

**LUCIANA VIEIRA CASTILHO WEINERT**

**ONTOLOGIAS E TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL  
APLICADAS AO DIAGNÓSTICO EM FISIOTERAPIA NEUROPEDIÁTRICA**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, como requisito parcial para obtenção do título de “Doutor em Ciências” – Área de Concentração: Engenharia Biomédica.

Orientador: Prof. Dr. Heitor Silvério Lopes

Curitiba

2010

---

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

---

- C352      Castilho-Weinert, Luciana Vieira  
            Ontologias e técnicas de inteligência artificial aplicadas ao diagnóstico em fisio-  
            terapia neuropediátrica / Luciana Vieira Castilho Weinert. — 2010.  
            251 p. : il. ; 30 cm
- Orientador : Heitor Silvério Lopes  
            Tese (Doutorado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de  
            Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Curitiba, 2010  
            Bibliografia : 163-181
1. Inteligência artificial. 2. Sistemas especialistas (Computação). 3. Crianças –  
            Doenças - Diagnóstico. 4. Neurologia pediátrica. 5. Engenharia elétrica – Teses. I.  
            Lopes, Heitor Silvério, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pro-  
            grama de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial. III. Títu-  
            lo.

CDD (22. ed.) 621.3

Título da Tese Nº 51:

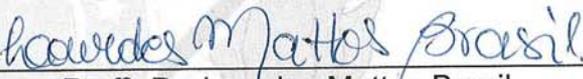
**“Ontologias e Técnicas de Inteligência Artificial  
Aplicadas ao Diagnóstico em Fisioterapia  
Neuropediátrica”**

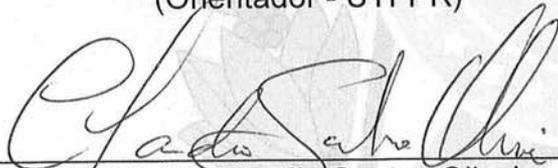
por

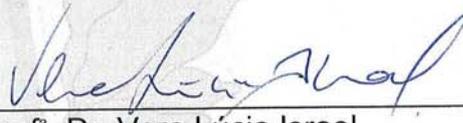
**Luciana Vieira Castilho Weinert**

Esta tese foi apresentada, às 13h do dia 26 de fevereiro de 2010, como requisito parcial para a obtenção do título de DOUTOR EM CIÊNCIAS – Área de Concentração: Engenharia Biomédica, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial – CPGEI –, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. O trabalho foi aprovado pela Banca Examinadora, composta pelos professores:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Héitor Silvério Lopes  
(Orientador - UTFPR)

  
\_\_\_\_\_  
Prof<sup>a</sup>. Dr. Lourdes Mattos Brasil  
(UnB)

  
\_\_\_\_\_  
Prof<sup>a</sup>. Dr. Claudia Santos Oliveira  
(UNINOVE)

  
\_\_\_\_\_  
Prof<sup>a</sup>. Dr. Vera Lúcia Israel  
(UFPR)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. César Augusto Tacla  
(UTFPR)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Laudelino Cordeiro Bastos  
(UTFPR)

Visto da coordenação:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Humberto Remígio Gamba  
(Coordenador do CPGEI)



*Dedico esta Tese ao meu marido Wagner,  
sem o qual este sonho não seria possível.*



## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por sempre iluminar meu caminho na busca pela recuperação da minha saúde, por me dar forças para não desistir, e por me permitir alcançar este sonho.

Ao Prof. Dr. Heitor Silvério Lopes, como orientador, por sua paciência, apoio, dedicação e principalmente por suas palavras de encorajamento. Nestes sete anos em que foi meu orientador só tenho a agradecer. Posso dizer que o considero como se fosse meu pai.

Ao Prof. Dr. Cesar Augusto Tacla por sua paciência e imensa boa vontade em sanar minhas dúvidas.

As Professoras Vera Lúcia Israel e Lourdes Mattos Brasil por todas as contribuições durante o exame de qualificação.

Ao meu marido Wagner por seu amor incondicional, por jamais ter me permitido desistir de lutar por este sonho, pela sua constante presença e incansável disposição para me ajudar, e por sempre me incentivar a continuar vendo motivação em viver a vida.

Agradeço a meus pais Loide e Vilson, pois durante toda a vida me ensinaram que o estudo é a principal atividade da vida e o conhecimento o bem mais importante que se pode possuir. Minha eterna gratidão a eles, que muitas vezes se privaram de sonhos pessoais para que hoje eu pudesse estar aqui.

Agradeço também a todos os meus familiares por compreenderem minha grande ausência.

Aos meus amigos Maria Cecília, César, Cesar, Betito, Andréia, Hugo, Michele, Carla, Rafael, Chidam e tantos outros que me proporcionaram inúmeros momentos de alegria.

À minha querida amiga Cláudia Bellani pelas palavras de grande incentivo e encorajamento.

À psicóloga Samanta Rocha por sua amizade e competência.

À médica veterinária Glaucia Martins por sua amizade, dedicação e profissionalismo.

Às fisioterapeutas Cyntia, Cláudia e Cristiane pela disponibilidade em compartilhar seu conhecimento.

À AMCIP, em especial sua diretora Marisa, por sempre me receberem de portas abertas.

A todos os voluntários que participaram e tornaram esta pesquisa viável.

A todas aquelas pessoas, que mesmo não tendo sido citadas aqui, contribuíram de diversas maneiras para a conclusão deste trabalho.

À CAPES pela bolsa.



“... No mundo, passais por aflições;  
mas tende bom ânimo; Eu venci o mundo.”

*João 16:33*

“Considerarei todas as obras que fizeram as minhas mãos,  
como também o trabalho que eu, com fadigas, havia feito;  
e eis que tudo era vaidade e correr atrás do vento...”

*Eclesiastes 2:11*



## RESUMO

CASTILHO-WEINERT, Luciana Vieira. Ontologias e técnicas de inteligência artificial aplicadas ao diagnóstico em fisioterapia neuropediátrica. 2010. 251p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

Esta tese propõe uma metodologia baseada em Ontologias e técnicas de Inteligência Artificial para apoio ao diagnóstico e ao processo de ensino-aprendizagem em Fisioterapia Neuropediátrica. Nesta área são escassas as medidas objetivas que permitam quantificar o diagnóstico e a evolução de um paciente. O diagnóstico é limitado a informar em quais meses do desenvolvimento motor normal um paciente pode ser classificado, baseando-se na experiência subjetiva do fisioterapeuta. Neste trabalho foram utilizados métodos formais para a aquisição e representação do conhecimento de especialistas da área. Conflitos de opiniões foram tratados sistematicamente e o conhecimento foi representado por uma Ontologia. Esta gerou um conjunto de regras de classificação a partir do qual três abordagens foram desenvolvidas: um sistema especialista *crisp*, um *fuzzy* e um baseado em modelos determinísticos. O primeiro teve um desempenho não condizente com a realidade do problema. O segundo se mostrou também inadequado. A abordagem com modelos determinísticos se mostrou adequada para classificar um paciente com diferentes graus de pertinência a múltiplos meses do desenvolvimento motor. Os resultados utilizando esta metodologia sugerem que o mesmo é capaz de simular objetivamente o diagnóstico fornecido por especialistas ao analisarem casos reais, em 90% dos casos. Uma extensão do trabalho foi a utilização da Ontologia em uma ferramenta de suporte ao processo de ensino-aprendizagem deste conteúdo em Fisioterapia. Esta abordagem mostrou resultados satisfatórios, tendo sido utilizada tanto por profissionais quanto por alunos, mostrando o seu potencial como recurso multimídia de ensino. 85% dos profissionais entrevistados concordaram fortemente sobre o potencial da ontologia para se tornar uma nova forma de contribuição ao processo de ensino-aprendizagem deste conteúdo. As principais contribuições desta tese são: a gestão eficiente do conhecimento em um domínio cuja característica é a fraca sistematização e a subjetividade; metodologias para apoio à quantificação do diagnóstico do paciente neuropediátrico; e o desenvolvimento de uma ferramenta para suporte ao ensino baseado em uma Ontologia.

**Palavras-chave:** Ontologias. Inteligência artificial. Sistema especialista. Diagnóstico. Fisioterapia neuropediátrica. Ensino-aprendizagem.



## *ABSTRACT*

CASTILHO-WEINERT, Luciana Vieira. Ontologies and Artificial Intelligence Techniques to Support Neuropediatric Physiotherapy Diagnosis. 2010. 251p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

This thesis proposes a new methodology based on ontologies and artificial intelligence techniques to support the diagnosis and the teaching-learning process in neuropediatric physiotherapy. In this area, standardized and objective measurements to quantify the diagnosis are difficultly found. The diagnosis is limited to inform in which months of the normal motor development a patient can be classified, based upon only on the subjective experience of the physiotherapist. In this work formal methods for knowledge acquisition and representations were used. Possible divergences of opinions between experts were systematically treated, and the acquired knowledge was represented as an ontology. Such ontology generated a set of classification rules from which three different approaches for diagnosis were developed: a crisp expert system, a fuzzy system, and another approach based on deterministic models. The crisp expert system did not accomplish to the problem. The fuzzy approach was not adequate too. The last approach was shown to be adequate for classifying a given patient with different degrees of membership to several months of the motor development. Results using this methodology suggested that it is capable of simulating objectively the diagnosis from human experts when analyzing real-world cases, in 90% of the cases. An extension of this work is the use of the developed ontology in a tool to support the teaching-learning process of neuropediatric physiotherapy. Such approach revealed fairly satisfactory. It was tested by professionals and students, and both found it promising as a multimedia educational resource. 85% strongly agreed about the ontology potential to be used as a tool for teaching-learning process. Overall, the main contributions of this thesis are: efficient knowledge management in a domain with weak standardization and high subjectivity of expert knowledge; methodologies for supporting the quantification of the diagnosis of a neuropediatric patient; and the development of an ontology-based multimedia tool for educational purposes.

**Key-words:** Ontologies. Artificial intelligence. Expert system. Diagnosis. Neuropediatric physiotherapy. Teaching-learning.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Rede semântica do conceito pássaro.....	37
Figura 2: Representação de um pássaro genérico com expectativas (nome, cor, dono) .....	38
Figura 3: Representação de um pássaro real tipo cardeal .....	38
Figura 4: Comparação entre um conjunto clássico (a) e um <i>fuzzy</i> (b) para pessoas altas .....	47
Figura 5: Componentes de um sistema <i>fuzzy</i> .....	47
Figura 6: Origem das linguagens para ontologias .....	60
Figura 7: Processo Fisioterapêutico em Fisioterapia Neuropediátrica e sua relação com o diagnóstico e o Conceito Neuroevolutivo Bobath.....	68
Figura 8: Entrevista semi-estruturada e respostas obtidas dos especialistas .....	75
Figura 9: Entrevista estruturada sobre o perfil de uma criança com 1 mês de idade motora...	77
Figura 10: Determinação das ponderações pelos especialistas .....	79
Figura 11: Possibilidades de ciclos de vida previstos na metodologia IBIS .....	80
Figura 12: Modelo para emergência de consenso em conflito de opiniões.....	81
Figura 13: Gerenciamento de um conflito durante o processo de entrevistas.....	82
Figura 14: Hierarquia de conceitos da ontologia (Parte I) .....	92
Figura 15: Hierarquia de conceitos da ontologia (Parte II).....	93
Figura 16: Especificação do domínio e da imagem das relações do glossário.....	94
Figura 17: Continuação especificação do domínio e da imagem das relações do glossário ....	95
Figura 18: Exemplo de restrições declaradas para uma classe.....	106
Figura 19: Hierarquia declarada e hierarquia inferida pelo RACER .....	106
Figura 20: Exemplo de análise do raciocinador .....	107
Figura 21: Formato de arquivo “.arff” utilizado pela ferramenta WEKA.....	110
Figura 22: Representação da base de dados na ferramenta WEKA .....	111
Figura 23: Regras encontradas pelo algoritmo J48 .....	112
Figura 24: Apresentação da ferramenta – interface inicial.....	114
Figura 25: Inserção das variáveis e de seus valores no <i>Expert SINTA</i> .....	115
Figura 26: Criação das variáveis-objetivo.....	116
Figura 27: Implementação das regras.....	116
Figura 28: Exemplo de uma regra no SINTA .....	117
Figura 29: Perguntas que serão efetuadas na interface com o usuário .....	118
Figura 30: Exemplo de interface com o usuário durante a execução do SE .....	118
Figura 31: Resposta do SINTA .....	119

Figura 32: Apresentação de como o SINTA chega a uma conclusão através do motor de inferência.....	120
Figura 33: Função de pertinência Gaussiana.....	123
Figura 34: Função de pertinência da variável lingüística ReflexoDeMoro.....	123
Figura 35: Questionário para coleta de dados de pacientes reais .....	128
Figura 36: Escala visual analógica para coleta de dados de pacientes reais .....	129
Figura 37: Visualização do conhecimento sobre o domínio de forma hierárquica .....	133
Figura 38: Características do primeiro mês DMN com distinção das características imprescindíveis (primeira seta) das facultativas (segunda seta) .....	133
Figura 39: Classificação de novos perfis de pacientes .....	134
Figura 40: Instanciação com comentários e ilustrações .....	135
Figura 41: Visualização generalista do processo de diagnóstico .....	136
Figura 42: Observação dos elementos do DMN considerados na definição da idade motora	136
Figura 43: Observação da relação entre os elementos considerados na definição da idade motora.....	137
Figura 44: Visão com amplo detalhamento dos conceitos envolvidos no diagnóstico .....	138
Figura 45: Eficiência das métricas para diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica .....	150
Figura 46: Resultados obtidos com os questionários aplicados aos profissionais .....	154
Figura 47: Resultados obtidos com os questionários aplicados aos alunos .....	155

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Perfil dos especialistas entrevistados .....	73
Tabela 2: Variação da ocorrência de conflitos entre as informações dos especialistas .....	83
Tabela 3: Glossário de termos .....	87
Tabela 4: Dicionário de conceitos .....	96
Tabela 5: Definição detalhada das relações binárias (Parte I).....	100
Tabela 6: Definição detalhada das relações binárias (Parte II) .....	101
Tabela 7: Resumo das informações do processo de AC .....	103
Tabela 8: Variáveis lingüísticas presentes no diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica.	122
Tabela 9: Resultados apresentados pelo sistema .....	130
Tabela 10: Características da amostra analisada .....	144
Tabela 11: Resultados da aplicação de modelos determinísticos.....	145
Tabela 12: Perfil dos entrevistados .....	154



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	- Aquisição do Conhecimento
BVS	- Biblioteca Virtual em Saúde
CNF	- Fator de Confiança
DAML	- <i>DARPA Markup Language</i>
DL	- <i>Description Logic</i> - Lógica de Descrições
DMN	- Desenvolvimento Motor Normal
EMYCIN	- <i>Empty MYCIN</i>
<i>FLogic</i>	- <i>Frame Logic</i>
GC	- Gestão do Conhecimento
HTML	- <i>HyperText Markup Language</i>
IA	- Inteligência Artificial
IBIS	- <i>Issue-Based Information System</i>
JESS	- <i>Java Expert System Shell</i>
KIF	- <i>Knowledge Interchange Format</i>
LIA	- Laboratório de Inteligência Artificial
NCBI	- <i>National Center for Biotechnology Information</i>
OCML	- <i>Operational Conceptual Modelling Language</i>
OIL	- <i>Ontology Interchange Language</i>
OWL	- <i>Web Ontology Language</i>
PBL	- <i>Problem-Based Learning</i>
RACER	- <i>Renamed ABox and Concept Expression Reasoner Professional</i>
RC	- Representação do Conhecimento
RDF	- <i>Resource Description Framework</i>
SE	- Sistema Especialista
SEs	- Sistemas Especialistas
SHOE	- <i>Simple HTML Ontology Extensions</i>
SHriMP	- Simple Hierarchical Multi-Perspective
SINTA	- Sistemas INTeligentes Aplicados
W3C	- <i>World Wide Web Consortium</i>
WEKA	- <i>Waikato Environment for Knowledge Analysis</i>
XML	- <i>Extensible Markup Language</i>

XOL - *XML-based Ontology-exchange Language*

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>25</b>
1.1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVAS .....	25
1.2 OBJETIVOS .....	29
1.3 ESTRUTURA DA TESE .....	29
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>31</b>
2.1 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL .....	31
2.1.1 Aquisição e representação do conhecimento.....	31
2.1.1.1 Definição de Conhecimento .....	31
2.1.1.2 Aquisição do conhecimento .....	32
2.1.1.3 Técnicas para elicitación do conhecimento .....	33
2.1.1.4 Representação do conhecimento .....	35
2.1.1.5 Técnicas para representação do conhecimento .....	36
2.1.1.6 Gestão do conhecimento .....	38
2.1.1.7 Ciclo de vida do conhecimento e a gestão do conhecimento em saúde .....	39
2.1.2 Estratégias de inferência.....	41
2.1.2.1 Sistemas especialistas.....	41
2.1.2.2 Raciocínio baseado em casos .....	43
2.1.2.3 Raciocínio baseado em modelo.....	45
2.1.3 Inferência através de sistemas <i>fuzzy</i> .....	46
2.1.4 Ferramentas para inferência em IA .....	49
2.2 ONTOLOGIAS .....	50
2.2.1 Vantagens das ontologias .....	52
2.2.2 Estrutura de uma ontologia.....	53
2.2.3 Classificação das ontologias.....	53
2.2.4 Aplicações das ontologias .....	54
2.2.5 Metodologias para o desenvolvimento de ontologias .....	55
2.2.5.1 Metodologia de Uschold e King .....	56
2.2.5.2 Metodologia de Grüninger e Fox .....	56
2.2.5.3 <i>Methontology</i> .....	57
2.2.5.4 Metodologia de Noy e McGuinness.....	58
2.2.5.5 Metodologia <i>On-To-Knowledge Methodology</i> .....	59
2.2.6 Linguagens para ontologias.....	59

2.2.7	Lógica de descrições .....	61
2.2.8	Ferramentas para desenvolvimento de ontologias.....	62
2.3	MÉTRICAS PARA ANÁLISE DE SIMILARIDADE.....	63
2.3.1	Métricas de Minkowski .....	63
2.3.2	Análise de correlação .....	64
2.4	PROCESSO DE DIAGNÓSTICO.....	65
2.4.1	Diagnóstico em Saúde .....	65
2.4.2	Diagnóstico em Fisioterapia.....	66
2.4.3	Diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica .....	67
2.5	TRABALHOS CORRELATOS .....	70
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA PARA AQUISIÇÃO E REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO.....</b>	<b>73</b>
3.1	PROCESSO DE AQUISIÇÃO DO CONHECIMENTO.....	73
3.1.1	Procedimento para planejamento e realização das entrevistas .....	74
3.1.2	Gerenciamento de conflitos entre especialistas.....	79
3.2	METODOLOGIA PARA REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO EM UMA ONTOLOGIA .....	83
3.2.1	Metodologia de construção da ontologia.....	84
3.2.1.1	Atividade de especificação .....	84
3.2.1.2	Atividade de conceitualização.....	87
3.2.2	Implementação e documentação .....	105
3.2.3	Verificação de consistência da ontologia .....	105
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA PARA INFERÊNCIA DE DIAGNÓSTICOS .....</b>	<b>109</b>
4.1	EXTRAÇÃO DE REGRAS DA BASE DE CONHECIMENTO DA ONTOLOGIA	109
4.2	DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA .....	114
4.3	METODOLOGIA DE INFERÊNCIA <i>FUZZY</i> .....	121
4.4	SISTEMA BASEADO EM MODELOS DETERMINÍSTICOS.....	125
4.4.1	Taxa de acerto .....	125
4.4.2	Métricas de Minkowski .....	126
4.4.3	Coefficiente de correlação de Pearson.....	127
4.4.4	Protocolo de coleta de dados de casos de pacientes reais .....	127
4.4.5	Interpretação dos resultados .....	129
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA BASEADA EM ONTOLOGIAS PARA ENSINO EM FISIOTERAPIA NEUROPEDIÁTRICA .....</b>	<b>131</b>

