>m-learning</i>	Framework
P25	<i>m-learning</i>	Framework
P26	<i>e-learning</i>	Arquitetura

Isto demonstra que a maior parte dos trabalhos ofereceram soluções baseadas em implementação de sistema ou aplicativos especificamente para o uso em aprendizado móvel. As propostas de arquitetura que envolveram recursos já existentes e em uso de um LMS, foram elaboradas, em sua maioria, para o LMS Moodle e usando como modelo de aprendizagem o *m-learning*.

Outros LMS foram desenvolvidos especificamente para soluções de *m-learning* e *e-learning*, como por exemplo, o EDVI (BARCHINOL *et al.*, 2006) e o MVLE (SACCOL *et al.*, 2011), um modelo para aprendizado móvel e um sistema de suporte a dispositivos móveis *online*, respectivamente.

A figura abaixo traz o gráfico com os modelos de tecnologia propostos nas 26 publicações, por LMS. A quantidade de artigos cujas pesquisas envolveram o LMS Moodle e trabalharam com o modelo de aprendizagem *m-learning* destaca-se dos demais valores.



Quantidade de artigos por LMS, modelo de tecnologia, e proposta de trabalho.

Ainda, oito publicações não especificaram o ambiente virtual de aprendizagem utilizado, fazendo com que o trabalho não pudesse ser analisado sob o ponto de vista da ferramenta ou reproduzido completamente, comprometendo sua abrangência científica. A maioria das propostas de trabalho consistiu na implementação de um sistema para sua validação. As arquiteturas e *frameworks* apresentados foram em menor quantidade. A partir do levantamento destas informações, identificou-se como oportuno o desenvolvimento de uma pesquisa que apresentasse um *framework* que tratasse informações provenientes de aplicativos para *mobile learning* (no contexto de um LMS) e de outras fontes de informações, como situações anteriores e opinião de especialistas.

Durante a leitura integral dos 26 artigos retornados, procurou-se identificar a relação do uso das tecnologias para o tratamento de informações e seu uso para gerar soluções para problemas que pudessem influenciar no processo de ensino-aprendizagem. As conclusões desta análise, encontram resumidas na próxima seção.

A.4 Conclusões da RSL

Os resultados da revisão sistemática de literatura forneceram uma visão geral do estado da arte das aplicações que fizeram uso dos modelos de aprendizado baseados em tecnologia em ambientes virtuais de aprendizagem. Os recursos implementados e as experiências práticas com usuários que utilizaram tais aplicativos, por meio de dispositivos móveis ou não, para acessar as funcionalidades dos LMS apontam para um amplo e promissor campo de pesquisa nesta área.

As aplicações específicas para o aprendizado móvel serviram para ampliar o âmbito de aplicabilidade de recursos de dispositivos móveis em vez de isolá-los no processo de aprendizagem. Tendo em vista plataformas abertas e adaptáveis, esses aplicativos vêm contribuir para tornar cenários de aprendizagem baseada em tecnologia mais flexíveis e eficientes (CASANY *et al.*, 2012). O enfoque no desenvolvimento de aplicações usando tecnologias móveis facilita o desenvolvimento do pensamento crítico sobre o processo de assimilação do conhecimento, as ações de colaboração, comunicação e interação entre os discentes usuários de um LMS (KOUNINEF *et al.*, 2012).

A mobilidade da tecnologia dos *smartphones* torna-se um elemento fundamental para que estes dispositivos sejam explorados como soluções pedagógicas, pois permitem aos estudantes se conectarem e interagirem com pessoas com as mesmas práticas e interesses acadêmicos, visto que os alunos passam a possuir um espaço próprio e personalizado para aprendizagem e colaboração. A grande vantagem desses *apps* é permitir interações além das limitações do ambiente virtual e também através das redes sociais (SERRÃO *et al.*, 2012). Além disso, a utilização dos dispositivos móveis contribuiu para facilitar o acesso aos cursos no LMS e ao aplicativo, oferecendo ao estudante a oportunidade de romper as limitações temporais e geográficas.

Para o nosso trabalho, este levantamento mostrou-se importante no que concerne à verificação de resultados vantajosos do uso das informações provenientes de aplicativos de suporte ao LMS, o que vem validar nossa opção pela utilização de agentes que acessem esses tipos de aplicativos e extraiam essas informações;

Além disso, as conclusões e relatos de aspectos positivos e negativos do uso da abordagem pedagógica do aprendizado baseado em tecnologia no contexto dos LMS permitiram estabelecer alguns pontos de direcionamentos para nortear os estudos para a definição mais precisa do trabalho a ser desenvolvida por esta tese. São eles:

- (i) A maioria dos recursos implementados nos trabalhos levantados consistiram em *apps* ou *plug-ins* para o LMS, adaptados para a interface de dispositivos móveis.

- (ii) As publicações que sugeriram propostas de arquiteturas abrangeram um escopo maior do problema da implantação do *m-learning* em ambientes virtuais de aprendizagem. Tais trabalhos relataram considerações sobre a eficácia desse modelo e questionaram o impacto sobre o aprendizado do aluno.
- (iii) Não foram identificadas aplicações com autonomia para tomadas de decisão, ou ainda a utilização de agentes inteligentes capazes de analisar e avaliar o desempenho acadêmicos dos estudantes que fizeram uso dos sistemas propostos.
- (iv) Nenhuma proposta apresentou adaptações a situações variadas em testes de campo, ou ainda fez aproveitamento de soluções aplicadas a situações anteriores (reuso de soluções para problemas passados).

Identificou-se, a partir deste estudo, que existe a necessidade de se desenvolver propostas de arquiteturas ou *frameworks* inteligentes, que possam se adaptar a situações diferentes e dinâmicas e que, cujas soluções para o uso de recursos de LMS, bem como o acompanhamento acadêmico dos alunos, se baseiem no uso de tecnologias móveis emergentes.

Na seleção final, a partir de dois filtros estabelecidos, foram separados 26 artigos, de acordo com a proposta de trabalho apresentada (Arquitetura, *Framework*, Modelo ou Sistema), e a partir desta lista foram estabelecidas considerações sobre os trabalhos desenvolvidos. O fichamento destas publicações mostrou que a maioria utilizou o LMS Moodle, talvez por ser um dos ambientes virtuais de aprendizagem mais utilizados atualmente, por ser gratuito e de código aberto. A abordagem de ensino mais explorada nos trabalhos foi a *mobile learning*, seguida de aplicações voltadas também para *e-learning*. A proposta mais apresentada nas pesquisas foram as que discutiram o desenvolvimento de sistemas ou aplicações (*apps* ou *plug-ins*) específicos para o aprendizado móvel. As propostas de arquiteturas também constaram em várias publicações, principalmente naquelas onde era necessária uma combinação de aplicativos móveis e modelos de ensino baseados em tecnologias.