5.1 MOTIVAÇÃO .....	131
5.2 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO DA ONTOLOGIA PARA ENSINO .....	132
5.3 INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DA ONTOLOGIA PARA ENSINO .....	138
5.4 CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA E DA APLICAÇÃO DOS QUESTIONÁRIOS .....	139
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>141</b>
6.1 PROCESSOS DE AQUISIÇÃO E REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO.....	141
6.1.1 Resultados .....	141
6.1.2 Discussão.....	141
6.2 RESULTADOS OBTIDOS COM AS INFERÊNCIAS SOBRE DIAGNÓSTICOS ...	142
6.2.1 Resultados do sistema especialista <i>crisp</i> .....	142
6.2.2 Resultados da metodologia de inferência <i>fuzzy</i> .....	143
6.2.3 Resultados obtidos pelos modelos determinísticos de inferência .....	143
6.2.4 Discussão sobre as abordagens de inferência.....	151
6.3 METODOLOGIA BASEADA EM ONTOLOGIAS PARA ENSINO.....	153
6.3.1 Resultados .....	153
6.3.2 Discussão.....	155
<b>7 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>159</b>
7.1 CONCLUSÕES .....	159
7.2 TRABALHOS FUTUROS .....	161
<b>ANEXO I - APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISAS .....</b>	<b>183</b>
<b>ANEXO II - TERMO DE CONSENTIMENTO .....</b>	<b>185</b>
<b>ANEXO III - TERMO DE CONSENTIMENTO .....</b>	<b>189</b>
<b>ANEXO IV - TERMO DE CONSENTIMENTO .....</b>	<b>193</b>
<b>ANEXO V - TERMO DE CONSENTIMENTO.....</b>	<b>197</b>
<b>ANEXO VI - PUBLICAÇÃO EM CONGRESSO INTERNACIONAL.....</b>	<b>201</b>
<b>ANEXO VII - PUBLICAÇÃO EM CAPÍTULO DE LIVRO INTERNACIONAL.....</b>	<b>209</b>
<b>ANEXO VIII - PUBLICAÇÃO EM PERIÓDICO NACIONAL .....</b>	<b>237</b>



## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

#### 1.1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVAS

A informática em saúde é a utilização de computadores e da tecnologia da informação em diversas áreas de saúde para o desenvolvimento de pesquisas, para a educação profissional e acadêmica, e para auxílio no processo de tomada de decisão (HAUX, 1997; SHORTLIFFE et al., 2001; HAUX, 2006).

Um tópico particular de estudo do processo de tomada de decisão é o diagnóstico, que é um processo complexo, pois depende da execução de várias tarefas cognitivas simultaneamente. Estas tarefas envolvem a aplicação da inteligência humana para a coleta e a análise de informações, o gerenciamento e o relacionamento destas com o conhecimento profissional prévio, o monitoramento da progressão do quadro clínico e a revisão do diagnóstico preestabelecido (SHORTLIFFE et al., 2001).

Druzdzal e Flynn (2002) descrevem que os sistemas de apoio ao diagnóstico tem muito valor em situações onde existe grande quantidade de informações disponíveis para serem analisadas pela inteligência humana, e nas quais a precisão é importante. Estes sistemas auxiliam a correção de falhas humanas, pois integram várias fontes de informação, realizam acesso inteligente ao conhecimento relevante e fornecem decisões estruturadas.

Neste contexto, as áreas de saúde podem se beneficiar muito da Inteligência Artificial (IA), uma área específica da informática que, segundo Barr e Feigenbaum (1986), fornece métodos e técnicas para o desenvolvimento de sistemas que simulam comportamentos inteligentes.

Em IA, o termo “conhecimento” significa a informação que um programa de computador necessita para que possa se comportar inteligentemente (LUGER, 2009). Para que esta informação possa se transformar em um sistema inteligente, o primeiro passo é realizar a Aquisição do Conhecimento (AC).

O processos de AC e Representação do Conhecimento (RC) podem ser definidos como a extração, a transformação e a transferência de informação de uma fonte de conhecimento para um programa de computador. A meta destes processos é obter o conhecimento para solucionar problemas (SOWA, 2000).

Dentre várias formas de se representar o conhecimento, uma forma bastante eficiente é a representação através de uma ontologia. Ontologias compreendem representações hierárquicas de objetos e conceitos que existem em um domínio, bem como as relações existentes entre estes (NOY e McGUINNESS, 2000). Segundo Pincirolí e Pisanelli (2006) as ontologias são a base para o desenvolvimento de sistemas de informação sólidos e efetivos nas áreas de saúde.

A literatura recente referencia a existência de várias ontologias de aplicação desenvolvidas com sucesso em diferentes áreas da saúde, como, na medicina tradicional chinesa (ZHOU et al., 2004), no sistema público de saúde (DIENG-KUNTZ et al., 2006), na farmacologia (HENEGAR et al., 2006), na terapia intensiva (CHARLET, BACHIMONT e JAULENT, 2006), na pneumologia (BANEYX, CHARLET e JAULENT, 2007) e no ensino de Fisioterapia (WILKINSON, 2007).

Uma vez representado formalmente, o conhecimento precisa ser manipulado. Para reorganizar o conhecimento e melhorar o processo de decisão, pode-se realizar inferências ou deduções através dos Sistemas Especialistas (SEs). Um Sistema Especialista (SE) é um sistema de IA criado para resolver problemas em um determinado domínio cujo conhecimento representado é fornecido por pessoas que são especialistas neste domínio (LUGER, 2009). Os SEs são importantes por não serem influenciados por elementos externos, como ocorre com o especialista humano durante a tomada de decisão (FÁVERO e SANTOS, 2005).

Os SEs são aplicados a quase todos os tipos de situações em que se requer raciocínios formais para se obter uma solução. Há relato de vários trabalhos em que diagnósticos médicos se embasam em SEs, como para o diagnóstico radiológico (GELL, 1993), para a eletromiografia (LIGUORI, 1997), para a medicina chinesa (WANG et al., 2004) para a hepatite (NEIROTTI et al., 2005) e para as doenças da tireóide (KELES e KELES, 2008).

Entende-se que a IA, através das ontologias e dos SEs, tem grande potencial no desenvolvimento de metodologias para apoio ao diagnóstico, pois possibilita a aquisição e a representação formal do conhecimento, assim como a manipulação deste conhecimento eficientemente.

Uma vez que os dados obtidos dos pacientes podem ser bastante subjetivos ou, ainda que aparentemente objetivos não têm a capacidade de formar um conjunto de dados representativos para mensuração, então se enfrenta o problema de como se obter diagnósticos quantitativos, e, conseqüentemente, de como se mensurar dados obtidos durante a avaliação e a reavaliação de um paciente, para que se estabeleçam resultados e prognósticos.

Na área da Fisioterapia percebe-se menor ênfase na sistematização do processo de diagnóstico do que em outras áreas de saúde (JAMES, 2002; CASTILHO, LOPES e TACLA, 2008). As metodologias de IA para apoio ao diagnóstico nesta área são praticamente inexistentes. Conseqüentemente, a literatura relata um escasso desenvolvimento e utilização de sistemas inteligentes para apoio ao diagnóstico em Fisioterapia. Portanto, há uma necessidade intensa de inserção de cientificidade e de objetividade no processo de diagnóstico fisioterapêutico para que seja possível obter mais precisão e inferir quantitativamente o estado atual de funcionalidade de um paciente e sua melhora em um momento posterior.

Na Fisioterapia, assim como na Medicina existem diferentes áreas de atuação profissional. Uma destas é a Fisioterapia Neuropediátrica, uma área de ampla abrangência que envolve desde o diagnóstico, até os procedimentos de intervenção e de reavaliação de pacientes que possuem distúrbios da postura e do movimento ocasionados em conseqüência de uma lesão no sistema nervoso central (BLY, 1994).

Para Carr e Shepherd (2006) os fisioterapeutas precisam adquirir a responsabilidade de utilizar práticas baseadas em evidências e métodos objetivos de intervenção e mensuração da evolução de seus pacientes neurológicos.

Várias publicações em livros e periódicos especializados embasam o processo de diagnóstico e tratamento em Fisioterapia Neuropediátrica. Entretanto, nem todos os fisioterapeutas e demais profissionais de saúde compreendem e conseguem sistematizar o conhecimento relativo a este domínio.

Com o desenvolvimento da tecnologia da informação e a disseminação do uso da internet, grandes quantidades de bases de dados são criadas e utilizadas por grupos isolados de profissionais (ZHOU et al., 2004). Como o domínio da Fisioterapia Neuropediátrica tem características predominantemente subjetivas e fraca sistematização dos conceitos envolvidos, o principal obstáculo para a sua representação formal é a grande quantidade de informação ambígua que impede a criação de um vocabulário consensual, e, conseqüentemente, o desenvolvimento de diagnósticos menos subjetivos.

A avaliação quantitativa e objetiva da motricidade de pacientes com lesões neurológicas submetidos à Fisioterapia é um desafio porque não existem ferramentas ou recursos disponíveis para quantificar e mensurar objetivamente os resultados obtidos durante o tratamento.

Quando ocorre uma lesão neurológica em uma criança, o fisioterapeuta avalia a sua motricidade comparando com o Desenvolvimento Motor Normal (DMN). Por exemplo, em

uma criança normal com 8 meses de *idade cronológica* espera-se encontrar 8 meses de *idade motora*. Em uma criança com lesão do sistema nervoso central pode-se ter uma idade motora menor do que sua idade cronológica. Esta defasagem é um atraso motor e constitui o foco do diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica.

Segundo Durigon, Sá e Sitta (2004) é de senso comum que pacientes com distúrbios neurológicos beneficiam-se de programas de reabilitação, especialmente quando iniciado precocemente. A evolução do paciente é evidente, mas não se sabe mensurar o quanto significa esta melhora de forma clara e objetiva.

Durante o tratamento de um paciente há necessidade de constantes reavaliações que confirmem a regressão do quadro patológico e a eficiência do tratamento que está sendo efetuado (KENDALL et al., 2007). Com base no DMN, ou seja, na evolução da idade motora do paciente, pode-se inferir se houve ou não progresso com o tratamento fisioterapêutico. Entretanto, pode-se dizer que as avaliações e reavaliações realizadas pelo fisioterapeuta tanto para o diagnóstico inicial de um paciente quanto para analisar o resultado de seu tratamento, são qualitativas. Assim, não é possível quantificar precisamente nem a disfunção inicial do paciente, nem a sua evolução através da Fisioterapia devido à subjetividade existente nos procedimentos de avaliação e diagnóstico. Isto reforça a necessidade de sistemas de apoio ao diagnóstico e à sua quantificação.

Este trabalho foi motivado pela complexidade do processo de diagnóstico, pela quase inexistência de sistemas para apoio ao diagnóstico em Fisioterapia e pelo potencial da informática em representar o conhecimento humano e simular comportamentos inteligentes que podem auxiliar na conclusão do diagnóstico. Acredita-se que o desenvolvimento de uma metodologia formal para análise objetiva da função motora do indivíduo, fundamentada em parâmetros mensuráveis, tenha grande relevância para a Fisioterapia. Assim como, para todas as áreas da saúde, pois a maioria das informações nestas áreas está embasada em dados qualitativos e subjetivos.

Outra motivação importante deste trabalho é a possibilidade de utilização da base de conhecimento formalmente representada em uma ontologia como uma ferramenta de apoio ao processo de ensino-aprendizagem dos conteúdos referentes ao diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica. As ontologias são utilizadas freqüentemente para o desenvolvimento de terminologias e vocabulários consensuais. No entanto, sua utilização com foco no aprendizado ainda parece ser pouco explorada, principalmente nas áreas de saúde.

## 1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral desta tese é desenvolver uma metodologia formal para AC e RC que possibilite a realização de inferências para quantificar os procedimentos realizados durante o diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica.

Este trabalho tem os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver uma terminologia ou vocabulário consensual fazendo uso do conceito de ontologias, e, desta forma, organizar e modelar formalmente o conhecimento sobre diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica;
- Integrar diferentes técnicas durante os processos de AC e RC, e de inferência, viabilizando a quantificação do diagnóstico em uma área que sempre utiliza parâmetros qualitativos;
- Utilizar a ontologia desenvolvida, para embasar uma estrutura multimídia de apoio ao processo de ensino-aprendizagem do diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica, com recursos gráficos, visuais e *hiperlinks*, permitindo um aprendizado detalhado e ilustrado do DMN.

Salienta-se que este trabalho não tem como objetivo o desenvolvimento de uma ferramenta computacional voltada ao usuário final. Foram implementados apenas protótipos para validação das metodologias propostas.

## 1.3 ESTRUTURA DA TESE

No Capítulo 2 apresenta-se a fundamentação teórica. Neste capítulo são abordados conceitos e definições a respeito de AC e RC, ontologias e diagnóstico, e relatam-se alguns trabalhos que abordam temas relacionados a esta tese. As metodologias desenvolvidas nesta tese encontram-se distribuídas em três capítulos. O Capítulo 3 apresenta a metodologia desenvolvida para AC e RC relativo ao domínio da Fisioterapia Neuropediátrica. No Capítulo 4, descreve-se as metodologias desenvolvidas para a inferência do diagnóstico neste domínio. O Capítulo 5 relata o processo de desenvolvimento de uma ferramenta para o processo de ensino-aprendizagem deste conteúdo, cuja metodologia embasa-se nos conceitos de ontologias. No Capítulo 6, apresenta-se os resultados e discussões, e, no Capítulo 7, as conclusões e as possibilidades de continuidade deste trabalho.

Este trabalho foi submetido para apreciação e aprovação de um Comitê de Ética em Pesquisas em Seres Humanos (Anexo I), uma vez que para o desenvolvimento e a execução das metodologias propostas nesta tese necessitou-se do envolvimento de profissionais, pacientes e alunos.

## CAPÍTULO 2

### FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 2.1 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A IA, entre outros objetivos, se propõe a simular a inteligência humana, como, por exemplo, quando se ensina uma máquina a solucionar problemas através da observação do método de resolução utilizado pelas pessoas (RUSSELL e NORVIG, 2009). Porém, segundo McCarthy (2007) na situação atual da IA os programas computacionais têm toda a capacidade disponível em velocidade e memória, mas suas habilidades correspondem aos mecanismos intelectuais que os programadores conhecem suficientemente para implementar. Portanto, parece difícil alcançar o objetivo de simular a mente humana com o processamento de um computador. O raciocínio humano possui muitas peculiaridades que são praticamente impossíveis de serem simuladas eficientemente em um computador.

Para Luger (2009) uma das preocupações fundamentais dos pesquisadores em IA é a representação de conhecimento, pois trata do problema de capturar numa linguagem formal, isto é, numa linguagem adequada para ser manipulada em um computador, toda a extensão de conhecimento necessário para que se crie um comportamento inteligente.

##### 2.1.1 Aquisição e representação do conhecimento

O conhecimento pode ser definido como a condição de se conhecer algo com familiaridade adquirida através da experiência ou associação. Em IA, o termo "conhecimento" significa a informação que um programa de computador necessita para que possa se comportar inteligentemente (SOWA, 2000).

##### 2.1.1.1 Definição de Conhecimento

Para Georgiou (2002) o conhecimento é composto de dados e de informação. Dados são conjuntos de fatos isolados e informação é um conjunto de fatos organizados. Finalmente,

conhecimento é uma informação presente em um contexto (FISCHER e OSTWALD, 2001). O conhecimento considera a experiência e a interpretação para dar significado às informações de dados. Em outras palavras, o conhecimento é um conjunto (informação) de fatos (dados) e relacionamentos (contexto) utilizados para obter a capacidade de resolver problemas (VAN BEMMEL e MUSEN, 2009).

Segundo Stefanelli (2002) há dois tipos de conhecimento, o explícito e o tácito. O conhecimento explícito é aquele que está presente em meios concretos (livros, CD-ROMs, entre outros) e que pode ser facilmente compartilhado com outras pessoas. O conhecimento tácito refere-se ao conhecimento individual que agrega a experiência e a intuição de cada um. Para Polanyi (1983), assume-se que as pessoas sabem muito mais do que conseguem falar ou transmitir. Desta forma, o processo de AC com pessoas especialistas em um domínio pode ser bastante difícil.

A geração do conhecimento pode ser considerada como uma progressão linear e hierárquica em que se converte dados em informação, e informação em conhecimento (GEORGIU, 2002). Assim, a geração de conhecimento deve ser o produto de intenso debate científico.

#### 2.1.1.2 Aquisição do conhecimento

A AC envolve a extração, a transformação e a transferência de informação de uma fonte de conhecimento para um programa de computador. A meta da AC é obter o conhecimento detalhado utilizado pelo especialista (profissional provedor do conhecimento) para solucionar problemas (SOWA, 2000).

Segundo Cordingley (1989), o processo de AC é usualmente dividido em dois estágios:

- Estágio da definição ou da análise inicial: onde se decide qual conhecimento é necessário. Nesta fase ocorre a familiarização com o domínio;
- Elicitação do conhecimento: obtenção de conhecimento predominantemente vindo de especialistas humanos e interpretação deste conhecimento. A elicitação do conhecimento é geralmente realizada pelo engenheiro do conhecimento ou elicitante.

### 2.1.1.3 Técnicas para elicitación do conhecimento

As fontes potenciais de conhecimento são os especialistas humanos (a principal fonte), livros-texto, bancos de dados, documentos com relatos de experiências e estudos, e a experiência pessoal do engenheiro do conhecimento (MILTON, 2007).

Existem várias técnicas para se obter conhecimento, entre elas: análise de textos, análise do comportamento, cenários e entrevistas (CORDINGLEY, 1989; SHADBOLT, O'HARA e CROW, 1999).

Na análise de textos, realiza-se a extração do conhecimento através da consulta a livros-textos. O elicitante deve assimilar o conhecimento consultando vários livros na tentativa de adquirir informações do próprio especialista (CORDINGLEY, 1989).

A análise do comportamento ou técnica da observação consiste em observar as tarefas que o especialista executa, podendo interromper a análise do especialista para questionar pontos que não se compreenda (SHADBOLT, O'HARA e CROW, 1999).

Na técnica de cenários, o elicitante submete casos (tarefas) reais ou hipotéticos ao especialista e acompanha sua resolução. Os casos devem ser escolhidos de tal forma que reflitam: problemas relevantes, problemas que cubram uma porção considerável do domínio e problemas de variados graus de imprecisão. A técnica de cenários enfatiza o raciocínio baseado em casos onde a solução do problema se dá pela adaptação de uma solução conhecida para um problema semelhante (CORDINGLEY, 1989).

A entrevista é uma atividade de interação entre o elicitante e o especialista, que se baseia em uma estratégia de perguntas e respostas. A entrevista prevê a realização de várias sessões de discussão e pode ser direcionada, estruturada e semi-estruturada (SHADBOLT, O'HARA e CROW, 1999):

- A entrevista direcionada é semelhante a uma conversação comum, na qual o especialista conversa com o elicitante sobre assuntos específicos de seu domínio. A entrevista geralmente segue uma agenda pré-determinada na qual são selecionados previamente itens específicos sobre a área a ser pesquisada. A agenda pode ser enviada com antecedência para o especialista para que ele se familiarize com as questões. O objetivo da entrevista direcionada é adquirir uma visão completa tanto da área como das tarefas que o especialista realiza;
- A entrevista semi-estruturada é semelhante a um interrogatório. A informação é requerida a uma profundidade e especificidade maiores do que na entrevista direcionada. O objetivo é obter um entendimento das questões, ou seja, dividir as

tarefas gerais em subtarefas para facilitar o trabalho. Esta forma de entrevista envolve uma lista de questões que se pergunta e a ordem destas questões pode variar de entrevista para entrevista. Esta flexibilidade permite ao elicitor adotar vocabulários de acordo com o andamento da entrevista para apropriar os itens a se questionar sobre o assunto proposto. A entrevista semi-estruturada é aquela que combina perguntas fechadas e abertas, e que permite ao entrevistado discorrer sobre o tema sugerido sem que o entrevistador fixe determinadas respostas ou condições;

- As entrevistas estruturadas têm várias características que as fazem úteis para a AC. Estas entrevistas envolvem pré-planejamento cuidadoso das questões e da ordem destas, bem como a especificação de eventos que o entrevistador deve e não deve fazer. A entrevista estruturada ocorre depois que o entrevistador tem algum domínio do assunto, pois requer um roteiro de perguntas fechadas, previamente elaboradas, com o objetivo de extrair as informações que faltaram na entrevista semi-estruturada.

Há muitos obstáculos a serem considerados durante o processo de AC, a saber: os especialistas possuem vastas quantidades de conhecimento e este conhecimento geralmente é tácito (eles não têm noção de tudo o que sabem e utilizam para resolver um determinado problema), os especialistas são pessoas muito ocupadas e de difícil abordagem e, além disso, cada especialista não conhece tudo sobre o domínio em questão. Desta forma, para o sucesso do processo de AC é necessário que se crie condições de contorno para os problemas mencionados. Sugere-se retirar o especialista de seu trabalho por curtos períodos de tempo, focar no conhecimento essencial, tentar extrair o conhecimento tácito e entrevistar diferentes especialistas.

Para ilustrar de maneira geral o processo de AC apresenta-se o exemplo de Milton (2007) através de uma metodologia de abordagem simples. Este método começa com o uso de técnicas simples e então prossegue para técnicas mais elaboradas.

- O primeiro passo envolve conduzir uma entrevista inicial com o especialista com o objetivo de estabelecer o escopo do conhecimento a ser adquirido, determinar qual o propósito para este conhecimento, adquirir vocabulário do domínio e estabelecer uma comunicação com o especialista. Esta entrevista (como todas as demais conversas) deve ser gravada para não se perder informações;

- Na seqüência deve-se transcrever a entrevista inicial e analisar o protocolo resultante. Então, deve-se criar uma hierarquia de conceitos sobre o conhecimento resultante para que se obtenha uma representação geral do domínio. A hierarquia criada pode ser utilizada para produzir um conjunto de questões sobre os principais assuntos do domínio e servir de meta para o projeto de AC;
- No terceiro passo, conduz-se uma entrevista semi-estruturada com o especialista utilizando as questões previamente planejadas com objetivo de prover estrutura e foco;
- Então, deve-se transcrever a entrevista semi-estruturada e analisar o protocolo resultante. Geralmente como resultado desta entrevista obtém-se os principais conceitos, atributos, valores, relacionamentos e regras do domínio;
- No quinto passo, sugere-se a representação deste conhecimento utilizando o modelo mais apropriado (esquemas, diagramas, hipertextos, entre outros).
- Este modelo embasa o desenvolvimento de um questionário para entrevista estruturada, a qual deve ser realizada e também representada em um modelo.

As etapas descritas devem ser repetidas até que o modelo gerado satisfaça as expectativas do especialista. Após o fechamento com o primeiro especialista, este conhecimento deve ser validado com outros especialistas que podem solicitar adequações no conhecimento quando necessário

#### 2.1.1.4 Representação do conhecimento

A RC é o método usado para modelar o conhecimento de especialistas em alguma área, de forma eficiente, e deixá-los prontos para ser utilizado por um sistema computacional inteligente. A RC é uma combinação de estruturas de dados e procedimentos interpretativos, que se forem usados em um programa terão uma conduta inteligente (CUNHA, 1995).

A RC está sempre relacionada com as formas de expressão da informação. Diferentes sistemas de representação podem ser mais adequados para diferentes problemas, embora ainda exista muitas pesquisas no sentido de desenvolver sistemas e linguagens de representação de propósito geral.

Para Sowa (2000), a RC é a aplicação da lógica na tarefa de construir modelos computacionais sobre algum domínio. O campo da RC geralmente é chamado de

“representação do conhecimento e raciocínio”, pois os formalismos da RC são inúteis se não houver a possibilidade de raciocínio e inferência sobre eles.

O conhecimento é o resultado do processo de aquisição e envolve uma seqüência de três passos: desenvolvimento de mecanismos para projetar propriedades que tracem os objetivos do mundo real e eventos, estabelecimento de metodologias para modelar o conhecimento humano, consciência e convicções, e desenvolvimento de ferramentas disponíveis para descrever e organizar o conhecimento.

O processo de RC segue o processo de AC. O engenheiro do conhecimento não realiza somente a AC. Ele também tem que representar este conhecimento e aplicá-lo, para que o mesmo possa ser útil (RUSSELL e NORVIG, 2009).

#### 2.1.1.5 Técnicas para representação do conhecimento

Segundo Luger (2009), o uso da lógica, regras, redes semânticas e *frames* são consideradas as principais alternativas para a RC, como se segue:

- **Lógica:** as representações lógicas têm origem na matemática e na filosofia na tentativa de caracterizar os princípios do raciocínio correto. A principal preocupação da lógica é o desenvolvimento de linguagens de representação formais com regras de inferências (deduções) consistentes e completas. É comum se considerar os operadores “ $\vee$ ” (ou) e “ $\rightarrow$ ” (então) (LUGER, 2009). Por exemplo, a sentença “Se um pássaro é um cardeal, então ele é vermelho” (associando o pássaro cardeal à cor vermelha) pode ser escrita em cálculo de predicados como:  $\forall X (\text{cardeal}(X) \rightarrow \text{vermelho}(X))$ , leia-se “para todo x, tal que x é cardeal, então x é vermelho”.
- **Regras:** as regras consistem em representar o domínio do conhecimento através de proposições. As regras são, em geral, expressas na forma “SE *A* ENTÃO *C*”. O antecedente “*A*” é formado por um conjunto de condições e “*C*” representa o conseqüente da regra. As condições das regras são *t*-uplas da forma  $\langle A_i \text{ Op } V_{ij} \rangle$  onde  $A_i$  é o *i*-ésimo atributo, *Op* é um operador relacional (normalmente =,  $\neq$ , > ou <) e  $V_{ij}$  é o *j*-ésimo valor que pertence ao domínio do atributo  $A_i$ . Para fazer a combinação das possíveis condições utiliza-se operadores lógicos (E, OU ou NÃO). O conseqüente da regra normalmente consiste de uma condição simples na

forma  $\langle M_i = V_{ij} \rangle$  onde  $M_i$  é um dos possíveis atributos-meta e  $V_{ij}$  é um dos possíveis valores do domínio do atributo-meta selecionado. Por exemplo, apresenta-se a regra para a sentença “SE um animal for pássaro e sua cor for vermelha ENTÃO será um cardeal. Representando de maneira simbólica: SE ((animal = passaro) E (cor = vermelha)) ENTÃO (classe = cardeal);

- Redes semânticas: uma rede semântica representa o conhecimento como um grafo (meio de se representar explicitamente relações utilizando arcos e nós) com os nós correspondendo a fatos ou conceitos e os arcos como relações ou associações entre conceitos (LUGER, 2009). Tanto os nós quanto os arcos são normalmente rotulados, como a Figura 1 que mostra uma rede semântica que define as propriedades de pássaro;

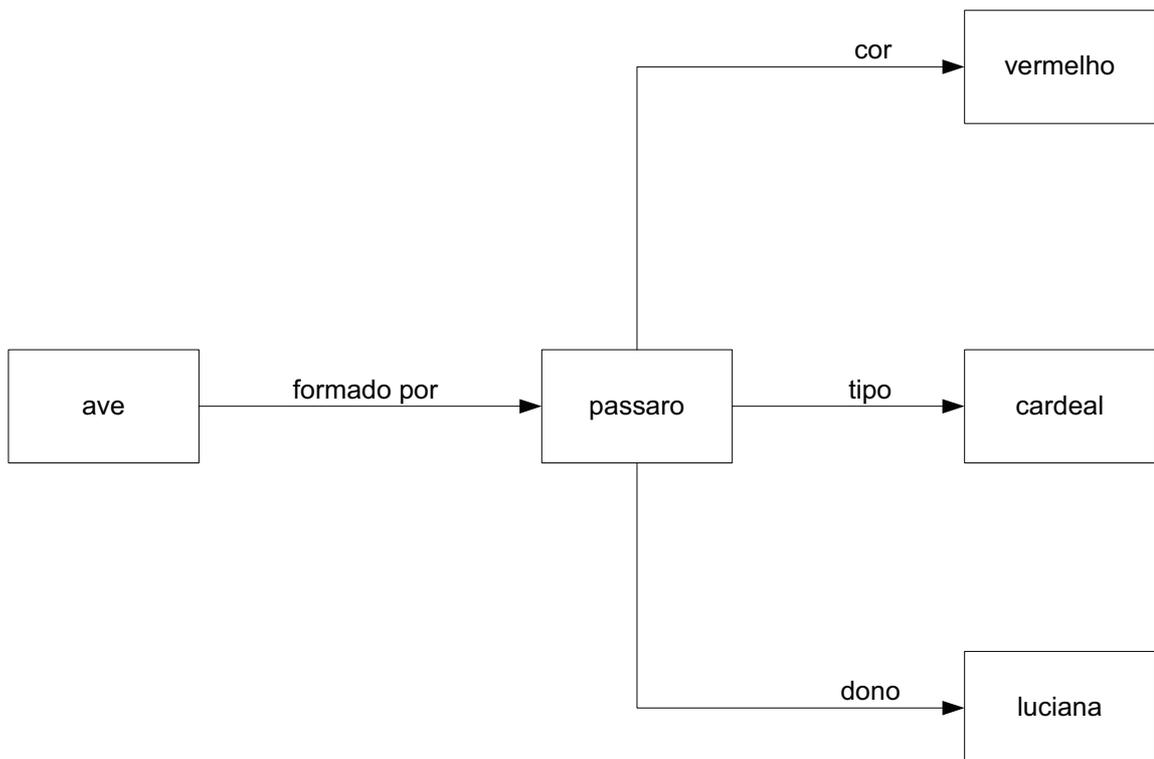


Figura 1: Rede semântica do conceito pássaro

- *Frames*: são um tipo de representação onde se agrupam os elementos em classes e subclasses até se chegar às instâncias. Cada um dos *frames* compõe-se de divisões (*slots*) que contém as características e propriedades da classe ou instância em questão. É uma maneira bastante organizada e hierarquizada de se representar o

conhecimento (NIEVOLA, 1995). Os *slots* do *frame* possuem informações como representado na Figura 2 (*frame* genérico, onde o conteúdo entre aspas e em negrito são as explicações referentes ao conteúdo da representação em *frames*) e na Figura 3 (*frame* específico):

<p><i>Frame Genérico</i> <b>passaro</b> “informação sobre a identificação do frame”  é um: uma AVE “relação deste <i>frame</i> com outros <i>frames</i>”  cor: (default VERDE) “informação default do <i>frame</i>”  dono: uma PESSOA “informação procedimental sobre o uso da estrutura descrita”  (se- necessário busque uma PESSOA com AVE= dono)  tipo: “nova informação de casos”</p>
--

Figura 2: Representação de um pássaro genérico com expectativas (nome, cor, dono)

<p><i>Frame</i> <b>cardeal</b>  é um: passaro  cor: vermelho  dono: luciana  tipo: cardeal</p>
--

Figura 3: Representação de um pássaro real tipo cardeal

Assim, uma base de conhecimento pode ser descrita como um mapeamento entre os objetos e as relações de um domínio de problema e os objetos computacionais e as relações de um programa. Os resultados de inferências na base de conhecimento devem corresponder aos resultados de ações ou observações no mundo. Os objetos, as relações e as inferências computacionais disponíveis para os programadores são mediados pela linguagem de RC.

#### 2.1.1.6 Gestão do conhecimento

A Gestão do Conhecimento (GC) contempla os processos de criação, manutenção, aplicação, compartilhamento e renovação do conhecimento para melhorar o desempenho organizacional e agregar valor ao conhecimento adquirido (BATES et al., 2003). Segundo Keeling e Lambert (2000), o objetivo principal da GC é utilizar a experiência e a

compreensão das pessoas de maneira organizada e com o objetivo de enriquecer a propriedade intelectual.

Uma definição mais significativa para as metas da GC, aborda o assunto como uma prática inovadora que permite colaboração e comunicação entre os desenvolvedores de conhecimento em um mesmo domínio e, também, entre domínios diferentes (FISCHER e OSTWALD, 2001). Smith e Farquhar (2000) resumem esta definição relatando que a GC melhora o desempenho organizacional porque permite a captura, o compartilhamento e a aplicação do conhecimento coletivo para que se tomem decisões corretas. A manutenção do conhecimento atualizado requer que este conhecimento seja permanentemente revisto.

A GC, em sua forma mais básica, existe há centenas de anos. Esta gestão pode ser vista em muitas profissões e instituições, incluindo filosofia, religião, educação e política. O conceito de GC, como um assunto ou disciplina específica, se desenvolveu somente a partir da última década. A GC se tornou formalizada e técnica conforme foi aumentando a necessidade e o valor do conhecimento; e tem aumentado devido ao desenvolvimento de grandes organizações, expandindo quantidades de conhecimento, e aos avanços tecnológicos.

#### 2.1.1.7 Ciclo de vida do conhecimento e a gestão do conhecimento em saúde

O Dicionário Merriam-Webster (2002) define ciclo de vida como uma série de estágios através dos quais algo (como um indivíduo, uma cultura ou um produto manufaturado) passa durante seu tempo de vida. Muitos pesquisadores descreveram o ciclo de vida do conhecimento. Birkinshaw e Sheehan (2002) descreveram a ocorrência do conhecimento em 4 estágios, a saber: criação, mobilização, difusão e multiplicação. Staab et al. (2001) descreveram um ciclo de conhecimento como um processo circular que envolve criação e/ou importação, captura, acesso e uso. Por outro lado, Bhatt (2000) descreveu um ciclo composto por 4 estágios: criação, revisão, distribuição e adoção. Porém, independentemente da descrição do ciclo de vida do conhecimento, deve-se prestar atenção a cada estágio da GC, caso contrário o conhecimento pode se tornar inválido, ultrapassado e pouco confiável.

A GC vem aumentando nas áreas de saúde (KEELING e LAMBERT, 2000). O avanço no uso da informática em saúde, juntamente com o conhecimento necessário para sistemas de apoio ao ensino e ao diagnóstico, garante a necessidade da GC. Stefanelli (2002)

afirma que a tecnologia da GC é essencial para fornecer suporte e melhorar o desempenho dos profissionais da saúde.

Davenport e Glaser (2002) relatam que a GC auxilia os profissionais a não cometer erros, a aprender com as experiências dos colegas e a ter acesso a informações importantes quando necessário. Outros fatores contribuem para o sucesso da GC nas áreas de saúde, tais como, o profissional fornecer suporte ao sistema, o profissional criar e manter uma base de conhecimento e a possibilidade do profissional emitir a decisão final em qualquer situação.

Durante décadas pode-se verificar a clara necessidade de se estabelecer políticas de auxílio para que os profissionais de saúde consigam manipular a grande quantidade de informação na sua área. Estas informações incluem conhecimento necessário para realizar um bom atendimento aos pacientes. Assim, os profissionais do futuro terão de ser educados não somente em suas respectivas áreas, mas também em tecnologia da informação para que possuam habilidade de gerenciar o conhecimento da área (ASH e BATES, 2005).

A solução para a disseminação do conhecimento necessário às áreas de saúde é a utilização da GC tanto na área clínica, quanto na área educacional (WILKINSON, 2007).

Conforme o conhecimento das áreas de saúde aumenta, o fato de utilizar e compartilhar o conhecimento torna-se imperativo. Desta forma, a informática em saúde se torna um ponto crítico e divisor entre o passado e o futuro na maneira como os profissionais tratam seus pacientes. Para o profissional ser eficiente ele deverá, juntamente com sua especialidade, aprender sobre informática e GC.

Verne (2003) descreve a utilização da GC para registros sobre câncer. Neste trabalho relata que há vários sistemas de classificação da doença: segundo a origem anatômica, o tipo celular e o comportamento do tumor. Desta forma, uma GC eficiente permite o estudo adequado da etiologia dos diferentes tipos de câncer, bem como a avaliação das respostas aos tratamentos realizados. Van Dijk et al. (2006) relataram a importância da GC para que o profissional da área de saúde do trabalhador embase sua prática em evidências e se mantenha atualizado. Juarez et al. (2009) definiram modelos computacionais para criar mecanismos efetivos de AC e GC em setores hospitalares, com o objetivo de organizar o conhecimento, padronizar a terminologia, e simplificar a integração entre a GC e os sistemas de informação em saúde. Sittig et al. (2010) realizaram uma revisão da literatura atualizada sobre GC e sistemas de apoio à decisão em saúde. Este trabalho salienta a necessidade da GC para estimular o progresso na área de diagnóstico, e conclui que deve-se desenvolver e refinar a compreensão e o uso da GC colaborativa e de alta qualidade nas áreas de saúde.

### 2.1.2 Estratégias de inferência

As estratégias de inferência, ou deduções sobre o conhecimento adquirido e representado, também são denominadas pela literatura como a solução de problemas baseada em conhecimento.

A solução de problemas utilizando intensivamente o conhecimento se justifica pela observação de que os especialistas humanos são capazes de ter desempenho em um nível muito alto porque conhecem a fundo sobre a área do domínio em que se encaixam seus problemas (LUGER, 2009).

Na seqüência, examina-se as tecnologias que tornam possível a solução de problemas baseada em conhecimento, isto é, que permitem mecanismos de inferência e raciocínio: os SEs, o raciocínio baseado em casos e o raciocínio baseado em modelo.

#### 2.1.2.1 Sistemas especialistas

Os SEs são programas de propósitos especiais, especialistas em alguma área restrita, que surgiram no fim da década de 70. Segundo Harmon e King (1985), são programas possuidores de conhecimento intenso, usam regras ou heurísticas para focalizar os aspectos chaves de problemas particulares e manipular descrições simbólicas para raciocinar sobre este conhecimento. Assim, os SEs são capazes de emitir uma decisão, embasada em conhecimentos justificados, a partir de uma base de informações adquiridas, da mesma forma que um especialista de determinada área do conhecimento humano.

O coração de um SE é o conhecimento sobre um domínio específico, que é explícito e organizado de forma a simplificar a tomada de decisões. Em um SE, separa-se o conhecimento sobre o problema do conhecimento de sistema. Esta coleção de conhecimentos sobre o domínio do problema chama-se base de conhecimento, enquanto o conhecimento geral para solução de problemas chama-se motor de inferência (CUNHA, 1995).