A.5 Publicações retornadas após 2º filtro da RSL

ID	TÍTULO	BASE	AUTOR(ES)
1	2D barcode and augmented reality supported english learning system	Scopus	Tsung-Yu Liu, Tan-Hsu Tan, Yu-Ling Chu.
2	A comparative study in educational techniques by using combined environment via computer and mobile devices in asynchronous discussion forum	Scopus	Kiriakos Patriarcheas, Michalis Xenos.
3	A comparison of architectures for a usability-aware customized mobile learning management system (CMLMS)	Scopus	Ahmad Sobri Hashim, Wan Fatimah Wan Ahmad.
4	A context-aware mobile learning model for web-based learning environments	Scopus	Hana Sadat Fahim Hashemi, Fatemeh Orooji, Fattaneh Taghiyareh.
5	A framework of PBL strategy integrated in LMS and a ubiquitous Learning Environment	Scopus	D.T.Ku, C-S. Chang.
6	A general architecture to support mobility in learning	Scopus	Anna Trifonova, Marco Ronchetti.
7	A Proposed mobile school system for requirements of secondary schools in Malaysia	Scopus	Ahmad Sobri Hashim, Wan Fatimah Wan Ahmad, Azizah Jaafar, Shahrina Md Nordin.
8	A service oriented architecture to integrate mobile assessment in learning management systems	Scopus	A. M. Riad, H. A. El-Ghareeb
9	A service-oriented approach towards context-aware mobile learning management systems	Scopus	Philipp Lehsten, Raphael Zender, Ulrike Lucke, Djamshid Tavangarian.
10	A study of user interaction with context aware electronic updates from a moodle learning environment	Scopus	Laura Crane; Phillip Benachour; Paul Coulton.
11	A study on generic conceptual framework for customized mobile learning management system (CMLMS)	Scopus	Ahmad Sobri Hashim, Wan Fatimah Wan Ahmad.
12	A web service approach to M-learning with sharable content object reference model	Scopus	Kong XiangSheng
13	About a platform independent client for mobile quizzes in Moodle	Scopus	Marc Jansen, Stefan Geisler.
14	Adaptation Model of Mobile Remote Experimentation for Elementary Schools	IEEE	Juarez Bento da Silva, Willian Rochadel, José Pedro Schardosim Simão, André Vaz da Silva Fidalgo.
15	An architecture based on web services for mobile social software	IEEE	Tássia Serrão, Lucas M. Braz, Sérgio Crespo C. S. Pinto, Gisela Clunie.
16	An example of application in mobile learning technologies	Scopus	Roberto Barchino ¹ , José María Gutiérrez, Salvador Otón, José Javier Martínez, José Antonio Gutiérrez, José Ramón Hilerá, María Lourdes Jiménez, Carmen Pages.

17	Analyzing Moodle/LMS logs to measure mobile access	Scopus	María José Casany, Marc Alier, Nikolas Galanis, Enric Mayol, Jordi Piguillem
18	Application of a Mobile Personal Learning Environment to a Computer Science subject	Manual	Miguel Á. Conde, Francisco J. García-Peñalvo
19	Applications of service oriented architecture for the integration of lms and m-learning applications	Scopus	María José Casañ Guerrero, Miguel Ángel Conde González, Marc Alier Forment, Francisco José García Peñalvo.
20	Applying the innovation in engineering education framework: Assessing the impact of instructional technology	Scopus	Catherine T. Amelink, Shreya Kothaneth, Glenda R. Scales.
21	Audio and Video Conferencing Tools in Learning Management Systems	IEEE	Giovanni Adorni, Mauro Coccoli, Cosimo Fadda, Luca Veltri.
22	Audio folios management system for foreign language learning	Scopus	José P. Lousado, Carlos M. M. Costa, Isabel P. Oliveira, Maria Teresa G. Roberto.
23	Building capacity: challenges and opportunities in large class pedagogy (LCP) in Sub-Saharan Africa	Scopus	Alan R. Foley; Joanna O. Masingila.
24	Campus We-Com. University students' attitude towards didactical innovation	Scopus	Maria Cinque, Claudio Pensieri.
25	Collaborative Learning through TaaS: a Mobile System for Courses over the Cloud	Manual	Geng Sun, Jun Shen
26	Collaborative technological applications with special focus on ICTbased, networked and mobile solutions	Scopus	György Molnár
27	Concealed data in two way text messaging: A framework for interactive mobile learning environment	Scopus	H.K. Salinda Premadasai, R.G.N. Meegama.
28	Context aware electronic updates for virtual learning environments	Scopus	Laura Crane, Ayodele Awe, Phillip Benachour, Paul Colton.
29	Contextual M-learning system for higher education providers in Oman	Scopus	Mohamed Sarrab, Laila Elgamel.
30	Contribution of virtual classrooms to the personal learning environments (PLE) of the students of the Career of Informatics Applied to Education of National University of Chimborazo	Scopus	Patricio Humanante Ramos, Francisco J. García-Peñalvo
31	Designing a self-contained group area network for ubiquitous learning	Scopus	Nian-Shing Chen, Kinshuk, Chun-Wang Wei, Stephen J.H. Yang.
32	Designing models and services for learning management systems in mobile settings	Scopus	Alfio Andronico, Antonella Carbonaro, Luigi Colazzo, Andrea Molinari, Marco Ronchetti, Anna Trifonova
33	Developing a mobile learning approach in platform LMS INTTIC	Scopus	B. Kouninef, R. Tlemsani, S.M. Rerbal and A. Lotfi.

34	Developing an Android based learning application for mobile devices	IEEE	Gisela T. de Clunie, Tássia Serrão, Boris Gómez, Sérgio Crespo, Norman Rangel, Kexy Rodríguez, Lucas Monteiro Braz, Aris Castillo, Olinda de Barraza, Jeannette Riley.
35	DULP perspectives in a learning management system	Scopus	Francesco Di Cerbo, Gabriella Doderò, Paola Forcheri.
36	E-learning eco-system for mobility and effective learning: A case of JKUAT IT students	Scopus	John M. Kihoro, Philip A. Oyier, Boniface M. Kiula.
37	Evaluation of mobile assessment in a learning management system	Scopus	Zorica Bogdanovic, Dušan Barac, Branislav Jovanic, Snežana Popovic, Božidar Radenkovic
38	Extended MOBILIS: A integration of learning management system with mobile application to m-Learning environment	IEEE	G. A. L. Paillard, P. M. B. Costa, K. F. Rabelo, W. W. F. Sarmento, W. S. Lima, C. L. S. Harriman.
39	Extending Moodle services to mobile devices: The moodbile project	Scopus	María José Casany, Marc Alier, Enric Mayol, Jordi Piguillem, Nikolas Galanis, Franciso J. García-Peñalvo, Miguel Ángel Conde.
40	Extending the moodle course management system for mobile devices	Scopus	Virgil Zamfirache, Alina Eftenoiu, Paula Iosif, Alexandru-Corneliu Olteanu, Nicolae Tapus
41	Facilitating collaborative learning in TaaS: A mobile cloud system for enhancing teamwork performance	Scopus	Sun, G. and Shen, J.
42	From e-learning to m-learning through b-learning and s-learning	Scopus	Sergio Martín, Rosario Gil, Gabriel Díaz, Elio Sancristobal, Manuel Castro, Juan Peire.
43	Future of distance education through EHEA	Scopus	Manuel Castro, Antonio Colmenar, Juan Peire.
44	GEMIS and QUADRO - Two projects to improve didactics in Computer Science	Scopus	R. Pucher, M. Tesar, T. Mandl, G. Holweg, F. Schmöllebeck.
45	Handheld computer supported context-aware learning with 2D barcodes	Scopus	Yu-Ling Chu, Tsung-Yu Liu
46	How ECM can be used for distance learning content management ECM to LCM	Scopus	Najima Daoudi
47	Implementation of concatenated short messaging service in a campus environment	Scopus	H.K.S. Premadasa, R.G.N. Meegama.
48	Implementation of location-aware m-learning system	Scopus	Joel J. P. C. Rodrigues, Íuri D. C. Veiga, Binod Vaidya.
49	Implementing a mobile campus using MLE moodle	Scopus	Fatos Xhafa, Santi Caballé, Isaac Rustarazo, Leonard Barolli
50	IMS-based mobile learning system	Scopus	M. Rizwan Jameel Qureshi

51	Information security in support for mobile collaborative learning	Scopus	Jorge Miguel, Santi Caballé, Josep Prieto.
52	Integration of M-learning and LMS: A sustainability approach	Scopus	María José Casany, Marc Alier, Miquel Barceló.
53	Integration of multimodal multimedia devices and hardcopy textbooks for supporting pervasive learning	Scopus	Te-Hua Wang, Timothy K. Shih.
54	Integration of technologies in the development of interactive educational content	Scopus	Núbia dos Santos, Rosa Santana dos Santos, José Valdeni De Lima and Leandro Krug Wives.
55	Interactive interfaces for presenting online courses: An evaluation study	Scopus	Gavin McArdle, Teresa Monahan, Michela Bertolotto.
56	Interoperability for LMS: The missing piece to become the common place for elearning innovation	Scopus	Marc Alier Forment, María José Casañ Guerrero, Miguel Ángel Conde González, Francisco José García Peñalvo, Charles Severance.
57	Investigating mobile devices and LMS integration in higher education: Student perspectives	Scopus	Nadire Cavus
58	Iwant does not equal iwill: Correlates of mobile learning with ipads, e-textbooks, blackboard mobile learn and a blended learning experience	Scopus	Jeffrey Brand, Shelley Kinash, Trishita Mathew, Ron Kordyban
59	Knowledge building in 21st century: Learners, learning and educational practice	Scopus	Arianne Rourke, Kathryn Coleman.
60	Learning styles and acceptance of e-learning management systems: An extension of behaviour intention model	Scopus	Hsin-Ke Lu
61	Lecture video capturing and moodle: New didactical scenarios for m- and e-Learning	IEEE	Gabriele Frankl, Gerald Zebedin.
62	Leveraging mobile devices for asynchronous learning: Best practices	Scopus	John P. Killilea
63	LIVES: Learning through an interactive voice educational system	Scopus	Son T. Vuong, Jonatan Schroeder, Mohammed S. Alam, David Chan.
64	LMS INTTIC system using mobile technology and podcasting in blended learning	Scopus	Belkacem Kouninef, Redouane Tlemsani, Sidi Mohamed Rerbal, Abdelhadi Lotfi.
65	M - Learning in university campus scenario - Design and implementation issues	Scopus	Saurabh Pal, Srabasti Mukherjee, Prasenjit Choudhury, Subrata Nandi, Narayan C. Debnath.
66	M2learn open framework: Developing mobile collaborative and social applications	Scopus	Sergio Martin, Gabriel Diaz, Elio Sancristobal, Ivica Boticki.
67	Middleware for the development of context-aware applications inside m-learning: Connecting e-learning to the mobile world	Scopus	Sergio Martin, Rosario Gil, Elio San Cristobal, Gabriel Díaz, Manuel Castro, Juan Peire, Mihail Milev, Nevena Mileva.

68	Mix and match: M/e-learning and engineering curriculum	Scopus	Carol Russel, John Paul Posada.
69	Mobile collector for field trips	Scopus	Milos Kravcik, Andreas Kaibel, Marcus Specht, Lucia Terrenghi.
70	Mobile communications technologies for young adult learning and skills development (m-learning)	IEEE	Jill Attewell, Mikael Gustafsson.
71	Mobile learning application based on hybrid mobile application technology running on Android smartphone and Blackberry	Scopus	Djoni Haryadi Setiabudi, Lady Joanne Tjahyana, Winsen.
72	Mobile learning environment with short messaging service: Application to a campus environment in a developing country	Scopus	H. K. Salinda Premadasa, R. Gayan N. Meegama.
73	Mobile learning in organizations: Lessons learned from two case studies	Scopus	Amarolinda Zanela Saccol, Jorge L. V. Barbosa, Eliane Schlemmer and Nicolau Reinhard.
74	Mobile measurement support for remote laboratories and e-learning systems	Scopus	Drago Cmurik, Tarik Mutapcic, Mladen Borsic.
75	Mobilim: Mobile learning management framework system for engineering education	Scopus	Ayhan Istanbulu
76	Moodbile: A framework to integrate M-learning applications with the LMS	Scopus	María José Casany, Marc Alier, Enric Mayol, Jordi Piguillem, Nikolas Galanis, Francisco J. García-Peñalvo, Miguel Ángel Conde.
77	More: Mobile referencing system for printed media	Scopus	Jörg Röpke, Georg Schneider.
78	MPSS: A system for mobile and vocational education and training	Scopus	Manuel Castro, Gabriel Diaz, Eugenio Lopez-Aldea, Nuria Oliva, Catalina Martinez-Mediano, Nevena Mileva, Mihail Milev, Slovka Tzanova, Edmundo Tovar, Martin Llamas.
79	Pedagogy 2 go: Student and faculty perspectives on the features of mobile learning management systems	Scopus	Pavlo D. Antonenko, Nilou Derakhshan, Jesse P. Mendez
80	Pervasive learning activities for the LMSLRN through Android mobile devices with NFC support	Scopus	Gustavo Ramírez-González, Catalina Córdoba-Paladinez, Omar Sotelo-Torres, Camilo Palacios, Mario Muñoz-Organero, Carlos Delgado-Kloos.
81	Readiness level of adopting Customized Mobile Learning Management System (CMLMS) in secondary school	Scopus	Ahmad Sabri Hashim, Wan Fatimah Wan Ahmad.
82	Requirements for Mobile Learning Applications in Higher Education	IEEE	Andre Klafen, Marcus Eibrink-Lunzenauer, Till Glogglar
83	Research on the application of M-Learning based on intelligent mobile devices	Scopus	Zhong Ping, Zheng Gengzhong.
84	SOA initiatives for e-learning.: a moodle case	Scopus	María José Casany Guerrero, Marc Alier Forment, Miguel Ángel Conde González, Francisco José.
85	Teamwork as a service: A cloud-based system for enhancing teamwork performance in mobile learning	Scopus	Geng Sun, Jun Shen.