A base de conhecimento em um SE geralmente contém fatos (conhecimento estático do sistema) e regras (conhecimento dinâmico do sistema), que usam os fatos como base para a tomada de decisão.

O motor de inferência contém um interpretador que decide como aplicar as regras para inferir novos conhecimentos, além de uma lista de prioridades de aplicação destas regras.

Geralmente um SE adota uma das seguintes estratégias de raciocínio (BARR e FEIGENBAUM, 1986):

- Raciocínio para frente (*forward chaining*): o sistema é dirigido pelos dados, parte de fatos conhecidos, e tenta deduzir novos fatos e, através do motor de inferência, chega à solução;
- Raciocínio para trás (*backward chaining*): dirigido pela meta. O sistema faz o caminho inverso, partindo da solução do problema (meta) e tenta verificar se são verdadeiras as suas condições, que passam então a ser submetas a serem também provadas. Isto ocorre sucessivamente até se chegar a um conjunto de condições verificáveis;
- Encadeamento lateral (*sideways chaining*): procedimento baseado em prioridades para os itens envolvidos no processo de busca.

Através do formalismo de regras de produção pode-se estabelecer critérios adicionais para selecionar qual regra será ativada, tais como a mais recente ou a de maior prioridade. Para Luger (2009) as regras são mais próximas do modo como as pessoas descrevem as suas habilidades para resolver problemas do que, por exemplo, o código de computador em baixo nível.

Outro aspecto importante é quanto ao modo como os SEs dão a resposta ao usuário. Deve-se prever um mecanismo de explicações, justificativas que apresentem ao usuário a solução do problema ou as conclusões a que se chegou de modo legível e explicativo (CUNHA, 1995).

Os SEs são aplicados em quase todos os tipos de situações nas quais se requer raciocínios formais para sua solução como, diagnósticos médicos, defeitos em equipamentos, previsões meteorológicas e outras situações que possuam um número muito grande de variáveis.

Nas áreas de saúde estes sistemas podem ser úteis de dois modos diferentes: apoio à decisão quando ajudam a decidir e a lembrar de tópicos ou opções, ou tomada de decisão quando tomam a decisão no lugar de uma pessoa (SHORTLIFFE et al., 2001).

O processo de tomada de decisão ocorre em diversos pontos da atividade dos profissionais da saúde. Existem situações importantes ao longo da atenção à saúde nas quais o computador pode ajudar na tomada de decisões: no diagnóstico, no prognóstico e no planejamento da conduta terapêutica. Muitos programas de apoio à tomada de decisão incluem os três aspectos, pois estes estão fortemente relacionados.

Após o desenvolvimento de SEs específicos, reconheceu-se que eles eram fáceis de se programar, mas que a parte que exigia esforço era a aquisição de conhecimento (SHORTLIFFE et al., 2001).

#### 2.1.2.2 Raciocínio baseado em casos

Uma estratégia poderosa que os especialistas humanos também usam é raciocinar a partir de casos, exemplos de problemas passados e suas soluções. O raciocínio baseado em casos usa uma base de dados explícita de soluções de problemas para tratar novas situações similares. Estas soluções podem ser obtidas de especialistas humanos ou podem refletir os resultados anteriores de sucessos e fracassos baseados em busca (RUSSELL e NORVIG, 2009).

A formação nas áreas de saúde não se baseia apenas em modelos teóricos, de anatomia, fisiologia e doenças; ela também depende muito do histórico de casos e da experiência do profissional com outros pacientes e seu tratamento.

Os sistemas de raciocínio baseado em casos compartilham uma estrutura comum, e assim, para cada novo problema realiza-se os seguintes passos (LUGER, 2009; MARTINS et al., 2008):

- Recuperar casos apropriados da memória: um caso é apropriado se a sua solução pode ser aplicada com sucesso à nova situação. Como o sistema não tem como saber isto previamente ele então usa a heurística de escolher casos que sejam similares à ocorrência do problema. Tanto as pessoas, como os raciocinadores artificiais determinam a similaridade com base em características comuns: por exemplo, se duas pessoas compartilham uma série de características comuns em seus sintomas e histórias clínicas, há uma boa probabilidade de que tenham a mesma doença e de que respondam ao mesmo tratamento. Recuperar casos eficientemente também requer que a memória de casos seja organizada de modo a ajudar esta recuperação. Geralmente os casos são indexados pelas suas características significativas;
- Modificar um caso recuperado de forma que se torne aplicável à situação corrente: o raciocinador tem que transformar a solução armazenada em operações adequadas para o problema corrente. Métodos analíticos, como o ajuste de curvas de

parâmetros comuns aos casos armazenados e aos novos problemas podem ser muito úteis, assim como o uso de métodos heurísticos;

- Aplicar o caso transformado: o passo anterior modifica um caso armazenado, o qual, quando aplicado, pode não garantir uma solução satisfatória do problema. Assim, podem ser necessárias modificações na solução, com outras iterações dos três primeiros passos;
- Armazenar a solução para uso futuro, com um registro de sucesso ou fracasso: o armazenamento de novo caso requer atualização da estrutura de índices. Existem métodos que podem ser usados para gerenciar estes índices.

Um mecanismo bastante comum para o armazenamento de casos é representar os casos por um conjunto de regras de situação-ação. Os fatos que descrevem a situação da regra são as características salientes do caso armazenado. Os operadores que constituem a ação da regra são as transformações a serem usadas na nova situação.

A questão mais difícil na solução de problemas através de raciocínio baseado em casos é a seleção das características salientes para a indexação e a recuperação dos casos. Kolodner (1993) relata heurísticas para organizar o armazenamento e recuperação de casos:

- Preferência orientada a objetivo: organizar os casos pelas descrições do objetivo e recuperar casos que tenham o mesmo objetivo que a situação corrente;
- Preferência por características salientes: preferir casos que casem com o maior número de características importantes;
- Preferência por maior especificidade: procurar por casamentos de características, tão exatas quanto possíveis, antes de se considerar casamentos mais genéricos;
- Preferência por ocorrências frequentes: verificar os casos mais frequentes;
- Preferência por atualidade: preferir casos usados mais recentemente;
- Preferência por facilidade de adaptação: usar primeiro os casos mais fáceis de se adaptar à situação corrente.

Além disso, o raciocínio baseado em casos levanta uma série de questões teóricas importantes relacionadas com o aprendizado e o raciocínio humanos. Uma das questões mais sutis e críticas é a questão de como se definir similaridade. Um outro problema é que, conforme se adquire mais casos, o sistema se torna mais inteligente, mas o seu desempenho aumenta até certo ponto pois, conforme a base de casos aumenta, o tempo de processamento

também aumenta. Uma explicação automatizada sobre o motivo de uma solução ser recomendada também é difícil, pois quando se pergunta o motivo pelo qual uma solução foi selecionada, a única explicação possível é dizer que esta solução já funcionou anteriormente para um problema similar (LUGER, 2009).

Apesar das dificuldades envolvidas, o raciocínio baseado em casos possui uma série de vantagens como, por exemplo, a simplificação da AC, pois se pode registrar soluções de um especialista para uma série de problemas e então fazer com que o sistema selecione e raciocine a partir de casos apropriados. Isto elimina a necessidade de construir regras, pois o sistema generaliza as regras automaticamente através do processo de aplicação a novas situações (RUSSELL e NORVIG, 2009).

### 2.1.2.3 Raciocínio baseado em modelo

Um sistema de raciocínio baseado em conhecimento, cuja análise esteja fundamentada diretamente na especificação e na funcionalidade de um sistema físico, é chamado de sistema baseado em modelo. Este sistema cria uma simulação qualitativa da função do que se está compreendendo ou reparando (LUGER, 2009).

Os primeiros sistemas de raciocínio baseado em modelo surgiram nos anos 70 e amadureceram nos anos 80. No início eram sistemas tutores com a finalidade de modelagem e ensino da funcionalidade de um sistema (DAVIS e HAMSCHER, 1992).

O sistema de raciocínio qualitativo baseado em modelo inclui:

- Uma descrição de cada estágio do modelo: estas descrições podem simular o estágio em questão;
- Uma descrição da estrutura interna do modelo: geralmente através de uma representação de seus estágios e de suas relações, o que também pode ser simulado. A extensão do conhecimento da estrutura interna depende dos níveis de abstração aplicados e da solução que se deseja para o problema;
- A solução de um problema particular: requer observações do desempenho real do modelo, geralmente medidas a partir de suas entradas e saídas.

As técnicas baseadas em modelos qualitativos evitam muitas das limitações das abordagens mais heurísticas. Em vez de raciocinarem diretamente a partir de fenômenos observados, tentam representar configurações em um nível causal ou funcional. O código do

programa reflete tanto a funcionalidade, quanto as dependências dentro de um sistema. Tais modelos são freqüentemente mais robustos do que as abordagens heurísticas. Porém, o lado adverso desta modelagem explícita de funções é que o estágio de aquisição de conhecimento pode ser bastante complexo e o programa resultante grande e lento. Como as abordagens heurísticas compilam casos típicos numa única regra, elas são freqüentemente mais eficientes (LUGER, 2009).

Qualquer modelo tenta descrever a situação ideal. Isto é o que se espera que o sistema faça, mas não é necessariamente o que o sistema faz, pois há dificuldades em levantar hipóteses sobre suas falhas. Apesar destes defeitos, o raciocínio baseado em modelo é um adicional importante ao conjunto de ferramentas do engenheiro do conhecimento (STERN e LUGER, 1997).

### 2.1.3 Inferência através de sistemas *fuzzy*

Um dos principais interesses da lógica *fuzzy* está relacionado com o estudo de fenômenos que exibem imprecisões graduais e que possam ser modelados pela teoria de conjuntos *fuzzy* introduzida por Zadeh (ZADEH, 1965).

Durante anos a modelagem da imprecisão foi tratada por modelos estatísticos. Atualmente, a imprecisão também pode ser tratada pela teoria de conjuntos *fuzzy*. Historicamente, é possível citar alguns fatos que levaram ao surgimento desta teoria. Em 1854 George Boole sugeriu que os axiomas fundamentais da lógica binária de Aristóteles não eram suficientes para todos os propósitos (JANFELICE, 2003). Os fundamentos da lógica trivalente foram elaborados por volta de 1920 por Lukasiewicz e Post (MORTARI, 2001). A primeira sugestão para a lógica multivalorada foi elaborada por Zwicky em 1933 (JANFELICE, 2003). Em 1937 Black sugeriu que o grau de inexatidão deveria ser medido por uma função consistente (KOSKO, 1993). Kaplan e Schott em 1951 desenvolveram o cálculo de classes com funções de pertinência entre 0 e 1 (JANFELICE, 2003).

Em 1965, Lotfi Zadeh introduziu o conceito de conjunto *fuzzy* acreditando que tais conjuntos poderiam resolver de maneira natural certos problemas com imprecisões. Zadeh desenvolveu a teoria da possibilidade, introduzindo conjuntos *fuzzy* como restrições flexíveis sobre os valores de grandezas (ZADEH, 1965). A

Figura 4 ilustra a diferença entre um conjunto clássico e um conjunto *fuzzy*. No primeiro, indivíduos pertencentes ao conjunto de pessoas altas são apenas aqueles com altura

igual ou superior a 1,75. No segundo, indivíduos com altura inferior a 1,75 também podem ser considerados pertencentes ao conjunto de pessoas altas, com algum grau de pertinência.

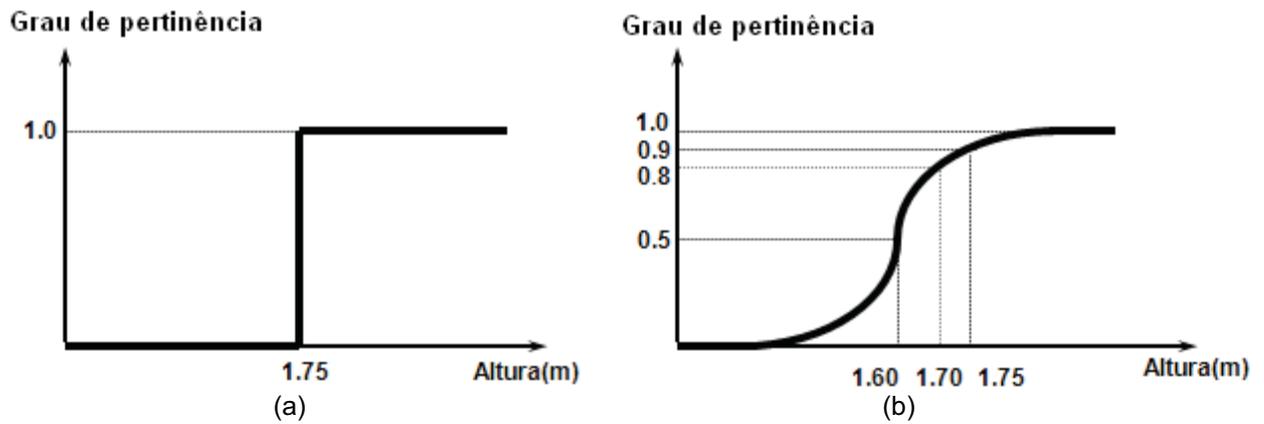


Figura 4: Comparação entre um conjunto clássico (a) e um *fuzzy* (b) para pessoas altas  
Adaptado de Collazos, Brasil e Azevedo (2008)

Os sistemas *fuzzy* compostos por conjuntos *fuzzy* contêm quatro componentes principais: um processador de entrada que realiza a *fuzzificação* dos dados de entrada, uma coleção de regras nebulosas chamada de base de regras, uma máquina de inferência *fuzzy* e um processador de saída que realiza a *defuzzificação* e fornece um número real como saída (Figura 5) (PEDRYCZ e GOMIDE, 2007; COLLAZOS, BRASIL e AZEVEDO, 2008).

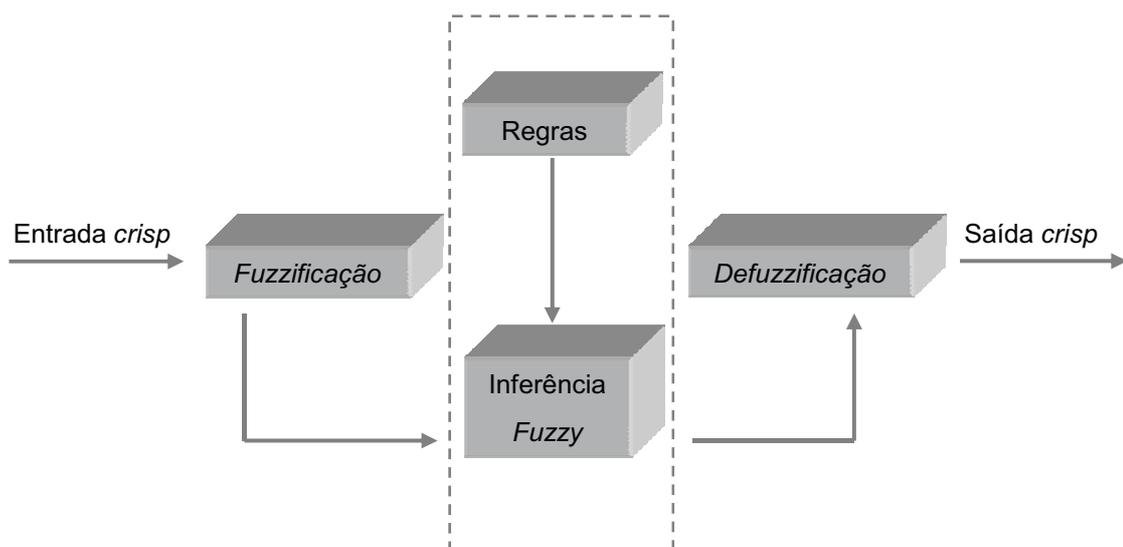


Figura 5: Componentes de um sistema *fuzzy*  
Adaptado de Collazos, Brasil e Azevedo (2008)

No processador de entrada (*fuzzyficação*) as entradas do sistema são traduzidas em conjuntos *fuzzy*, em seus respectivos domínios. A atuação de um especialista na área do fenômeno a ser modelado é de fundamental importância para colaborar na construção das funções de pertinências para a descrição das entradas.

A base de regras, juntamente com a máquina de inferência, pode ser considerada o núcleo dos sistemas *fuzzy*. Ela é composta por uma coleção de proposições *fuzzy* na forma “SE antecedente, ENTÃO conseqüente”. Cada uma destas proposições pode ser descrita lingüisticamente de acordo com o conhecimento de um especialista. A base de regras descreve relações entre as variáveis lingüísticas, para serem utilizadas na máquina de inferência *fuzzy*.

Na máquina de inferência *fuzzy* cada proposição é traduzida matematicamente por meio das técnicas de raciocínio aproximado. Os operadores matemáticos serão selecionados para definir a relação *fuzzy* que modela a base de regras. Desta forma, a máquina de inferência *fuzzy* é de fundamental importância, pois fornece a saída a partir de cada entrada *fuzzy* e da relação definida pela base de regras.

Na teoria dos conjuntos *fuzzy*, pode-se dizer que a *defuzzyficação* é um processo de se representar um conjunto *fuzzy* por um número real. Em sistemas *fuzzy*, em geral, a saída é um conjunto *fuzzy*. Assim, deve-se escolher um método para *defuzzyficar* a saída e obter um número real que a represente.

Nas áreas de saúde, os sistemas *fuzzy* tem sido utilizados com frequência para tratar certos problemas que envolvem imprecisão. Ghazavi e Liao (2008) utilizaram a modelagem *fuzzy* para a mineração de dados médicos em bases de dados sobre câncer de mama e diabetes, com o objetivo de determinar quais informações seriam mais relevantes para a determinação de tais diagnósticos. Álvarez-Estévez e Moret-Bonillo (2009) utilizaram a lógica *fuzzy* para desenvolver um sistema de detecção de eventos de apnéia e posterior classificação destes em apnéias ou hipopnéias, para pacientes portadores de distúrbios do sono. Gadaras e Mikhailov (2009) desenvolveram uma metodologia para extração de regras de classificação *fuzzy* testada em bases de dados referentes aos diagnósticos de câncer de mama, diabetes e doenças do fígado. Hatiboglu et al. (2010) criaram uma ferramenta baseada em lógica *fuzzy*, para o estabelecimento de prognósticos em pacientes com aneurisma intracraniano.

#### 2.1.4 Ferramentas para inferência em IA

Depois de vários SEs desenvolvidos, verificou-se que estes sistemas tinham muito em comum. Em particular, devido ao fato de os sistemas serem construídos como um conjunto de representações declarativas (em sua maioria, regras) combinadas com um interpretador destas representações. Assim, torna-se possível separar o interpretador do conhecimento específico do domínio da aplicação e criar um sistema que poderia ser utilizado para elaborar novos SEs através da adição de novos conhecimentos, correspondentes ao novo domínio do problema. Os interpretadores resultantes (ou ferramentas de desenvolvimento) são chamados de *shells* ou arcabouços (WATERMAN, 1986).

Um exemplo importante de *shell* é o EMYCIN (de *Empty MYCIN* ou MYCIN vazio), derivado do MYCIN. O sistema MYCIN foi um dos primeiros SEs desenvolvidos para auxiliar no diagnóstico e terapia de doenças infecciosas. Portanto, o EMYCIN utiliza sua estrutura para possibilitar o desenvolvimento de outros SEs (SHORTLIFFE, 1976).