86	The 5R adaptive learning content generation platform for mobile learning	Scopus	Frederick Ako-Nai, Qing Tan, Frédérique C. Pivot, Kinshuk
87	The development of new conceptual model for MobileSchool	Scopus	Ahmad Sobri Hashim, Wan Fatimah Wan Ahmad.
88	The implementation, deployment and evaluation of a mobile personal learning environment	Scopus	Miguel Á. Conde, Francisco J. García-Peñalvo, Marc Alier, Jordi Piguillem
89	The media generation: Maximise learning by getting mobile	Scopus	Peter Mellow
90	The way towards M-learning	Scopus	Jaromír Hrad, Tomáš Zeman, Marek Nevosad.
91	Towards an adaptive mobile course management system	Scopus	Qing Li, Yu Wang, Chengbing Zhao.
92	Ubiquitous e-learning with multimodal multimedia devices	Scopus	Timothy K. Shih, Te-Hua Wang, Chih-Yung Chang, Tai-Chien Kao, Douglas Hamilton.
93	Using mobile facebook as an LMS: Exploring impeding factors	Scopus	Serge Gabarre, Cécile Gabarre, Rosseni Din, Parilah Mohd Shah, Aida Abdul Karim.

Apêndice B – Formulário de Caracterização do Entrevistado

Formulário de Caracterização do Entrevistado

Pesquisa: “Avaliação de Relevância das respostas do framework iDE”

Nome do Participante:	
-----------------------	--

Prezado Senhor (a),

O formulário abaixo será utilizado para compreender seu grau de experiência em EaD e familiaridade com Plugins/ferramentas em Ambientes Virtuais de Aprendizagem Moodle. **As informações coletadas serão tratadas confidencialmente. Para cada quesito marque o(s) item(ns) que melhor descrevem o seu grau de conhecimento.**

a) Qual papel você desempenha com mais frequência em EaD?

- Professor Coordenador
- Administrador Tutor

b) Quanto tempo de experiência você tem usando AVAs e/ou em Educação a Distância?

- Mais de 5 anos
- 2 - 5 anos
- Menos que 2 anos

c) Qual é o seu nível de conhecimento relacionado a Plugins/Ferramentas que auxiliam no monitoramento e análise de desempenho de alunos em AVAs?

- Desconheço o assunto Conheço pouco
- Bom Excelente

d) Qual é o seu nível de experiência relacionada ao gerenciamento de cursos à distância?

- Nenhuma experiência Pouca experiência
- Boa experiência Muito experiente

Apêndice C – Questionário de Avaliação

Avaliação pedagógica e de usabilidade do *framework* iDE

Pesquisa: “Avaliação de Relevância das respostas do *framework* iDE”

Nome do Participante:	
-----------------------	--

Prezado Senhor (a),

O formulário abaixo será utilizado para compreender seu grau de satisfação quanto a relevância pedagógica das respostas retornadas pelo *framework* iDE. **As informações coletadas serão tratadas confidencialmente. Para cada quesito considere um valor entre 0 e 10 que corresponda à sua opinião.**

Observações: Considere **0** como “**Discordo totalmente**” e **10** como “**Concordo Totalmente**”. Os demais valores do intervalo servem para refletir a intensidade da resposta e o quanto ela se aproxima dos limites inferior (0) e superior (10).

1) Sobre a interface do *framework* iDE:

a) O quanto você considera a interface do *framework* iDE fácil de usar?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

b) O quanto você considera a disposição gráfica das opções adequada à interação com o sistema?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

c) Quanto à usabilidade, flexibilidade e aspectos de tela, que nota você daria para a interface do *framework* iDE?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

d) Considerações sobre esse item: (opcional)

2) Sobre as opções do framework IDE:

a) O quanto você considera as opções disponíveis para entrada de dados e geração de soluções adequadas ao contexto pedagógico do *framework*?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

b) O quanto você acha que as opções de fontes de conhecimento (Casos Passados, Especialistas, Aplicativos) para disponíveis para compor soluções para o problema proposto são de fácil entendimento e aplicação pedagógica?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

c) O quanto você acha que as opções de fontes de conhecimento (Casos Passados, Especialistas, Aplicativos) foram úteis na composição da (s) solução (ões) apresentadas?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

d) Considerações sobre esse item: (opcional)

3) Sobre a relação entre problema e solução:

a) O quanto você acha que as respostas retornadas como solução têm relação com o problema proposto?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

- b) O quanto você acha que, na opção Histórico de Consultas, os problemas e as soluções estão descritos de forma clara e objetiva?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

- c) Considerações sobre esse item: (opcional)

4) Sobre a(s) solução(ões) retornada(s):

- a) O quanto você acha que as respostas retornadas pela aplicação individual de uma fonte de conhecimento podem ser consideradas pedagogicamente relevantes para o problema proposto?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

- b) O quanto você acha que as respostas retornadas pela combinação das fontes de conhecimento podem ser consideradas pedagogicamente relevantes para o problema proposto?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

- c) Na sua opinião, qual o nível de relevância pedagógica da(s) solução(ões) apresentada(s) para o problema proposto?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

d) E qual o nível de aplicação pedagógica desta(s) solução(ões) em problemas do cotidiano?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

e) Para você, qual o nível de conhecimento agregado a partir das respostas retornadas?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

d) Considerações sobre esse item: (opcional)

5) Sobre as informações de saída e opções de avaliação:

a) Quanto ao conteúdo, as informações de saída são claras e de fácil entendimento?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

b) Quanto à disposição na tela, as informações de saída que dizem respeito às soluções retornadas estão bem posicionadas graficamente, facilitando a leitura?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

c) Quanto à disposição na tela, as informações de saída que dizem respeito ao Histórico de Consultas estão bem posicionadas graficamente, facilitando a leitura?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

d) Quanto à disposição na tela, as opções de avaliação das respostas são de fácil acesso?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

e) O quanto as opções de avaliação das respostas, e consequentemente contribuição para o aprendizado do *framework* são de fácil entendimento e uso?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

f) Considerações sobre esse item: (opcional)

Apêndice D – Termo de Consentimento

PODER EXECUTIVO
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE COMPUTAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado(a) a participar de um levantamento de dados, cujo objetivo será recolher opiniões sobre respostas retornadas por um *framework* para apoio a Educação a Distância, sob a responsabilidade da pesquisadora Ketlen Karine Teles Lucena, a qual pretende fornecer *feedback* para uma análise de relevância das soluções apresentadas e da eficácia do *framework* em questão.

Sua participação é voluntária e se dará por meio do sistema computacional que simula o *framework* iDE. A sua interação é registrada pelo próprio sistema e por meio da gravação da tela e voz. Esses dados serão utilizados para tabulação e análise do arcabouço desenvolvido pela pesquisadora responsável (citada acima). O sistema retorna soluções para problemas comuns ao cotidiano de cursos da modalidade à distância. Se você aceitar participar, estará contribuindo para a melhoria do gerenciamento de cursos à distância, particularmente os oferecidos na região Amazônica, a partir do uso de um ambiente computacional que permite ao mediador de tais cursos ter um maior apoio na solução de problemas recorrentes e comuns a esta modalidade de ensino.

Se, depois de aceitar sua participação, você desistir de continuar participando do levantamento, tem o direito e a liberdade de retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa, seja antes, durante ou depois da coleta dos dados, independente do motivo e sem prejuízo a sua pessoa. Você não terá qualquer despesa e também não receberá nenhuma remuneração. Em nenhum momento você será identificado. Os resultados da pesquisa serão publicados e ainda assim a sua identidade será preservada.

Para qualquer outra informação adicional ou esclarecimentos, você poderá entrar em contato com o pesquisador no endereço ketlen.teles@gmail.com.

Consentimento Pós-Infomação

Eu, _____, fui informado sobre o que o pesquisador quer fazer e porque precisa da minha colaboração, e entendi a explicação. Por isso, eu concordo em participar do projeto, sabendo que não angariará benefícios financeiros por isso e que posso desistir do experimento quando desejar. Este documento é emitido em duas vias, que serão ambas assinadas por mim e pelo pesquisador, ficando uma via com cada um.

Manaus, _____ de _____ de 2018.

Assinatura do participante

Assinatura da Pesquisadora Responsável

Apêndice E – Roteiro de Avaliação

Roteiro de Avaliação das respostas retornadas pelo *framework* iDE

Nesta avaliação você irá testar o *framework* iDE, que tem como objetivo apoiar decisões interventivas no contexto de cursos à distância. Os problemas inseridos no sistema computacional, que emula as tarefas do *framework* iDE, serão submetidos a processos inteligentes que irão gerar solução para o mesmo. Essa solução será submetida à avaliação do especialista a fim de se detectar sua relevância para a administração do ensino à distância.

Temos uma proposta de interface para o *framework* iDE. **O intuito deste teste é avaliar a relevância das respostas retornadas pelo *framework* iDE, a fim de que se possa investigar o quanto as soluções apresentadas podem ser úteis ou relevantes para o cotidiano de cursos à distância.** Para isso queremos que você experimente essa interface e dê sua opinião em relação às respostas apresentadas.

Abaixo estão listadas as tarefas que você tem que executar durante a avaliação. Para realizá-las, utilize o sistema computacional que será disponibilizado pelo avaliador.

Tarefas:

Passo	Tarefa	Objetivo	Descrição
1	Escolher o tipo de busca: - Casos Passados; - Dados do AVA; - Opinião de Especialistas.	Escolher um tipo de busca de solução para o problema proposto.	Você deve escolher um tipo de busca clicando no respectivo botão.
2	Escolher: Busca com Casos Passados Preencher: todos os itens solicitados. Visualizar: solução apresentada.	Ter uma visão geral de como é possível usar a opção para retornar uma possível solução para o problema.	Você deve escolher a opção “Busca com Casos Passados”, e preencher todos os campos com informações sobre o problema proposto. Após clicar em Consultar, você deve visualizar a solução apresentada.
3	Escolher: Busca em Dados do AVA Preencher: todos os itens solicitados. Escolher: o tipo de gráfico. Visualizar: solução apresentada.	Ter uma visão geral de como é possível usar a opção para obter uma possível solução para o problema.	Você deve escolher a opção “Busca em Dados do AVA”, e preencher todos os campos com informações sobre o problema proposto. Após clicar em Consultar, você deve escolher o tipo de gráfico e visualizar a solução apresentada.
4	Escolher: Busca em Opinião de Especialistas	Ter uma visão geral de como é possível usar a opção para obter uma possível	Você deve escolher a opção “Busca em Opinião do Especialista”, e preencher todos os campos com

	<p>Preencher: todos os itens solicitados.</p> <p>Visualizar: solução apresentada.</p>	solução para o problema.	<p>informações sobre o problema proposto.</p> <p>Após clicar em Consultar, você pode visualizar a solução apresentada.</p>
5	<p>Escolher: Combinação de Buscas.</p> <p>Escolher: Os tipos de busca a serem combinados.</p> <p>Preencher: todos os itens solicitados.</p> <p>Visualizar: solução apresentada.</p>	Ter uma visão geral de como é possível usar a combinação de opções para obter uma possível solução para o problema.	<p>Você deve acessar a opção “Combinação de Opiniões”, e escolher 2 opções de busca.</p> <p>Preencher o restante dos dados e após clicar em Consultar, você pode visualizar a solução apresentada.</p>

Apêndice F – Telas da *interface do framework iDE*

Seguem as principais telas do protótipo do sistema computacional do *framework iDE*.

The screenshot shows the home page of the iDE Framework. At the top, there is a dark navigation bar with the text "iDE Framework" on the left and "Home About Contact Logout (Mediador)" on the right. The main content area features the title "iDE Framework" and the subtitle "Um framework para Educação à Distância". Below this, there are four search options, each with a "Clicar aqui >" button: "Busca em casos passados", "Busca em Dados do AVA", "Busca em Opinião de Especialistas", and "Combinar Métodos de Busca". At the bottom of the main content area, there are two more options: "Base de Casos" and "Histórico de Buscas", also with "Clicar aqui >" buttons. The footer contains "© IDE Framework 2018" on the left and "Powered by Yii Framework" on the right, along with a small logo.

The screenshot shows the "Busca de solução" (Solution Search) page. At the top, there is a dark navigation bar with "iDE Framework" on the left and "Home About Contact Logout (Mediador)" on the right. The main content area starts with a "Voltar" button. Below it, there is a section "Selecione a natureza do problema:" with three radio buttons: "Infraestrutura/Administrativa", "Pedagógica", and "Acadêmica". The "Pedagógica" option is selected. Underneath, there is a section "Descreva o problema resumidamente:" followed by a text area containing the text: "A ausência de conexão com a internet durante 4 dias prejudicaria diretamente os alunos da disciplina, pois comprometeria o andamento e as avaliações da Unidade I da disciplina." Below this is a "Relator" section with a dropdown menu showing "Selecione um relator". The next section is "Descreva o problema detalhadamente:" followed by a text area containing the text: "A disciplina Fruticultura estava sendo ministrada para três polos: Manaquiri, Santa Izabel e Tefé. O polo de Santa Izabel atendeu 14 alunos do curso de Licenciatura em Ciência Agrárias neste período letivo. A cidade de Santa Izabel, por causa de uma forte chuva ficou sem energia durante 10 horas. O apagão danificou o equipamento (switch) e a antena de recepção do sinal de internet via satélite. A sede do polo ficou sem internet durante 4 dias até que o equipamento fosse substituído." Below this is a "Palavras-chaves" section with a text area containing "Problema internet". The "Polo" section has a dropdown menu showing "Tefé". At the bottom of the main content area, there is a "Buscar" button. The footer contains "© IDE Framework 2018" on the left and "Powered by Yii Framework" on the right, along with a small logo.

Resultado da busca

[Voltar](#)

PROBLEMA DESCRITO:

Descrição resumida: A ausência de conexão com a internet durante 3 dias prejudicaria diretamente os alunos da disciplina, pois comprometeria o andamento e as avaliações das Unidades da disciplina.

Natureza do Problema: Infraestrutura/Administrativa

Palavras-chaves: Problema internet

Função do Relator: Coordenador Curso

Polo: Tefé

Solução sugerida

Solução	Conteúdo deveria ser repassado diretamente aos alunos através de cópia de arquivos e as atividades avaliativas deveriam ser coletadas pelo tutor presencial de forma off-line.
Palavras-chaves	Conteúdo off-line, atividades off-line
Ação Implementada	- Contato do coordenador de polo com o coordenador de curso, para relato do problema e tomada de decisões. - Repasse dos arquivos com o conteúdo da Unidade I para os alunos. - Coleta das atividades avaliativas de forma off-line (arquivos e mensagens de fórum).
Solução Implementada	Sim
Efetividade da Ação Implementada	Sim
Custos	Não houve
Impacto Pedagógico	Não houve
Atores Envolvidos	Coordenador do curso, coordenador de polo, tutor presencial

Similaridade calculada: 91%

A solução recomendada ajudou na sua dúvida?