Os primeiros *shells* de SEs ofereciam mecanismos para a RC, raciocínio e explicações. Com o aumento das experiências com estes sistemas para solucionar problemas do mundo real, ficou claro que os *shells* dos SEs precisavam também facilitar a integração destes com outros tipos de programas. Os SEs não podem operar sozinhos, precisam acessar bases de dados ou de conhecimento, e este acesso precisa ser controlado como em outros sistemas. Então, uma das características importantes que um *shell* precisa ter é uma interface entre o SE (escrita com o *shell* e que seja fácil de se utilizar) e um ambiente de programação maior e provavelmente mais convencional (OLIVEIRA, WERNECK e ROCHA, 1994).

O *shell* SINTA, desenvolvido pelo grupo SINTA (Sistemas INTeligentes Aplicados) do Laboratório de Inteligência Artificial (LIA) da Universidade Federal do Ceará é um conjunto de ferramentas computacionais bastante utilizado e é fundamentado em técnicas de IA para a geração automática de SEs. O SINTA utiliza um modelo de RC baseado em regras de produção e fatores de confiança. Seu objetivo principal é simplificar o trabalho de implementação de SEs através do uso de uma máquina de inferência compartilhada, da construção automática de telas e menus, do tratamento de imprecisão nas regras de produção e da utilização de explicações sensíveis ao contexto da base de conhecimento modelada (NOGUEIRA et al., 1996).

Nas áreas da saúde o SINTA é um *shell* bastante utilizado para suporte ao processo de diagnóstico. Walter, Silveira e Morales (2001) desenvolveram no ambiente do *Shell* SINTA um sistema de apoio ao diagnóstico da anemia direcionado a médicos pediatras. Soares,

Munzlinger e Riveros (2005) validaram através do SINTA um SE para pré-diagnóstico da dislexia, para ser utilizado por psicólogos, fonoaudiólogos e psico-pedagogos. Caetano, Peres e Fugulin (2007) criaram um SE em enfermagem, utilizando o SINTA para a classificação automática de pacientes, de acordo com o grau de dependência da equipe de enfermagem. Zotelli et al. (2008) utilizaram critérios para especificação do diagnóstico nutricional baseado no padrão da *American Dietetic Association*, definiram regras e implementaram no SINTA um sistema de apoio ao diagnóstico para nutricionistas.

Há vários *shells* comercialmente disponíveis, que servem de base para muitos sistemas, como o EMYCIN, o SINTA e o JESS (*Java Expert System Shell*). Com estes *shells*, a RC e a inferência são muito mais flexíveis. Tipicamente eles suportam regras, *frames*, raciocínio baseado em casos e uma série de outros mecanismos de representação e de inferência.

## 2.2 ONTOLOGIAS

Diversas estruturas são utilizadas na organização e formalização do conhecimento. Recentemente, uma abordagem que tem recebido bastante atenção é a utilização de ontologias, que são descrições formais de um domínio do conhecimento a partir de conceitos e de seus relacionamentos (ALMEIDA e BAX, 2003).

O termo ontologia tem origem na filosofia, e é um ramo que aborda a natureza e a organização do ser. Esse termo foi introduzido por Aristóteles e, neste contexto, os filósofos tentam responder as questões "O que é um ser?" e "Quais são as características comuns de todos os seres?" (MAEDCHE, 2002).

Este termo foi recentemente adotado também por algumas comunidades de IA e GC para se referir a conceitos e termos que podem ser usados para descrever alguma área do conhecimento ou construir uma representação deste (GUIMARÃES, 2002).

Uma definição bastante utilizada é a de Gruber (1993): uma ontologia é uma especificação formal explícita de uma conceitualização compartilhada. Para Fensel (2000) nesta definição é importante que se compreenda o significado de algumas das palavras utilizadas:

- Conceitualização: refere-se a um modelo abstrato de algum fenômeno que identifique conceitos relevantes deste fenômeno;
- Explícita: significa que os tipos de conceitos utilizados e as limitações do uso

destes conceitos devem ser definidos de forma clara;

- Formal: denota que a ontologia deve ser passível de ser processada por uma máquina;
- Compartilhada: reflete a noção de que a ontologia captura um conhecimento consensual, isto é, este conhecimento não deve ser restrito a alguns indivíduos, mas aceito por um grupo de pessoas especialistas no domínio da ontologia.

A literatura sobre ontologias apresenta várias definições distintas e até mesmo complementares. Guarino (1997) relata uma longa discussão sobre o significado preciso do termo dentro da Ciência da Computação:

- Em IA, ontologia é uma teoria sobre quais entidades podem existir na mente de um agente de conhecimento (WIELINGA e SCHREIBER, 1993);
- Para um conhecimento referente a uma tarefa particular ou a um domínio, uma ontologia descreve a taxonomia de conceitos que define a interpretação semântica do conhecimento (ALBERTS, 1993);
- Ontologias são consensos sobre conceitualizações compartilhadas. Conceitualizações compartilhadas incluem *frameworks* para modelagem do conhecimento do domínio, protocolos para comunicação entre agentes e consensos sobre teorias do domínio. No contexto de conhecimento, ontologias são especificadas sob a forma de definições do vocabulário representacional. Um caso simples seria uma hierarquia de classes e relacionamentos (GRUBER, 1995);
- Uma ontologia é uma conceitualização explícita e parcial, é uma teoria lógica que restringe modelos de uma linguagem lógica (GUARINO e GIARETTA, 1995);
- Uma ontologia é uma especificação parcial e explícita de uma conceitualização que é expressível do ponto de vista de meta-nível em um conjunto possível de teorias de domínios, com o propósito de um *design* modular, *redesign* e reuso de conhecimento intensivo (SCHREIBER, WIELINGA e JANSWEIJER, 1995);
- Uma ontologia é uma especificação explícita do nível de conhecimento de uma conceitualização, a qual pode ser afetada por um domínio ou tarefa particular, para o qual tenha sido criada (VAN HEIJST, SCHREIBER e WIELINGA, 1997).

Outra definição para ontologia, complementar às demais, pois relata informações a respeito de sua estrutura, é a apresentada por Gómez-Pérez (1999): é um conjunto de termos

ordenados hierarquicamente para descrever um domínio que pode ser usado como um esqueleto para uma base de conhecimento. Conforme esta definição, uma ontologia deve possuir um conjunto de termos organizados com uma hierarquia associada ou taxonomia. Segundo Guimarães (2002), um detalhe importante desta descrição é apresentar uma das principais utilidades de uma ontologia que é a de servir como um esquema para uma base de conhecimento.

A definição de Gómez-Pérez (1999) faz uma distinção importante entre ontologia e base de conhecimento. Uma ontologia forma uma estrutura sobre a qual é possível construir uma base de conhecimento. A ontologia fornece um conjunto de conceitos e termos para descrever um determinado domínio, enquanto a base de conhecimento usa estes termos para descrever uma determinada realidade. Caso esta realidade seja modificada a base de conhecimento será modificada, porém a ontologia permanecerá inalterada, desde que o domínio seja o mesmo.

### 2.2.1 Vantagens das ontologias

Pode-se citar uma série de vantagens para o uso de ontologias na Ciência da Computação, tais como: o desenvolvimento de um vocabulário comum, a representação formal do conhecimento, o compartilhamento de informações e a redução da ambigüidade na interpretação de termos (GUIMARÃES, 2002). Existem muitas outras vantagens, porém a maioria é decorrente destas.

As ontologias podem fornecer um vocabulário comum para a RC, sustentado por uma conceitualização para que se evite a interpretação ambígua de termos. Através das ontologias é possível o compartilhamento de conhecimento, para que o mesmo possa ser utilizado por pessoas que desenvolvam aplicações dentro deste domínio.

Uma ontologia fornece também uma descrição exata do conhecimento. Diferentemente da linguagem natural em que as palavras podem ter semântica (significado) totalmente diferente conforme o seu contexto.

Além disso, uma mesma conceitualização pode ser expressa em várias linguagens, e com o reuso pode-se estender o uso de uma ontologia genérica para que a mesma se torne adequada a um domínio específico.

### 2.2.2 Estrutura de uma ontologia

Segundo Gómez-Pérez (1999) e Maedche (2002) a estrutura de uma ontologia é formada de vários componentes, entre eles:

- Um conjunto de conceitos (também chamados de classes) e uma hierarquia entre estes conceitos, ou seja, uma taxonomia. Um exemplo de taxonomia é o conceito *homem* ser um subconceito do conceito *pessoa*;
- Um conjunto de relacionamentos entre estes conceitos. Um exemplo de relacionamento entre os conceitos de *pessoa* e *carro* é o relacionamento *eh\_proprietario*;
- Um conjunto de funções (também chamadas de propriedades). Uma função é um caso especial de relacionamento em que um conjunto de elementos tem uma relação única com um outro elemento. Um exemplo de função é *ser\_pais*, onde um conceito *homem* e um conceito *mulher* estão relacionados a um conceito *pessoa*;
- Um conjunto de axiomas. Axiomas são regras que são sempre válidas. Um exemplo de axioma é afirmar que toda *pessoa* tem uma mãe;
- Um conjunto de instâncias que são especializações dos conceitos. Gómez-Pérez (1999) considera que as instâncias são parte da ontologia, o que não está de acordo com a definição apresentada por Maedche (2002), onde as instâncias fazem parte da base de conhecimento.

### 2.2.3 Classificação das ontologias

Existem várias classificações fornecidas por diferentes autores. Mizoguchi, Vanwelkenhuysen e Ikeda (1995) classificam as ontologias quanto à função: ontologias de domínio, de tarefa e gerais. Uschold e Gruninger (1996) classificam quanto ao grau de formalismo: ontologias altamente informais, semiinformais, semi-formais e rigorosamente formais. Haav e Lubi (2001) classificam quanto à estrutura: ontologias de autonível, de domínio e de tarefa. Van-Heijst, Schreiber e Wielinga (1997) classificam as ontologias pelo conteúdo como: terminológicas, de informação, de modelagem do conhecimento, de aplicação, de domínio, genéricas e de representação. Guarino (1998) classifica as ontologias de forma simples e interessante, de acordo com seu nível de generalidade:

- Ontologias de alto-nível: descrevem conceitos gerais como espaço, tempo, evento, entre outros. Estes conceitos são independentes de um problema ou domínio;
- Ontologias de domínio: descrevem o vocabulário particular relacionado a um domínio. Pode haver uma especialização das ontologias de alto-nível. Por exemplo: ontologias de veículos, de imóveis, entre outras;
- Ontologias de tarefa: descrevem o vocabulário para descrição de uma tarefa ou atividade genérica;
- Ontologias de aplicação: são ontologias mais específicas, especializam conceitos tanto das ontologias de domínio, como também das de tarefas. Um exemplo é uma ontologia para uma aplicação que trabalhe com carros de luxo. Esta ontologia especializará conceitos da ontologia de veículos (que é uma ontologia de domínio).

As ontologias de alto-nível são as que possuem maior capacidade de reuso, pois definem conceitos genéricos, enquanto as ontologias de aplicação são as que possuem menor capacidade de reuso, pois definem conceitos relativos a uma aplicação específica.

#### 2.2.4 Aplicações das ontologias

Há diversas áreas de aplicações em que as ontologias são bem sucedidas: GC, comércio eletrônico, processamento de linguagem natural, recuperação da informação na *Web*, na educação, entre outras.

Os sistemas de gestão do conhecimento lidam com a aquisição, a manutenção e o acesso ao conhecimento dentro de uma organização. A tecnologia de ontologias dentro desta área auxilia a fornecer a estrutura básica sobre a qual se constroem bases de conhecimento.

Nos projetos relacionados ao comércio eletrônico é possível efetuar a automatização de transações, o que requer uma descrição formal de produtos além de formatos de trocas sintáticas. Um entendimento comum dos termos e suas interpretações são capturados na forma de uma ontologia e permite-se, assim, a interoperabilidade (a capacidade de um sistema se comunicar com outro) e meios para uma integração inteligente de informações (MAEDCHE, 2002).

No processamento da linguagem natural, o conhecimento do domínio é muito importante para uma compreensão coerente do texto. O uso de ontologias é muito importante

para a elucidação de ambigüidades de compreensão existentes no texto e para se criar um dicionário de conceitos dentro do domínio do texto (ALMEIDA e BAX, 2003).

Na recuperação de informações na *Web* ou *Web Semântica*, atualmente há muitas dificuldades existentes para obter resultados precisos em buscas realizadas na *Web*. As ferramentas de busca existentes não conseguem descobrir o significado preciso sobre o que trata determinada página na *Web*. A proposta da *Web Semântica* de Tim Bernes-Lee (2001) tenta propor uma resolução para este tipo de problema adicionando semântica às páginas da *Web* através de três tecnologias principais: *Extensible Markup Language* (XML), *Resource Description Framework* (RDF) e ontologias. A tecnologia de ontologias serve para fornecer uma estrutura semântica nas anotações das páginas da *Web*.

Nos projetos relacionados à educação as ontologias podem se tornar ambientes de aprendizado que descrevem um domínio físico dos sistemas modelados, detalhadamente, com padronização, e com demonstração de suas correlações. Desta forma, permite-se a representação formal do conhecimento em questão com finalidades educacionais (ZDRAHAL et al., 2000).

### 2.2.5 Metodologias para o desenvolvimento de ontologias

A adoção de uma metodologia para modelagem da ontologia é necessária e importante para que se evite passar diretamente da AC para a implementação. Isto evita problemas como: os modelos conceituais da ontologia ficarem implícitos no código da implementação; as dificuldades de reuso; e os problemas de comunicação, pelas dificuldades do especialista no domínio da ontologia em entender o código da implementação.

Metodologias têm sido desenvolvidas no intuito de sistematizar a construção e a manipulação de ontologias (FERNÁNDEZ, GÓMEZ-PÉREZ e PAZOS-SIERRA, 1999). Nesta revisão, apresenta-se uma descrição das metodologias mais citadas na literatura, como a metodologia de Uschold e King (1995), a metodologia de Grüninger e Fox (1995), a *Methontology* proposta por Fernández, Gómez-Pérez e Jurino (1997), a metodologia de Noy e McGuinness (2000) e a metodologia *On-To-Knowledge Methodology* desenvolvida por Sure e Studer (2002).

### 2.2.5.1 Metodologia de Uschold e King

A metodologia elaborada por Uschold e King (1995) se baseia na experiência da construção do *Enterprise Ontology* e compreende quatro estágios para o desenvolvimento de ontologias:

- Identificação do propósito da ontologia: para identificar o porquê da construção da ontologia e as suas intenções de uso;
- Construção da ontologia: este estágio é subdividido em três. A captura da ontologia que identifica os conceitos e relacionamentos do domínio de interesse para produzir uma definição precisa dos mesmos. A codificação que envolve representar a ontologia em uma linguagem formal. A integração de conhecimento que visa integrar a nova ontologia com as ontologias existentes;
- Avaliação: análise da ontologia construída para verificar se atende aos requisitos da aplicação e se é adequada ao propósito para o qual foi definida;
- Documentação: descrição do processo de modelagem da ontologia.

Entretanto, esta metodologia não descreve de uma forma precisa as técnicas para execução das diferentes atividades. Os dados para a construção são obtidos através de entrevistas com especialistas e também com o reuso de ontologias existentes.

### 2.2.5.2 Metodologia de Grüninger e Fox

Esta metodologia foi desenvolvida por Grüninger e Fox (1995) baseada na experiência dos autores no desenvolvimento de ontologias para empresas. Ela possui um método formal que identifica cenários para uso da ontologia e utiliza questões em linguagem natural para determinação do escopo e extração de principais conceitos, propriedades, relações e axiomas. A metodologia divide-se em 6 passos:

- Definir os cenários motivadores: identificar os possíveis problemas que demandem uma nova ontologia e intuitivamente um conjunto de soluções possíveis para o problema;
- Definir informalmente questões de competência: elaborar um conjunto de perguntas que necessitem de uma ontologia para que sejam respondidas. Estas

perguntas são as questões de competência da ontologia;

- Especificação em lógica de primeira ordem da terminologia: a terminologia da ontologia deve ser especificada em uma linguagem formal;
- Especificar as questões de competência formalmente: as questões de competência devem ser definidas em uma linguagem formal;
- Especificação dos axiomas em lógica de primeira ordem: os axiomas também devem ser definidos em uma linguagem formal que fornecem semântica aos termos;
- Verificação da completude da ontologia: analisar se ela de fato atende a todas as questões de competência formuladas.

Os dados são obtidos na primeira etapa, onde os cenários determinam a busca na literatura, as entrevistas e estudos detalhados dos problemas de domínio.

Diferentemente da metodologia anterior, esta fornece mais do que princípios gerais. Após a AC sobre o domínio do problema que vai até a segunda etapa, exige-se uma codificação em linguagem formal.

Apesar deste formalismo ser adequado para avaliar se a ontologia atende os requisitos e evitar ambiguidades na especificação, ele dificulta bastante a comunicação entre o desenvolvedor da ontologia e o especialista do domínio, que é um componente muito importante no desenvolvimento de ontologias (GUIMARÃES, 2002).

### 2.2.5.3 *Methontology*

A metodologia proposta por Fernández, Gómez-Pérez e Jurino (1997) é conhecida como *Methontology*. Nesta metodologia, descreve-se com maior profundidade os passos a serem seguidos e os artefatos a serem criados para a geração de um modelo conceitual e também se propõe um ciclo de vida baseado em evolução de protótipos. O processo divide-se em 10 passos:

- Identificar as principais tarefas da ontologia e planejar a utilização dos recursos;
- Especificar o motivo pelo qual a ontologia está sendo construída e quais são os seus usuários;
- Adquirir o conhecimento sobre o domínio da ontologia;

- Criar um modelo conceitual que descreve o problema e sua solução;
- Realizar a formalização que serve para transformar o modelo conceitual em um modelo formal;
- Integrar, o máximo possível, as ontologias existentes à nova ontologia;
- Implementar a ontologia em uma linguagem formal de modo que ela seja computável;
- Avaliar a ontologia;
- Documentar a ontologia para facilitar o reuso e a manutenção;
- Executar a manutenção da ontologia quando necessário.

#### 2.2.5.4 Metodologia de Noy e McGuinness

A metodologia de Noy e McGuinness (2000) envolve o desenvolvimento iterativo em que uma versão inicial da ontologia é progressivamente refinada. O processo divide-se em 6 passos:

- Determinar o domínio e o escopo da ontologia: neste passo é necessário responder a 4 perguntas. Qual domínio a ontologia cobrirá? Para que se utilizará a ontologia? Para quais tipos de questões a ontologia fornecerá respostas? Quem utilizará e manterá as ontologias?
- Reutilizar ontologias existentes: deve-se realizar uma pesquisa sobre ontologias já existentes no domínio porque podem ser reutilizados na construção da ontologia;
- Levantar termos importantes: enumera-se os termos importantes na ontologia através da criação de uma lista com todos os termos e seus sinônimos que serão utilizados. Deve-se identificar todos os termos e suas propriedades com relação ao domínio específico;
- Definir classes (conceitos) e sua hierarquia: neste passo os termos resultantes do passo anterior são colocados em hierarquias de forma que os mais genéricos sejam transformados em termos mais específicos;
- Definir propriedades das classes ou conceitos;
- Criação de instâncias: criar os indivíduos dos conceitos dentro da hierarquia.

Seus dados são obtidos através de entrevistas com usuários ou pesquisas sobre

ontologias já existentes.