Dados do Ambiente Virtual

[Voltar](#)

Exibindo 1-20 de 30 itens.

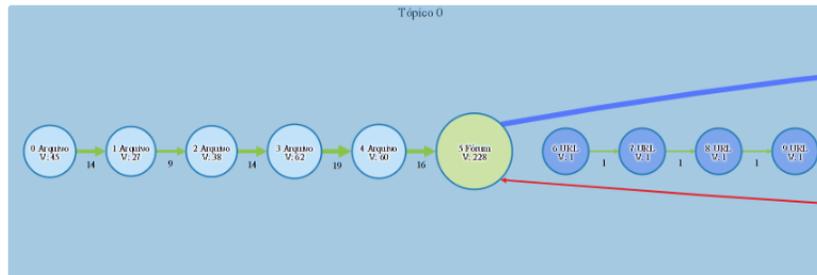
#	Curso	Disciplina	Polo	Ações
1	Administração	Informática Básica	Boa Vista	Trilha de Aprendizagem Reprovação e Aprovação
2	Administração	Informática Básica	Tarauacá	Trilha de Aprendizagem
3	Administração	Informática Básica	Brasileia	Reprovação e Aprovação
4	Administração	Informática Básica	Boa Vista	Trilha de Aprendizagem Reprovação e Aprovação
5	Artes	Atividades Culturais	Santa Izabel do Rio Negro	Reprovação e Aprovação
6	Biologia	Bioquímica	Caracarái	Reprovação e Aprovação
7	Biologia	Bioquímica	Coari	Trilha de Aprendizagem Reprovação e Aprovação
8	Biologia	Bioquímica	Coari	Trilha de Aprendizagem Participação e Tarefas
9	Biologia	Fundamentos da Anatomia	Caracarái	Trilha de Aprendizagem
10	Ciências Agrárias	Informática Básica	Tefé	Trilha de Aprendizagem Reprovação e Aprovação
11	Ciências Agrárias	Didática Aplicada	Maués	Reprovação e Aprovação

Grafo de Trilha de Aprendizagem

[Voltar](#)

Curso: Administração
 Disciplina: Informática Básica
 Período: 2016/2
 Polo: Boa Vista
 Total de Alunos: 30

Legenda das cores: Avanço Padrão Retorno

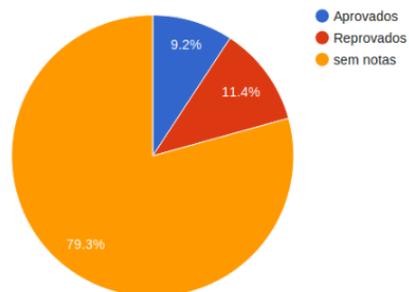


Monitor de Comportamento

[Voltar](#)

Curso: Administração
 Disciplina: Informática Básica
 Período: 2016/2
 Polo: Boa Vista
 Total de Alunos: 30

Aprovados, Reprovados e Alunos sem nota

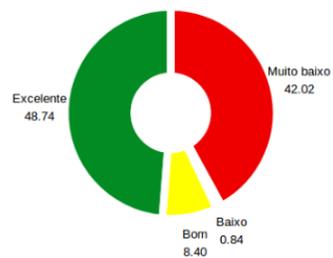


Monitor de Desempenho

[Voltar](#)

Curso: Biologia
Disciplina: Bioquímica
Período: 2009/1
Polo: Coari
Total de Alunos: 24

Nível de participação nas entregas de tarefas



Consulta ao especialista

[Voltar](#)

Tipo do Problema

Título do Problema

[Consultar](#)

Resultado(s) da busca

Opinião do Especialista

Exibindo 1-8 de 8 itens.

#	Tipo do Problema	Título do Problema	Descrição do Problema	Ações
1	Pedagógico	Aprendizado	Alunos apresentam dificuldades para assimilar o conteúdo da disciplina Informática no Ensino da Física.	
2	Pedagógico	Aprendizado	Dificuldades em utilizar o AVA.	
3	Pedagógico	Aprendizado		
4	Pedagógico	Aprendizado		
5	Pedagógico	Aprendizado		
6	Pedagógico	Aprendizado		
7	Pedagógico	Aprendizado		
8	Pedagógico	Aprendizado		

Detalhes da solução

Tipo do Problema	Pedagógico
Título do Problema	Aprendizado
Descrição do Problema	Alunos apresentam dificuldades para assimilar o conteúdo da disciplina Informática no Ensino da Física.
Descrição da Solução	Devem ser dadas aulas presenciais extras, ministradas pelo tutor.
Data de Ocorrência	10/10/2015
Data de Inserção	22/07/2018
Nome do Especialista	Ketlen Teles
Função do Relator	Coordenador Graduação

A solução recomendada ajudou na sua dúvida?

Busca combinada de solução

Opções de combinação

[Voltar](#)

- Busca em casos passados
- Busca em Dados do AVA
- Busca em Opinião de Especialistas

Palavras-chaves

reprovação, tarefa

Tipo do Problema

Pedagógico

Título do Problema

Reprovação

[Buscar](#)

Resultado(s) da busca

[Voltar](#)

PROBLEMA DESCRITO:

Natureza do Problema: Pedagógico**Palavras-chaves:** reprovação

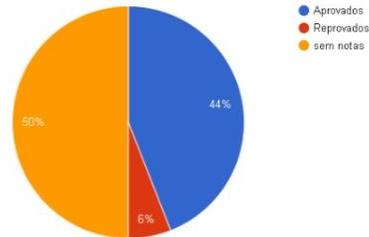
SOLUÇÃO da Base de Casos:

Solução	Foi criado um formulário de norma de aplicação de prova, com regras para alunos e responsáveis pela aplicação das avaliações.
Palavras-chaves	Norma de aplicação de prova.
Ação Implementada	<ul style="list-style-type: none"> - Foi realizada uma reunião com alunos, tutores e coordenador de curso, para discutirem o problema. - As regras de procedimento em provas e avaliações foram estabelecidas formalmente. - Uma nova prova foi aplicada em substituição à anterior. - Foi criado um formulário de norma de aplicação de prova, com regras para alunos e responsáveis pela aplicação das avaliações.
Solução Implementada	Sim
Efetividade da Ação Implementada	Sim
Custos	Nenhum
Impacto Pedagógico	Os alunos passaram a se preparar melhor para as provas finais.

Pesquisa no AVA

Curso: Educação Física
 Disciplina: Pedagogia do Esporte
 Período: 2017/2
 Polo: Borba
 Total de Alunos: 14

Aprovados, Reprovados e Alunos sem nota



A informação é útil?

Base de Casos

Exibindo 1-20 de 37 itens.

#	Casos na Base	Polo	Natureza do Problema	Ação
1	Caso 1	Santa Izabel do Rio Negro	Infraestrutura/Administrativo	Visualizar descrição e solução
2	Caso 2	Boa Vista	Infraestrutura/Administrativo	Visualizar descrição e solução
3	Caso 3	Acrelândia	Pedagógica	Visualizar descrição e solução
4	Caso 4	Manaquiri	Pedagógica	Visualizar descrição e solução
5	Caso 5	Brasileia	Infraestrutura/Administrativo	Visualizar descrição e solução
6	Caso 6	Maués	Pedagógica	Visualizar descrição e solução
7	Caso 7	Lábrea	Infraestrutura/Administrativo	Visualizar descrição e solução
8	Caso 8	Manaquiri	Infraestrutura/Administrativo	Visualizar descrição e solução
9	Caso 9	Bonfim	Pedagógica	Visualizar descrição e solução
10	Caso 10	Boa Vista	Acadêmica	Visualizar descrição e solução
11	Caso 11	Santa Izabel do Rio Negro	Pedagógica	Visualizar descrição e solução
12	Caso 12	Parintins	Pedagógica	Visualizar descrição e solução
13	Caso 13	Coari	Pedagógica	Visualizar descrição e solução
14	Caso 14	São Gabriel da Cachoeira	Acadêmica	Visualizar descrição e solução
15	Caso 15	Boa Vista	Infraestrutura/Administrativo	Visualizar descrição e solução

Base de Casos

Exibindo 21-37 de 37 itens.

#	Casos na Base	Polo	Natureza do Problema	Ação
21	Caso 21	Boa Vista	Acadêmica	Visualizar descrição e solução
22	Caso 22	Boa Vista	Acadêmica	Visualizar descrição e solução
23	Caso 23	Manaquiri	Acadêmica	Visualizar descrição e solução
24	Caso 24	Boa Vista	Pedagógica	Visualizar descrição e solução
25	Caso 25	Boa Vista	Pedagógica	Visualizar descrição e solução
26	Caso 26	Manacapuru	Infraestrutura/Administrativo	Visualizar descrição e solução
27	Caso 27	Tefé	Acadêmica	Visualizar descrição e solução
28	Caso 28	Tefé	Acadêmica	Visualizar descrição e solução
29	Caso 29	Boa Vista	Pedagógica	Visualizar descrição e solução
30	Caso 30	Tarauacá	Pedagógica	Visualizar descrição e solução
31	Caso 31	Coari	Infraestrutura/Administrativa	Visualizar descrição e solução
32	Caso 32	Parintins	Infraestrutura/Administrativa	Visualizar descrição e solução
33	Caso 33	Tarauacá	Infraestrutura/Administrativa	Visualizar descrição e solução
34	Caso 34	Borba	Infraestrutura/Administrativa	Visualizar descrição e solução
35	Caso 35	Tefé	Infraestrutura/Administrativa	Visualizar descrição e solução

Todas as buscas realizadas

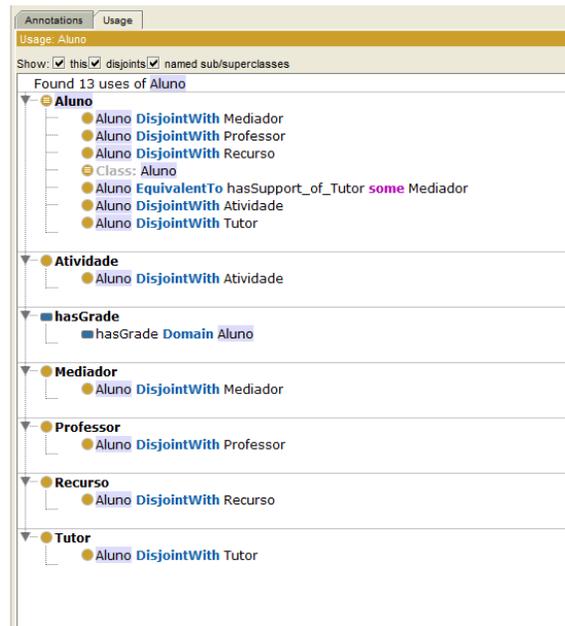
Exibindo 1-20 de 53 itens.

#	Polo	Relator	Natureza do Problema	Palavras-chaves	Método de Pesquisa	Ações
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
1	Santa Izabel do Rio Negro	Coordenador Tutor	Infraestrutura/Administrativa	internet	CBR	
2	Santa Izabel do Rio Negro	(não definido)	(não definido)	(não definido)	Especialistas	
3	Santa Izabel do Rio Negro		Pedagógico	internet, reprovação	CBR, Especialistas	
4	Santa Izabel do Rio Negro	Coordenador Polo	Infraestrutura/Administrativa	Problema internet	CBR	
5	Santa Izabel do Rio Negro	(não definido)	(não definido)	reprovação	AVA, Especialistas	
6	Santa Izabel do Rio Negro	Coordenador Polo	Infraestrutura/Administrativa	Problema internet	CBR	
7	Santa Izabel do Rio Negro	Coordenador Polo	Infraestrutura/Administrativa	Problema internet	CBR	
8	Santa Izabel do Rio Negro	(não definido)	(não definido)	(não definido)	Especialistas	
9	Santa Izabel do Rio Negro	(não definido)	(não definido)	(não definido)	Especialistas	
10	Santa Izabel do Rio Negro	(não definido)	(não definido)	(não definido)	Especialistas	
11	Santa Izabel do Rio Negro	(não definido)	(não definido)	(não definido)	Especialistas	
12	Boa Vista	Coordenador Tutor	Infraestrutura/Administrativa	Problema internet, download vídeos.	CBR	
13	Santa Izabel do Rio Negro	(não definido)	(não definido)	(não definido)	Especialistas	

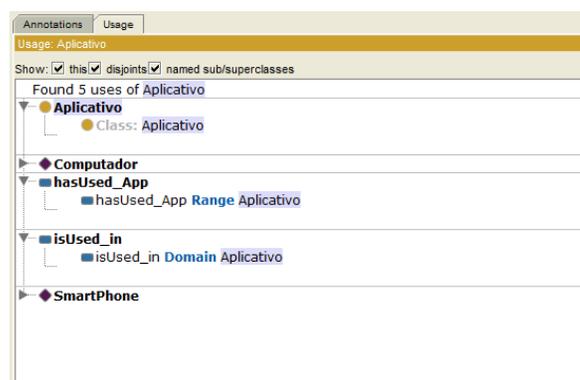
Apêndice G – A Ontologia ontoCED

G.1 Propriedades das classes

Classe: ALUNO



Classe: APLICATIVO



Classe: ATIVIDADE

Annotations Usage

Usage: Atividade

Show: this disjoints named sub/superclasses

Found 11 uses of Atividade

- Aluno
 - Aluno **DisjointWith** Atividade
- Atividade
 - Class: Atividade
 - Atividade **DisjointWith** Recurso
 - Atividade **DisjointWith** Mediador
 - Aluno **DisjointWith** Atividade
- hasParticipation_in
 - hasParticipation_in **Range** Atividade
- isParticipated_by
 - isParticipated_by **Domain** Atividade
- Mediador
 - Atividade **DisjointWith** Mediador
- Recurso
 - Atividade **DisjointWith** Recurso
- Textos
 - Textos **SubClassOf** Atividade
- Upload
 - Upload **SubClassOf** Atividade