#### 2.2.5.5 Metodologia *On-To-Knowledge Methodology*

A *On-To-Knowledge Methodology* foi desenvolvida por Sure e Studer (2002) e auxilia a administração de conceitos em organizações e identifica metas para as ferramentas de gestão do conhecimento. Esta metodologia se divide em 5 passos:

- *Kick-off*: esta etapa envolve a captura e a especificação de requisitos, a identificação das questões de competência, e posteriormente o levantamento de ontologias que possam ser potencialmente reusadas, para que se construa uma versão rascunho da ontologia proposta;
- Refinamento: nesta fase evolui-se do rascunho para uma ontologia madura e orientada à aplicação, redefina-se a extração do conhecimento e realiza-se sua tradução para uma linguagem formal;
- Avaliação: durante este passo realiza-se a avaliação focada na tecnologia, no usuário e na ontologia;
- Manutenção: após a fase de avaliação verifica-se a necessidade de evolução da ontologia e realiza-se as correções necessárias.

#### 2.2.6 Linguagens para ontologias

No começo dos anos 90 foram criadas várias linguagens para implementação de ontologias baseadas em IA, as quais tinham como origem ou a lógica de primeira ordem como, a KIF (*Knowledge Interchange Format*), ou *frames* combinados com a lógica de primeira ordem como a Ontolingua, a OCML (*Operational Conceptual Modelling Language*), a FLogic (*Frame Logic*), a DL (*Description Logic* - Lógica de Descrições), e a *Loom* (CORCHO, FÉRNANDEZ-LÓPEZ e GÓMEZ-PÉREZ, 2003).

Com a expansão da internet, buscou-se criar linguagens para ontologias que explorassem as características da *Web* (Figura 6). Inicialmente surgiu a SHOE (*Simple HTML Ontology Extensions*) como uma extensão da HTML (*HyperText Markup Language*). Então desenvolveu-se a XML (*eXtensible Markup Language*) e paralelamente a XOL (XML-based

Ontology-exchange Language). Na seqüência houve a RDF (*Resource Description Framework*) e a RDF Schema que, combinadas, originaram a RDF(S), a última na tentativa de representação semântica (CORCHO, FÉRNANDEZ-LÓPEZ e GÓMEZ-PÉREZ, 2003).

Estas linguagens marcaram a origem da *Web Semântica*. Neste contexto, três outras linguagens surgiram como extensão da RDF(S): OIL (*Ontology Interchange Language*), DAML (*DARPA Markup Language*) + OIL e OWL (*Web Ontology Language*). Em 2001, o W3C (*World Wide Web Consortium*) formou um grupo de trabalho para desenvolver uma nova linguagem para ontologias para a *Web Semântica*, quando surgiu a OWL. Para que se iniciasse o desenvolvimento desta, definiu-se os principais casos-de-uso e uniu-se características da DAML + OIL. Então, propôs-se a primeira especificação da OWL (CORCHO, FÉRNANDEZ-LÓPEZ e GÓMEZ-PÉREZ, 2003).

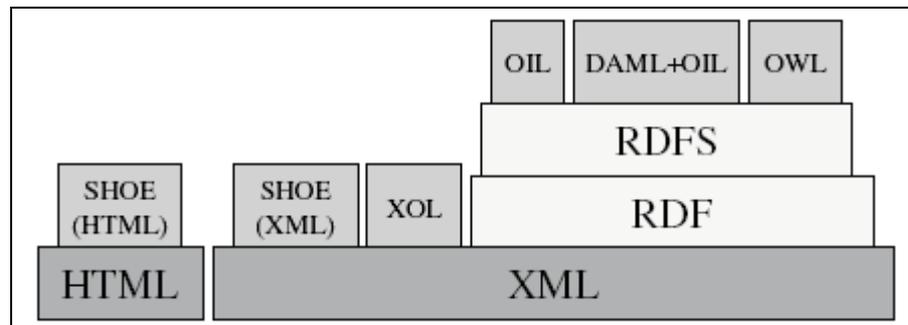


Figura 6: Origem das linguagens para ontologias

Adaptado de Corcho, Fernández-López e Gómez-Pérez (2003)

Segundo Horridge et al. (2004), diferentes linguagens para ontologias fornecem diferentes recursos e facilidades. O desenvolvimento mais recente em padrão para linguagens para ontologias é a OWL da W3C. Através da OWL é possível representar conceitos e também usufruir uma série de vantagens, como, um vasto conjunto de operadores lógicos (*e*, *ou*, *negação*, entre outros), a definição e a descrição de conceitos, e a construção de conceitos complexos sobre definições de conceitos simples.

Além disso, o modelo lógico permite o uso de mecanismos de inferência que podem verificar se as afirmações e definições da ontologia são ou não mutuamente consistentes e pode também reconhecer que conceitos se relacionam a determinadas definições. Estes mecanismos de inferência podem então ajudar a manter a hierarquia correta. Isto é particularmente útil quando se trabalha com classes que podem ter mais de um pai, ou superclasse (HORRIDGE et al., 2004).

As ontologias OWL possuem três espécies ou sub-linguagens: *OWL-Lite*, *OWL-DL* e *OWL-Full*. A característica que define cada uma é sua expressividade:

- A *OWL-Lite* é a menos expressiva, utilizada em situações onde somente uma simples hierarquia de classes e restrições simples são necessárias;
- A *OWL-DL* é muito mais expressiva que a *OWL-Lite* e é embasada na Lógica de Descrições (DL), o que permite que um raciocinador realize inferências sobre a ontologia;
- A *OWL-Full* é a mais expressiva e é utilizada quando a expressividade muito alta é mais importante que a completude computacional, pois não é possível aplicar um raciocinador sobre uma ontologia *OWL-Full*.

### 2.2.7 Lógica de descrições

A DL é uma representação formal de conhecimento. É um formalismo que representa o conhecimento de um domínio de aplicação (mundo), definindo os conceitos relevantes (terminologia) e utilizando estes conceitos para especificar propriedades de objetos e indivíduos que ocorrem no domínio (BAADER et al., 2003; HORROCKS, 2005; FRANCONI, 2006).

Uma das características que diferencia a DL de outras linguagens é a possibilidade de utilização de sistemas de raciocínio (mecanismos de inferência). Assim, a DL é um formalismo para representar conhecimento e raciocinar sobre ele (CALIARI, 2007).

A DL é um fragmento decidível da Lógica de Primeira Ordem e, portanto, permite que mecanismos de inferência atuem sobre uma ontologia *OWL-DL* e automaticamente gerem algumas conclusões a respeito do conhecimento inserido. A DL possibilita que se compute automaticamente a hierarquia de classificação e se verifique as inconsistências na ontologia (HORRIDGE et al., 2004).

Os principais símbolos dos construtores e restrições de valores utilizados são:

- União ( $\cup$ ): representa um conjunto de indivíduos pela união de conceitos. Por exemplo:  $A \cup B$  (o indivíduo é A ou B);
- Conjunção ( $\cap$ ): representa um conjunto de indivíduos pela intersecção de indivíduos. Por exemplo:  $A \cap C$  (o indivíduo pertence ao conjunto A e ao conjunto C);

- Negação ( $\neg$ ): por exemplo, em  $(\neg A)$ , indivíduos não pertencem ao conjunto A;
- Quantificador existencial integral  $\exists$ : por exemplo, em  $\exists \text{ tem\_}A$  (existe pelo menos um indivíduo que pertence ao conjunto A);
- Restrição de Valor  $\forall$ : como exemplo, em  $\forall \text{ tem\_}a.A$  (todo “a” deve ser do conjunto A);
- Número de restrições qualificado  $\geq$ : por exemplo,  $\geq 3 \text{ tem\_}a.A$  (pelo menos três indivíduos “a” pertencem ao conjunto A).

Escrever a ontologia em DL é uma forma de evitar a imprecisão das linguagens naturais e facilitar a interpretação por indivíduos e máquinas que utilizam respectivamente, diferentes linguagens naturais e plataformas (CALIARI, 2007).

### 2.2.8 Ferramentas para desenvolvimento de ontologias

O número de ambientes e ferramentas para a construção de ontologias tem crescido muito. Estas ferramentas tem o objetivo de auxiliar no processo de desenvolvimento da ontologia e também no seu reuso.

Para Corcho, Fernández-López e Gómez-Pérez (2003) as mais relevantes são:

- *Ontolingua Server*, *Ontosaurus* e *WebOnto* que foram os primeiros editores de ontologias;
- *Protégé*, *WebODE* e *OntoEdit* são uma nova geração de ambientes para o desenvolvimento de ontologias;
- *OILed* e *DUET* são ferramentas que emergiram para o desenvolvimento de ontologias na *Web Semântica*.

O *Protégé* foi desenvolvido pelo Grupo de Informática Médica da Universidade de Stanford e possui versões atualizadas constantemente. Seu núcleo é o editor de ontologias e possui uma vasta biblioteca de *plugins* que adicionam maior funcionalidade ao ambiente. Atualmente os *plugins* disponibilizam a importação e a exportação de linguagens de ontologias (FLogic, Jess, OIL, XML e Prolog), acesso a bases de dados, criação e execução de restrições e fusão de ontologias (NOY, FERGERSON, MUSEN, 2000).

A ferramenta *Protégé* tem seu código aberto, com uma interface gráfica para edição de

ontologias baseadas em conhecimento. Isto contribuiu para o entendimento do sistema por parte do seu desenvolvedor e possibilita o compartilhamento da estrutura de informação entre especialistas, desenvolvedores e máquinas, além de facilitar a reutilização do conhecimento de domínio, explicitar conceitos consensuais, separar o domínio do conhecimento do conhecimento operacional e analisar o domínio (NOY e McGUINNESS, 2000).

## 2.3 MÉTRICAS PARA ANÁLISE DE SIMILARIDADE

As medidas de similaridade buscam ressaltar as características semelhantes em um determinado contexto. A análise teórica das relações de similaridade pode ser descrita por modelos geométricos, como as métricas de Minkowski (DEMSAR, 2006), e também por modelos de análise de correlação, como o coeficiente de Pearson (AHLGREN, JARNEVING e ROUSSEAU, 2003).

### 2.3.1 Métricas de Minkowski

Os modelos geométricos representam os atributos (ou o problema) em algum sistema de coordenadas de tal modo que dissimilaridades observáveis entre objetos correspondem a distâncias métricas entre os respectivos pontos (LOPES, 1996).

Segundo Demsar (2006), as métricas de Minkowski consideram a avaliação inicial ( $t_1$ ) e uma segunda avaliação ( $t_2$ ), representadas por vetores  $n$ -dimensionais, conforme a Equação 1.

$$\Delta^k(t_1, t_2) = \left( \sum_{i=1}^n \left[ (p_m)_i \cdot \left| \frac{(t_1)_i - (t_2)_i}{\max_i - \min_i} \right| \right]^k \right)^{\frac{1}{k}} \quad (1)$$

Onde:

$\Delta$ : distância;

$n$ : número de elementos do vetor;

$p_m$ : peso que representa o valor de cada atributo  $i$  para um determinado fim;

$\max_i$ : valor máximo que o  $i$ -ésimo atributo pode atingir;

$\min_i$ : valor mínimo que o  $i$ -ésimo atributo pode atingir;

Alguns valores particulares de  $k$  definem métricas importantes,  $k = 1$  define a métrica de Manhattan,  $k = 2$  define a distância Euclidiana, e  $k = \infty$  (no limite) define a distância entre dois objetos considerando-se somente a sua dimensão mais significativa. Entretanto, a definição de  $k$  para uma determinada classe de problemas é empírica.

### 2.3.2 Análise de correlação

Os erros representam a distância média entre os resultados obtidos e os reais. O coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) apresentado na Equação 2 quantifica a semelhança existente entre dois vetores de valores. Este coeficiente sempre varia de  $-1$  a  $+1$ . Uma relação diretamente proporcional exata ocorre quando o coeficiente é igual a  $+1$ . Uma relação inversa exata ocorre quando o coeficiente é igual a  $-1$ . Quando o coeficiente é igual a  $0$ , significa que não existe relação linear entre os vetores (AHLGREN, JARNEVING e ROUSSEAU, 2003).

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (x_j - \mu_x)(y_j - \mu_y)}{\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \mu_x)^2}{n}} \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (y_j - \mu_y)^2}{n}}} \quad (2)$$

Onde:

- $r$  : coeficiente de correlação;
- $n$ : número de elementos do vetor;
- $x$ : vetor de valores dos dados reais;
- $y$ : vetor de valores dos dados obtidos;
- $j$ : representa o  $j$ -ésimo elemento do vetor;
- $\mu_x$ : média dos valores do vetor  $x$ .
- $\mu_y$ : média dos valores do vetor  $y$ .

## 2.4 PROCESSO DE DIAGNÓSTICO

"Diagnóstico" etimologicamente significa distinguir ou discernir. Para Ferreira (2009) a palavra diagnóstico significa a arte de conhecer as doenças pelos seus sinais e sintomas, ou, ainda, uma descrição minuciosa de algo, feita por seu classificador.

O objetivo de uma sessão de diagnóstico é que, após a análise e ponderação dos achados clínicos (sintomas e sinais) do caso em questão, o médico ou outro profissional da área de saúde estabeleça o diagnóstico com base no seu conhecimento e sua experiência. Desta forma, a utilização de um sistema de análise sobre a grande quantidade de fatos que podem ser acumulados em relação a um determinado quadro patológico é essencial para o sucesso do esforço diagnóstico empreendido (GARCÍA-CRESPO et al., 2010).

### 2.4.1 Diagnóstico em Saúde

O processo de diagnóstico envolve basicamente dois procedimentos: a coleta de fatos e a análise destes fatos. O processo é bastante complexo e os erros no diagnóstico podem ser devidos à conduta imperfeita em ambos os procedimentos.

Podgorelec, Grasic e Pavlic (2009) sintetizaram as duas principais etapas envolvidas no processo de diagnóstico em saúde, como se segue:

- a) Coleta de Fatos: A medição é a base fundamental da ciência. Entretanto, apesar do grande avanço científico, ainda existem dificuldades para o profissional da saúde se expressar em termos quantitativos e objetivos durante o procedimento de coleta de informações do paciente. A coleta de fatos compreende os seguintes tópicos, em ordem cronológica:
  - História: corresponde à anamnese do paciente, onde se cataloga não só informações periféricas tais como a história familiar, mas também os sintomas que o paciente se queixa;
  - Exame físico: sempre que possível, os sinais observados devem ser verificados quantitativa ou qualitativamente. Entende-se por sinal qualquer desvio da normalidade observada pelo médico durante o exame físico;
  - Exames auxiliares: a partir de uma análise preliminar se estabelece uma ou mais hipóteses diagnósticas que vão orientar a seleção dos exames;

- Observação da evolução: algumas condições apresentam poucos sintomas e sinais característicos e o seu diagnóstico definitivo só é possível através da observação da evolução da doença no tempo.
- b) Análise dos Fatos: Após o profissional terminar de categorizar as evidências coletadas, a etapa seguinte consiste em classificá-las de modo a concluir um diagnóstico.

Em suma, espera-se que ao final do processo de diagnóstico, com base nos achados e nas hipóteses levantadas, o profissional da saúde chegue a conclusão de que o paciente possui determinada condição, patologia ou doença.

#### 2.4.2 Diagnóstico em Fisioterapia

Segundo a *World Confederation for Physical Therapy* (2009), o processo de atuação fisioterapêutica consta das seguintes etapas, à saber: avaliação, diagnóstico, prognóstico, intervenção e reavaliação.

O objetivo principal da Fisioterapia é promover e restaurar a funcionalidade. Segundo Gusman e Torre (2005), o fisioterapeuta, por meio de seu diagnóstico, identifica os distúrbios cinéticos-funcionais prevalentes (alterações da funcionalidade da postura e do movimento), elabora a programação progressiva dos objetivos fisioterapêuticos, elegendo e aplicando recursos e técnicas mais adequadas, mantendo o controle da evolução clínica.

Salienta-se a importância da atuação do fisioterapeuta nos diferentes níveis de complexidade de atenção à saúde. O profissional está presente desde o nível de baixa complexidade, onde atua na promoção de saúde, até a média complexidade, como na reabilitação em clínicas, e a alta complexidade, como nas unidades de terapia intensiva.

As tendências atuais em saúde são de se retirar o foco do conceito de doença (prevenção) e visualizar um ser humano biopsicossocial (promoção da saúde). Para Czeresnia e Freitas (2003), a principal diferença encontrada entre prevenção e promoção está no olhar sobre o conceito de saúde, na prevenção a saúde é vista simplesmente como ausência de doenças, enquanto na promoção a saúde é encarada como um conceito positivo e multidimensional, resultando desta maneira em um modelo participativo de saúde na promoção em oposição ao modelo médico de intervenção.

Segundo esta visão, a importância da avaliação ou do diagnóstico fisioterapêutico, além de determinar o grau de comprometimento ou déficit funcional do indivíduo doente, também está em realizar o levantamento dos fatores determinantes para a saúde do indivíduo saudável ou vulnerável (como exemplo, cita-se os recém-nascidos prematuros).

O diagnóstico fisioterapêutico é subsídio para que se trace uma conduta de intervenção, cuja finalidade é habilitar o indivíduo e capacitá-lo a manter sua independência funcional. Uma avaliação correta é fundamental, pois é ela que fornece o diagnóstico fisioterapêutico preciso que, por sua vez, estabelece as diretrizes para a intervenção adequada e individualizada.

Ao se iniciar o procedimento de diagnóstico fisioterapêutico, realiza-se a anamnese, que fornece informações como principais queixas e dados referentes a estas queixas. Segue-se, então, com uma inspeção visual, onde se busca alterações da postura e do movimento. Finalmente, antes do estabelecimento do diagnóstico, realiza-se um detalhado exame físico, ou seja, motor (CIPRIANO, JAHN e WHITE, 2005).

Após o início de sua intervenção o fisioterapeuta realiza reavaliações constantes para verificar se sua conduta está sendo eficiente. Espera-se como resultado, a prevenção da doença (no caso de estratégias para promoção de saúde) ou a regressão do quadro patológico (quando a doença já existe) (KENDALL et al., 2007).

Em Fisioterapia a conclusão diagnóstica determina o grau ou a possibilidade de limitação funcional de um dado paciente. Desta forma, um paciente pode ter como diagnóstico médico Paralisia Cerebral Hemiparética e como diagnóstico fisioterapêutico Atraso no DMN, com idade motora correspondente a 6 meses, entre outras características funcionais que podem estar presentes.

#### 2.4.3 Diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica

Na Fisioterapia existem áreas específicas de atuação, pode-se citar algumas: Fisioterapia cardíco-respiratória, Fisioterapia neurológica, Fisioterapia traumato-ortopédica, Fisioterapia dermatofuncional, Fisioterapia aquática (hidrocinesioterapia).

Uma destas áreas é a Fisioterapia Neuropediátrica, na qual o diagnóstico fisioterapêutico busca prevenir e avaliar os distúrbios da postura e do movimento ocasionados em consequência de uma lesão no sistema nervoso central (DURIGON, SÁ e SITTA, 2004).

Em Fisioterapia Neuropediátrica, uma das escolas de pensamento que orientam a prática profissional é o Conceito Neuroevolutivo Bobath, criado por Karel e Berta Bobath em 1943 (GONTIJO e CURY, 2004). Este Conceito é a forma de atuação fisioterapêutica mundialmente mais difundida nesta área da Fisioterapia (FLEHMIG, 1992; BLY 1994; LEVITT, 1995; CASTILHO, LOPES e TACLA, 2008; CASTILHO e LOPES, 2010). Conforme ilustrado na Figura 7, na fase de diagnóstico, do processo fisioterapêutico, pode-se seguir um raciocínio embasando-se no viés da escola Bobath.

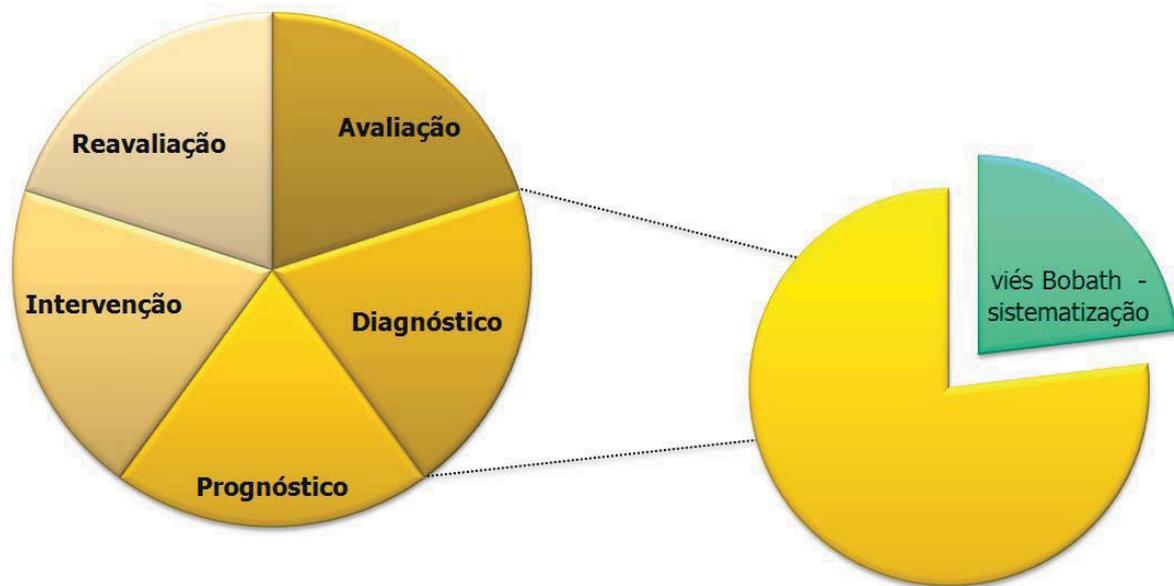


Figura 7: Processo Fisioterapêutico em Fisioterapia Neuropediátrica e sua relação com o diagnóstico e o Conceito Neuroevolutivo Bobath

A abordagem pelo Conceito Bobath encontra-se em constante evolução, como no recente reconhecimento da importância da Teoria dos Sistemas Dinâmicos (GONÇALVES, GONÇALVES e PEROTTI JUNIOR, 1995; CONNOLLY, 2000; SHUMWAY-COOK e WOOLLACOTT, 2007). Esta teoria diz respeito à influência de fatores ambientais e da adesão familiar ao tratamento, como elementos determinantes no processo de recuperação dos pacientes.

Segundo o Conceito Neuroevolutivo Bobath, quando ocorre uma lesão neurológica em uma criança, o fisioterapeuta avalia a sua motricidade e a sua funcionalidade através do seu DMN. Assim, por exemplo, em uma criança normal com 8 meses de *idade cronológica* a análise de seu DMN remete a aproximadamente 8 meses de *idade motora*. Porém, em uma criança com lesão do SNC pode-se ter uma *idade cronológica* de 8 meses, mas uma *idade*

*motora* de 2 meses. Esta defasagem é considerada como atraso motor ou desenvolvimento motor anormal.

Quando se trabalha com crianças que apresentam alteração ou defasagem do DMN, precisa-se conhecer o desenvolvimento normal para que se possa reconhecer o anormal. As etapas do desenvolvimento servem como guia no processo de diagnóstico e terapia (GUSMAN e TORRE, 2005).

As mudanças durante o primeiro ano de vida são as mais importantes modificações, onde se processam os maiores saltos evolutivos em curtos períodos de tempo. No primeiro ano, a criança passa de uma posição horizontal para uma posição vertical, quando aprende a se mover contra a gravidade (aprende a caminhar) (DIAMENT, 1998).

As modificações nos marcos do DMN geralmente são percebidas e relatadas pela literatura mês a mês, de forma que as crianças podem ser classificadas como pertencentes a uma determinada idade motora que varia entre 1 e 12 meses.

Portanto, na Fisioterapia Neuropediátrica avalia-se as crianças segundo seu DMN. O objetivo é determinar em que mês do DMN uma criança se enquadra. Assim, pode-se ter como resultado 1 mês, 2 meses, etc., até 12 meses. Segundo Castilho-Weinert e Lopes (2010), para determinar o mês considera-se a presença dos seguintes critérios que compõem o DMN: Reações, Reflexos, Planos de Movimento, Padrões de Movimento e Habilidades Motoras Voluntárias. Cada um destes critérios pode assumir diferentes características/ valores dependendo do mês em que a criança se encontre.

Pode-se exemplificar um diagnóstico ou classificação com as características que uma criança com 4 meses de *idade motora* deve possuir segundo a seqüência do DMN:

- Reflexos: Reflexo de Moro, Reflexo Tônico Cervical Assimétrico e Reflexo de Preensão Tônica Plantar;
- Reações: Reação Óptica de Retificação, Reação Labiríntica de Retificação e Reação Cervical de Retificação;
- Plano de Movimento: Latero-lateral;
- Padrões de Movimento: Posição Decúbito Ventral, Posição Decúbito Lateral e Posição Decúbito Dorsal;
- Habilidades Motoras Voluntárias: Controle de Cabeça, *Kiking*, Rolar em Bloco e Preensão.

Desta forma, em uma criança que possua *idade motora* de 4 meses e *idade cronológica* de 12 meses, trabalha-se durante os atendimentos em Fisioterapia para que ela evolua paulatinamente para atingir primeiro as características de 5 meses de *idade motora*, depois as de 6 meses, e assim por diante. O objetivo ao final do tratamento é equiparar as *idades motora e cronológica* e tornar a criança o mais próximo possível do normal, ampliando a sua funcionalidade.

O DMN, descrito por vários autores como Diament (1998), Levitt (1995), Bly (1994), Bobath (1989), Milani-Comparetti (1967) e outros, serve como guia e parâmetro para que se avalie a alteração e a disfunção que a criança com distúrbio neurológico pode apresentar no funcionamento do SNC e do sistema musculoesquelético. Segundo Gusman e Torre (2005) a grande variabilidade de movimentos é normal e a diminuição desta variabilidade leva a suspeitar de sinais patológicos.

Através da análise do DMN é possível determinar se uma criança obteve evolução com o tratamento fisioterapêutico. Porém, as avaliações realizadas são qualitativas, tanto para o diagnóstico inicial quanto para a análise do resultado do tratamento. Desta forma, não é possível quantificar precisamente a disfunção inicial e a evolução do paciente devido à subjetividade existente nos procedimentos aplicados. Isto reitera a necessidade de se desenvolver sistemas inteligentes de apoio ao diagnóstico e à sua quantificação, para complementar os diferentes métodos de diagnósticos qualitativos existentes.

## 2.5 TRABALHOS CORRELATOS

Na seqüência são apresentados alguns trabalhos que abordam o uso da informática no apoio ao ensino e no suporte ao diagnóstico em Fisioterapia.

No ensino de Fisioterapia ainda existem poucas aplicações da informática, porém com resultados otimistas. McGouwn e Faust (1971) descrevem a elaboração de um programa piloto para o ensino em Fisioterapia, no qual desenvolveu-se um *software* de revisão para conteúdos de anatomia e cinesiologia. Os resultados indicaram excelentes ganhos de aprendizagem. Washington e Parniampour (1997), relatam o desenvolvimento de um sistema tutorial para o ensino da biomecânica, no curso de Fisioterapia, através do qual houve aprendizagem significativa por parte dos alunos. Saarinen-Rahika e Binkley (1998) realizaram um experimento na área de Fisioterapia utilizando um sistema tutorial baseado na

aprendizagem baseada em problemas - *Problem-Based Learning (PBL)*. Neste estudo, o desempenho dos alunos submetidos ao *software* também foi superior aos demais.

Os trabalhos mais recentes que visaram utilizar a informática na Fisioterapia envolveram o desenvolvimento de *softwares* de apoio à educação de acadêmicos do curso de Fisioterapia. No primeiro, Gonzaga (2003) desenvolveu um *software* de apoio ao ensino da avaliação da atividade reflexa em recém-nascidos. Esta abordagem também se mostrou mais eficiente para o processo de ensino-aprendizagem do que os livros. Castilho (2004) criou um *software* de apoio ao aprendizado dos testes de força muscular que demonstrou um potencial de representação de movimentos e imagens tridimensionais bastante superior ao dos livros, conforme publicado em (Castilho, Lopes e Weinert, 2008; Moreira e Castilho, 2008; Castilho-Weinert e Lopes, 2009). Moreira et al. (2004) desenvolveram um *software* educativo neurológico com recursos de multimídia e hipermídia para o ensino das patologias do sistema nervoso, também direcionado a acadêmicos de graduação em Fisioterapia. Osaku (2005) elaborou um sistema de apoio ao ensino da assistência ventilatória mecânica que facilitou o aprendizado do aluno e o seu manuseio do aparelho de ventilação mecânica no ambiente hospitalar. Mais recentemente Fernandes et al. (2006) criaram um ambiente virtual de ensino-aprendizagem para simular diagnósticos relacionados à articulação do ombro e suas disfunções mais comuns. Este ambiente consistiu em uma multimídia interativa com recursos de fórum para gerar discussões. Berto (2006) implementou um recurso didático multimídia para suporte ao ensino presencial de Fisioterapia respiratória. Seus resultados também confirmaram que o uso da tecnologia de informação como recurso didático-pedagógico tem potencial para facilitar o aprendizado de acadêmicos do curso de Fisioterapia.

Wilkinson (2007) desenvolveu uma ontologia de domínio e de aplicação para Fisioterapia com o objetivo de formalizar a classificação e a terminologia na área da anatomia aplicada à Fisioterapia. Esta ontologia foi utilizada com sucesso para fins didáticos entre alunos de graduação. No levantamento realizado não se encontrou, até o momento, outra ontologia desenvolvida na área da Fisioterapia.

Em relação ao desenvolvimento de sistemas de apoio à decisão em Fisioterapia, Oberto e Azevedo (2004) criaram um sistema inteligente de auxílio ao tratamento fisioterapêutico, para portadores de paralisia cerebral, aplicando o princípio da neuroplasticidade. O sistema teve o objetivo de auxiliar o profissional fisioterapeuta na delimitação do tratamento neurológico da paralisia cerebral e seus resultados iniciais foram promissores. Cardoso et al. (2004) elaboraram um SE para apoio à decisão em exames ortopédicos para contribuir na melhoria do processo educativo do curso de Fisioterapia.

Dankel II e Kristmundstottir (2005) desenvolveram um SE para Fisioterapia neurológica no adulto que embasou, tanto o processo de avaliação, quanto o de reabilitação de pacientes que sofreram acidente vascular encefálico. Este sistema demonstrou a viabilidade de sistemas baseados em conhecimento direcionados à Fisioterapia. Peixoto, Bastos e Israel (2006) desenvolveram um sistema de apoio à decisão em Fisioterapia para auxílio na simulação de exames ortopédicos da coluna vertebral. Através de regras de produção, o sistema possibilitou a simulação dos diagnósticos de todos os prontuários selecionados, e se obteve um resultado muito satisfatório. Chi e Dias (2006) propuseram uma rede Bayesiana para apoio à decisão de parâmetros ventilatórios em pacientes com traumatismo craniano encefálico grave. Riella (2007) também desenvolveu um sistema de apoio à decisão para monitoração do paciente em assistência ventilatória invasiva se embasando em redes Bayesianas. Ambos foram capazes de alertar quanto às mudanças de parâmetros de ventilação mecânica, com eficiência próxima a do especialista humano. Bini (2008) elaborou uma proposta de prontuário eletrônico do paciente com protocolo para avaliação do desenvolvimento neuropsicomotor.

Estes trabalhos foram pesquisados nas bases de dados *Science Direct*<sup>1</sup>, *National Center for Biotechnology Information (NCBI)*<sup>2</sup> e Biblioteca Virtual em Saúde (BVS)<sup>3</sup>, com as seguintes palavras-chave relacionadas a Fisioterapia: multimídia, *software*, ontologia, diagnóstico e sistema de apoio à decisão. Estas palavras foram traduzidas também para o inglês com o objetivo de ampliar a busca.

Apesar da bibliografia escassa, os resultados positivos obtidos com o emprego da informática na Fisioterapia tornam essa área muito interessante para o desenvolvimento de novas metodologias e aplicações, com o objetivo de aumentar a qualidade e dinamizar o aprendizado acadêmico e a atuação profissional.

---

<sup>1</sup> <http://www.sciencedirect.com/>

<sup>2</sup> <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>

<sup>3</sup> <http://regional.bvsalud.org/php/index.php>

## CAPÍTULO 3

### METODOLOGIA PARA AQUISIÇÃO E REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

Neste sistema, os procedimentos de AC e RC permitiram a formalização de uma base de conhecimento utilizada nos processos de inferência do diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica.

#### 3.1 PROCESSO DE AQUISIÇÃO DO CONHECIMENTO

Como fonte para a AC foram selecionados três fisioterapeutas especialistas em Fisioterapia Neuropediátrica, com experiência docente (teórica) e terapêutica (prática) neste domínio (Tabela 1). Selecionou-se mais de um especialista para que se pudesse embasar o processo de AC em um consenso, conforme recomendado pelos autores clássicos da área de ontologias (GRUBER, 1993, 1995; GUARINO, 1997). Porém, o número de especialistas na área de Fisioterapia Neuropediátrica, com experiência, formação e atuação específicas é escasso, o que reafirma a necessidade de sistemas de apoio à decisão nesta área. Outro fato importante a ser considerado, é a dificuldade de se encontrar especialistas que disponham de seu tempo para participar do processo de AC.

Tabela 1: Perfil dos especialistas entrevistados

<b>Dados</b>	<b>Especialista A</b>	<b>Especialista B</b>	<b>Especialista C</b>
Anos desde a graduação	18	8	6
Anos de experiência clínica na área	18	8	6
Anos de docência na área	11	7	5
Número de cursos complementares na área	7	2	2
Mestrado Concluído	sim	sim	sim

Primeiro, realizou-se a obtenção do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Anexo II) que foi apresentado a cada voluntário da pesquisa (especialista no domínio) para leitura e assinatura, constando de duas cópias, uma para o pesquisador e outra para o

especialista. Posteriormente estes profissionais participaram de diferentes tipos de entrevistas objetivando a extração de seu conhecimento de maneira adequada e completa.

Além das entrevistas, utilizou-se também mais duas técnicas complementares para o processo de AC: a técnica de cenários, pois ao participar das entrevistas, o especialista certamente consultou seu conhecimento, que é composto também por características de casos reais; e a técnica de análise de textos, pois o conhecimento final obtido no processo de AC passou por um processo de conferência nos principais livros-texto relacionados ao domínio em questão.

### 3.1.1 Procedimento para planejamento e realização das entrevistas

A entrevista pode ser considerada uma das técnicas mais versáteis para a AC (CORDINGLEY, 1989; LOPES, 1996; LUGER, 2009). Numa entrevista, o principal tipo de interação é a proposição de perguntas pelo entrevistador (engenheiro do conhecimento) e a obtenção das respostas do entrevistado (especialista no domínio). Assim, o especialista pode expor verbalmente seu conhecimento.

As técnicas de entrevista utilizadas foram a semi-estruturada, previamente planejada antes de cada seção, seguida da estruturada, conforme a seqüência estabelecida por Milton (2007) (Seção 2.1.1.3). Para a realização das entrevistas, adaptou-se as fases do esquema de questionamento proposto por LaFrance (1987), para que o mesmo atendesse às necessidades do domínio em questão.

- Questionamento amplo (*grand-tour*): Nesta primeira fase, realizou-se uma entrevista semi-estruturada, através de questionamentos amplos, generalistas e introdutórios, para definir os parâmetros a serem explorados nas etapas seguintes. Nesta fase, obteve-se as respostas apresentadas na Figura 8, onde se pode observar que as informações referentes às questões 1, 2, 3 e 5 foram consensuais entre os três especialistas entrevistados. Pode-se compreender que sempre se busca a idade motora de um paciente, isto é, classificar um paciente em um determinado mês do DMN para que se possa verificar se há atraso em relação à sua idade cronológica (número de meses que possui em relação à data de nascimento).

1- Como se avalia um paciente neuropediátrico submetido à Fisioterapia?

Através da comparação de sua motricidade com o Desenvolvimento Motor Normal.

2- O que se busca determinar através do Desenvolvimento Motor Normal?

Verifica-se a idade motora para que se compare se há defasagem em relação à idade cronológica.

3- Para determinar a idade motora que critérios se analisa?

Reflexos, Reações, Planos de Movimento, Padrões de Movimento, Habilidades Motoras Voluntárias.

4- Em ordem de importância, o que se analisa primeiro?

<b>Especialista A</b>	<b>Especialista B</b>	<b>Especialista C</b>
Reflexos; Reações; Planos de Movimento; Habilidades Motoras Voluntárias; Padrões de Movimento.	Habilidades Motoras Voluntárias; Padrões de Movimento; Planos de Movimento; Reflexos; Reações.	Habilidades Motoras Voluntárias; Planos de Movimento; Padrões de Movimento; Reações; Reflexos.

5- Dentro de cada um destes critérios que características são analisadas?

<b>Reflexos</b>	<b>Reações</b>	<b>Planos de Movimento</b>	<b>Padrões de Movimento</b>	<b>Habilidades Motoras</b>
Colocação do Membro Inferior Galant Liberação das Vias Aéreas Marcha Automática Moro Preensão Tônica Palmar Preensão Tônica Plantar Sucção Sustentação de Peso Quatro Pontos Cardeais Tônico Cervical Assimétrico	Cervical de Retificação Corporal de Retificação De Anfíbio De Landau De Proteção para Frente De Proteção para Lados De Proteção para Trás Labirítica de Retificação Óptica de Retificação	Ântero-posterior Latero-lateral Rotacional	Ajoelhado Cabeça Lateralizada Decúbito Dorsal Decúbito Lateral Decúbito Ventral Posição Flexão Fisiológica Posição em Pé Posição Gatas Semi-ajoelhado Sentado com Apoio Sentado em <i>Long-sitting</i>	Colocar Pé na Boca Controle de Cabeça Controle de Tronco Superior Controle de Tronco Inferior Engatinhar <i>Kiking</i> Marcha Independente Marcha Lateral Pivotear Ponte Preensão <i>Puppy</i> Rolar em Bloco Rolar Dissociado Simetria

Figura 8: Entrevista semi-estruturada e respostas obtidas dos especialistas

- Porém, na questão 4, observa-se um conflito de opiniões pois, para se determinar quantos meses de idade motora um paciente tem, apesar de todos considerarem os mesmos parâmetros de classificação, eles divergem quanto à ordem de importância e análise destes critérios no momento de diagnóstico. Para sanar este conflito,

analisou-se, posteriormente, os dados obtidos com a entrevista estruturada, pois a mesma pode confirmar se, durante a determinação da idade motora mês a mês (entre 0 e 12 meses), os especialistas sempre avaliam os parâmetros segundo a ordem de importância que relataram;

- Catálogo das categorias: Na segunda fase, prosseguiu-se com a entrevista semi-estruturada e realizou-se a catalogação das categorias (principais conceitos envolvidos no processo de diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica). Nesta etapa, através das respostas obtidas à pergunta 3 (Figura 8), compreendeu-se os quesitos analisados pelos especialistas para a classificação da motricidade de um paciente. Portanto, nesta parte da entrevista, foram definidos os cinco grandes grupos de informações relevantes para o processo de diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica, pelos quais tais especialistas determinam a idade motora:
  - ✓ Reflexos;
  - ✓ Reações;
  - ✓ Planos de Movimento;
  - ✓ Padrões de Movimento;
  - ✓ Habilidades Motoras Voluntárias.