Classe: CURSO

Annotations Usage

Usage: Curso

Show: this disjoints named sub/superclasses

Found 12 uses of Curso

- Bacharelado em Administração
- Bacharelado em Administração Pública
- Biologia
- Curso
 - Class: Curso
- hasHosted
 - hasHosted **Range** Curso
- hasPart
 - hasPart **Domain** Curso
- isHosted_on
 - isHosted_on **Domain** Curso
- isPart_of
 - isPart_of **Range** Curso
- Licenciatura em Administração Pública
- Licenciatura em Artes Visuais
- Licenciatura em Ciências Agrárias
- Licenciatura em Educação Física

Classe: DISCIPLINA

Annotations Usage

Usage: Disciplina

Show: this disjoints named sub/superclasses

Found 20 uses of Disciplina

- Agrobiologia
- Biologia_Básica
- Biologia_Geral
- Ciência_Política
- Contabilidade_Geral
- Curso_de_Nivelamento
- Disciplina
 - Class: Disciplina
- Estágio_Curricular_I
- Estágio_Curricular_II
- Estágio_Curricular_III
- Fruticultura
- Fundamentos_de_Anatomia
- hasPart
 - hasPart Range Disciplina
- hasUsed_App
 - hasUsed_App Domain Disciplina
- Informática_Aplicada
- Introdução_Disciplinar
- isPart_of
 - isPart_of Domain Disciplina
- isUsed_in
 - isUsed_in Range Disciplina

Classe: MEDIADOR

Annotations Usage

Usage: Mediador

Show: this disjoints named sub/superclasses

Found 13 uses of Mediador

- Aluno
 - Aluno DisjointWith Mediador
 - Aluno EquivalentTo hasSupport_of_Tutor some Mediador
- Atividade
 - Atividade DisjointWith Mediador
- Coordenador
 - Coordenador SubClassOf Mediador
- hasSupport_of_Mediator
 - hasSupport_of_Mediator Range Mediador
- isResponsible_for_Student
 - isResponsible_for_Student Domain Mediador
- Mediador
 - Aluno DisjointWith Mediador
 - Atividade DisjointWith Mediador
 - Class: Mediador
 - Mediador DisjointWith Recurso
- Professor
 - Professor SubClassOf Mediador
- Recurso
 - Mediador DisjointWith Recurso
- Tutor
 - Tutor SubClassOf Mediador

Classe: NOTA

Annotations Usage

Usage: Nota

Show: this disjoints named sub/superclasses

Found 3 uses of Nota

- hasGrade
 - hasGrade Range Nota
- isGrade_of
 - isGrade_of Domain Nota
- Nota
 - Class: Nota

Classe: POLO

Annotations Usage

Usage: Polo

Show: this disjoints named sub/superclasses

Found 31 uses of Polo

- Acrelândia
- Autazes
- Barcelos
- Benjamin_Constant
- Boa_Vista
- Bonfim
- Borba
- Brasília
- Caracarái
- Caroebe
- Coari
- Eirunepé
- Guajará
- hasHosted
 - hasHosted Domain Polo
- Humaitá
- Iracema
- isHosted_on
 - isHosted_on Range Polo
- Itacoatiara
- Lábrea
- Manacapuru
- Manaquiri
- Manaus
- Maués
- Mucajá
- Parintins
- Polo
 - Class: Polo

Classe: RECURSO

Annotations Usage

Usage: Recurso

Show: this disjoints named sub/superclasses

Found 13 uses of Recurso

- Aluno
 - Aluno **DisjointWith** Recurso
- Atividade
 - Atividade **DisjointWith** Recurso
- Calendario
 - Calendario **SubClassOf** Recurso
- Chat
 - Chat **SubClassOf** Recurso
- Forum
 - Forum **SubClassOf** Recurso
- hasUsed_Resource
 - hasUsed_Resource **Range** Recurso
- isUsed_by
 - isUsed_by **Domain** Recurso
- Mediador
 - Mediador **DisjointWith** Recurso
- Mensagem
 - Mensagem **SubClassOf** Recurso
- Recurso
 - Class: Recurso
 - Aluno **DisjointWith** Recurso
 - Atividade **DisjointWith** Recurso
 - Mediador **DisjointWith** Recurso

Classe: TURMA

Annotations Usage

Usage: Turma

Show: this disjoints named sub/superclasses

- hasSupport_of_Teacher
 - hasSupport_of_Teacher **Domain** Turma
- hasSupport_of_Tutor
 - hasSupport_of_Tutor **Domain** Turma
- 'IBM_211_-_2014/1_(D)'
- 'IEF_289_-_2013/2_(R)'
- isResponsible_for_Class1
 - isResponsible_for_Class1 **Range** Turma
- isResponsible_for_Class2
 - isResponsible_for_Class2 **Range** Turma
- Turma

Apêndice H – Publicações da autora

Publicações em Anais de Congressos:

- 1) SILVA, J. S., TELES LUCENA, K. K. e OLIVEIRA, E. H. T. “WebMonitor: uma ferramenta para monitoramento e acompanhamento de cursos em um AVA”. In: Proceedings of the IV Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE). Maceió, 2015.
- 2) TELES LUCENA, K. K., GUSMÃO, T. H. Y., ABREU, A. e OLIVEIRA, E. H. T. “Uma arquitetura de agente RBC baseada em ontologias para suporte a EaD”. In: Anais do XXVIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE), Recife, 2017.
- 3) TELES LUCENA, K. K., SILVA, J. S., FROTA, V. B., OLIVEIRA, E. H. T. and GADELHA, B. F. “MobiMonitor: a Mobile App for Monitoring Distance Courses in the Amazon Region”. In: Proceedings of the IEEE Frontiers in Education Conference. Volume 1, pp. 2126-2133, Madrid, 2014a.
- 4) TELES LUCENA, K. K., SILVA, J. S., OLIVEIRA, E. H. T., GADELHA, B. F. e LUCENA FILHO, W. “Um Sistema Multiagente para Suporte a Mobile Learning em Educação a Distância”. In: Proceedings of the XIX Congresso Internacional de Informática Educativa (TISE). Volume 10, pp. 226-245. Fortaleza, 2014b.
- 5) TELES LUCENA, K. K., MOURA, L., NASCIMENTO, S., OLIVEIRA, A. R., SOUZA, G. e LUCENA, W. “O desafio da educação a distância na Amazônia: Um Estudo de Caso”. In: Anais do I Simpósio Internacional de Educação a Distância (SIED: ENPED). ISSN: 2316-8722. São Carlos. 2012.

Capítulo de livro publicado:

- 1) OLIVEIRA, E. H. T., CARVALHO, J. R. H., OLIVEIRA, H. A. B. F., GADELHA, B. F., TELES LUCENA, K. K., RAMOS, D. B., RAMOS, I. M. M., NASCIMENTO, P. B. e CARVALHO, I. A. V. A. “Higher Education in the Amazon: Challenges and Initiatives”. In: Alexandra Ioana Cristea; Ig Ibert Bittencourt; Fernanda Lima. (Org.). Communications in Computer and Information Science. 1ª ed.: Springer International Publishing, 2018, v. 832, p. 17-31.