Ainda na segunda fase, houve a determinação dos itens (atributos) que compõem cada categoria mencionada. Estes atributos também foram coletados durante a entrevista semi-estruturada, pelas informações obtidas com as respostas à pergunta 5 (Figura 8) ;

- Detalhamento dos atributos: Os atributos são os itens que compõem cada categoria. Para a obtenção das informações referentes a esta fase utilizou-se a entrevista estruturada. Nesta fase elaborou-se doze questionários iguais, cada um referente a um dos meses do DMN (Figura 9). Questionou-se em cada mês do DMN a presença ou ausência dos itens levantados na segunda fase da etapa de catalogação das categorias. Desta forma, cada especialista respondeu quais atributos (itens) são analisados para a classificação dos pacientes nos diversos meses. Em seguida, elaborou-se um protótipo de paciente referente a cada mês do DMN;

1- Assinale quais itens se avalia para determinar **1 mês de idade motora**:

**Reflexos:**

descreva se é fraco (F), normal (N) ou intenso (I)

- Reflexo de Colocação do Membro Inferior
- Reflexo de Galant
- Reflexo de Liberação das Vias Aéreas
- Reflexo de Marcha Automática
- Reflexo de Moro
- Reflexo de Preensão Tônica Palmar
- Reflexo de Preensão Tônica Plantar
- Reflexo de Sucção
- Reflexo de Sustentação de Peso
- Reflexo dos 4 Pontos Cardeais
- Reflexo Tônico Cervical Assimétrico

Descreva se alguma não consta: \_\_\_\_\_

**Padrões de Movimento:**

descreva se é voluntário (V) ou involuntário (I)

- Posição Ajoelhado
- Posição Cabeça Lateralizada
- Posição Decúbito Dorsal
- Posição Decúbito Lateral
- Posição Decúbito Ventral
- Posição em Pé
- Posição Flexão Fisiológica
- Posição Gatas
- Posição Semi-ajoelhado
- Posição Sentado com Apoio (não funcional)
- Posição Sentado em *Long-sitting* (funcional)

Descreva se alguma não consta: \_\_\_\_\_

**Reações:**

descreva se é parcial (P) ou completa (C)

- Reação Cervical de Retificação
- Reação Corporal de Retificação
- Reação de Anfíbio
- Reação de Landau
- Reação de Proteção para Frente
- Reação de Proteção para os Lados
- Reação de Proteção para Trás
- Reação Labirítica de Retificação
- Reação Óptica de Retificação

Descreva se alguma não consta: \_\_\_\_\_

**Habilidades Motoras Voluntárias:**

descreva se é parcial (P) ou completa (C)

- Realiza Colocar Pé na Boca
- Realiza Controle de Cabeça
- Realiza Controle de Tronco Superior
- Realiza Controle de Tronco Inferior
- Realiza Engatinhar
- Realiza *Kiking*
- Realiza Marcha Independente
- Realiza Marcha Lateral
- Realiza Pivotear
- Realiza Ponte
- Realiza Preensão
- Realiza *Puppy*
- Realiza Rolar em Bloco
- Realiza Rolar Dissociado
- Realiza Simetria (mãos em linha média)

Descreva se alguma não consta: \_\_\_\_\_

**Planos de Movimento:**

assinale quais estão presentes

- Movimento Ântero-posterior
- Movimento Latero-lateral
- Movimento Rotacional

Dos itens escolhidos quais são imprescindíveis para que se determine 1 mês de idade motora?

-----

Se a resposta inclui mais de uma característica, descreva qual a ordem de importância.

-----

Figura 9: Entrevista estruturada sobre o perfil de uma criança com 1 mês de idade motora

- Determinação das ponderações: Na quarta fase, os atributos receberam um peso, de acordo com sua importância, em cada mês do DMN. Solicitou-se aos especialistas que, ao preencherem os doze questionários mencionados anteriormente, também determinassem a importância de cada atributo em cada mês do DMN. Estas ponderações estão representadas, na forma de um mapa conceitual, na Figura 10.

Na categoria dos reflexos, ao assinalar a presença de um dos reflexos em um determinado mês, o especialista também apontou se o mesmo ocorreria de maneira fraca, normal ou intensa. Estas intensidades surgiram de acordo com o relato dos próprios especialistas sobre como avaliavam as diferenças na apresentação de um reflexo nos diferentes meses do DMN. Por exemplo, no segundo mês do DMN, os especialistas relataram que o reflexo tônico cervical assimétrico é bastante evidente; no quarto mês descreveram que o reflexo de preensão tônica plantar está presente; e no décimo mês relataram que o mesmo reflexo está desaparecendo. Esta descrição fez com que se considerasse a ocorrência de um reflexo com intensidade intensa, no primeiro caso; com intensidade normal, no segundo caso; e, com intensidade fraca, no último caso.

Na categoria dos padrões de movimento, os especialistas consideraram os atributos como voluntários e involuntários. Desta forma, um padrão de movimento é voluntário quando a criança consegue alcançar sozinha uma determinada postura, e, involuntário quando ela é colocada pelo examinador em uma postura e consegue manter-se.

Nas categorias reações e habilidades motoras, os especialistas determinaram as ponderações parcial e completa. Assim, uma reação ou habilidade motora é dita parcial quando a criança as inicia, mas ainda não as executa perfeitamente, e, completa quando as executa adequadamente

Na categoria dos planos de movimentos, os especialistas consideraram apenas a sua presença ou ausência, portanto, não houve determinação de ponderações.

As ponderações conseguiram amenizar a subjetividade, que é uma questão bastante presente nos diagnósticos fisioterapêuticos e que muitas vezes tornam-se um obstáculo para a validação de metodologias formais na área;

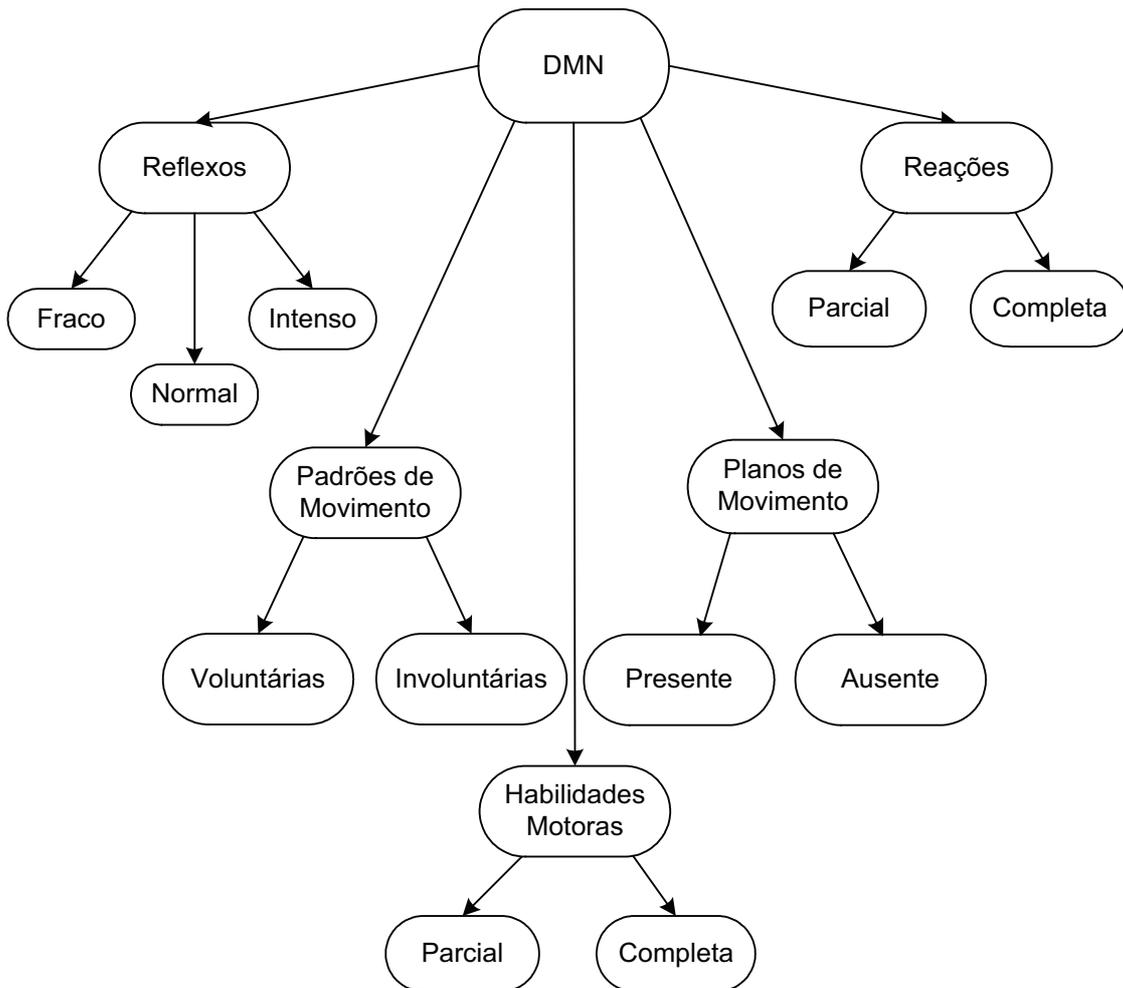


Figura 10: Determinação das ponderações pelos especialistas

- Verificação cruzada: Na quinta e última fase, realizou-se a verificação cruzada através da revisão das informações dos questionários pelos especialistas. Esta etapa possibilitou ajustes e refinamentos nas informações adquiridas na segunda, terceira e quarta fases.

### 3.1.2 Gerenciamento de conflitos entre especialistas

Uma parte bastante importante do processo de AC é o gerenciamento de conflitos e divergências oriundos das opiniões dos especialistas.

A IA clássica recomenda que na Engenharia do Conhecimento escolha-se somente um especialista como fonte de informações (LUGER, 2009; RUSSELL e NORVIG, 2009). Entretanto, o conhecimento gerado por este processo de aquisição será representado na forma

de uma Ontologia e os principais autores desta área recomendam que uma ontologia deva ser sempre embasada por um consenso entre as opiniões de um grupo de especialistas (GRUBER, 1993, 1995; GUARINO, 1997).

Desta forma, neste trabalho, optou-se pela AC de três especialistas no domínio, na tentativa de se promover um consenso sem ser displicente com o processo de divergência de opiniões.

O tratamento destas divergências ocorreu através da metodologia IBIS (*Issue-Based Information System*) desenvolvida por Rittel e colaboradores na década de 70 (RITTEL e WEBBER, 1973). Pode-se considerar este Sistema de Informação Baseado em Questões como um método para melhorar e organizar a exploração e o tratamento de problemas controversos, pois permite a realização de diálogos entre especialistas e, conseqüentemente, a emergência de modelos (YAKEMOVIC e CONKLIN, 1990).

A IBIS provê uma estrutura em que elementos lógicos fundamentais no discurso podem ser compreendidos. Por se embasar em questões, qualquer divergência em uma questão gera possibilidades de resposta que são as idéias, e estas idéias devem ser suportadas por argumentos que são as justificativas.

Conforme a Figura 11, este sistema pode incorrer em diferentes ciclos, de acordo com o desenvolvimento do diálogo com os especialistas:

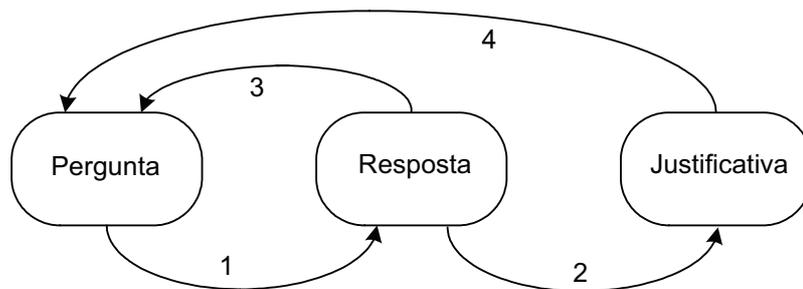


Figura 11: Possibilidades de ciclos de vida previstos na metodologia IBIS

Adaptado de: <http://www.touchstone.com/tr/wp/IBIS.html>

A Figura 11 permite a observação dos seguintes ciclos:

- Ciclo com a seqüência básica (1-2): uma pergunta, uma resposta e uma justificativa;
- Ciclo intermediário (1-2-3-1-2): se inicia com uma pergunta, seguida de uma resposta, que gera uma nova pergunta e então sua resposta e uma justificativa;

- Ciclo expandido (1-2-4-1-2): ao final da seqüência básica pergunta, resposta, justificativa retorna-se ao início de uma nova seqüência básica.

A princípio não se pode prever a seqüência de ocorrência e a quantidade de passos envolvida em um ciclo, mas todos devem ser bem argumentados de forma que seu término sempre ocorra em uma justificativa. Assim, várias idéias e justificativas geram mais perguntas e aumentam a profundidade na abordagem do problema.

Em um conflito de opiniões, para a definição final de uma resposta é necessário que se evolua da divergência para a convergência, isto é, precisa-se emergir em um consenso. Assim, esta metodologia propõe que, ao se deparar com uma questão que possui respostas discrepantes obtidas de diferentes especialistas, sempre se opte pela resposta que possui a melhor argumentação, ou seja, aquela que recebeu uma aprovação, endosso ou justificativa (Figura 12). No caso de duas possibilidades de resposta possuírem justificativas, deve-se escolher aquela que possua o maior número de argumentações.

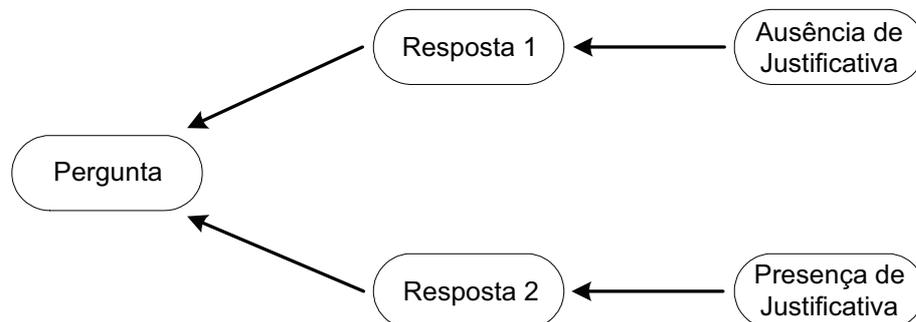


Figura 12: Modelo para emergência de consenso em conflito de opiniões

Adaptado de: <http://www.touchstone.com/tr/wp/IBIS.html>

A Figura 13 exemplifica o tratamento de um conflito entre dois especialistas durante o processo de AC. Neste exemplo, recebeu-se duas respostas discrepantes, e, então, solicitou-se a cada especialista que se possível justificasse o conteúdo de sua resposta. Como a resposta do primeiro especialista não recebeu justificativa, considerou-se a segunda resposta como o conhecimento válido para a formação da base de conhecimento.

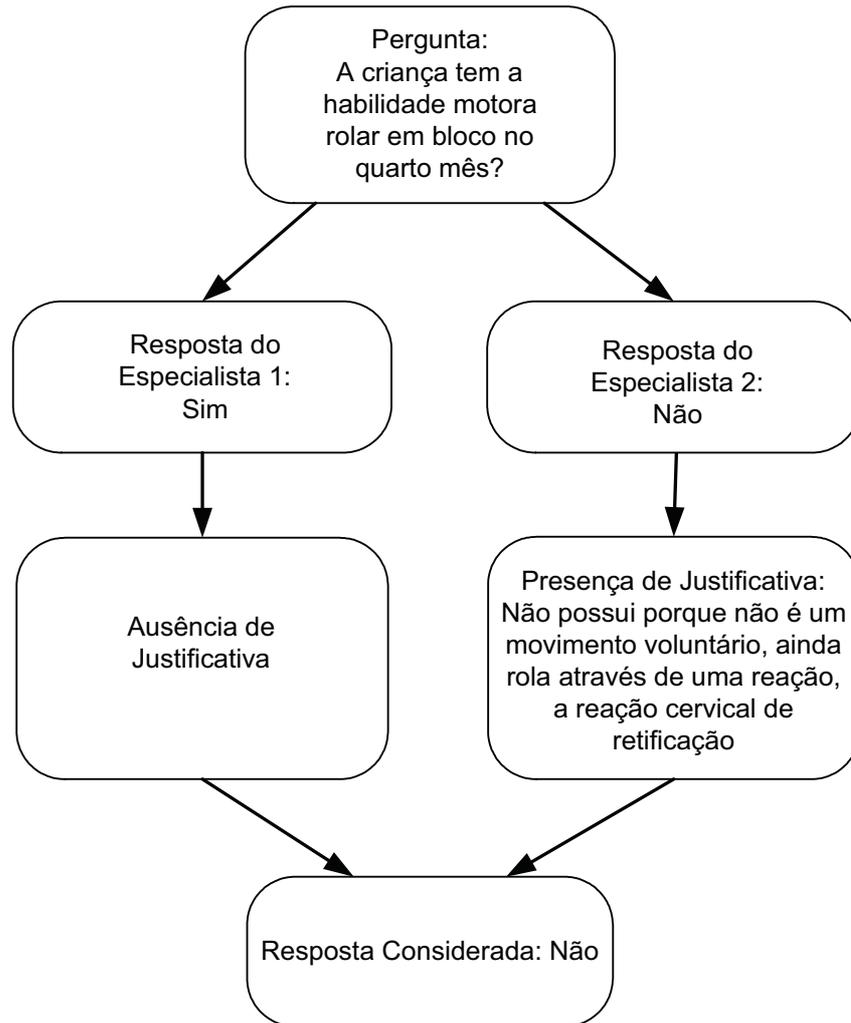


Figura 13: Gerenciamento de um conflito durante o processo de entrevistas

Durante o processo de AC foram aplicados e analisados 12 questionários para cada especialista, cada um com 49 itens, totalizando 588 itens avaliados. Nestes, houve 41 conflitos ou respostas divergentes, representado apenas 7% dos 588 itens analisados. A Tabela 2 ilustra a variação desta taxa durante a análise das informações referentes ao questionário de cada mês do DMN.

Utilizando a metodologia IBIS todos os conflitos foram resolvidos e, para ampliar a confiabilidade das informações, o conhecimento foi analisado e comparado com as informações disponíveis na literatura clássica sobre DMN (BOBATH, 1971; FLEHMIG, 1992; BLY, 1994; LEVITT, 1995; FINNIE, 2000).

É importante salientar que, em Fisioterapia Neuropediátrica, assim como em muitas das áreas da saúde, há diferentes escolas de pensamento que orientam a prática profissional, dando diferentes abordagens para o problema do diagnóstico. Devido à diferença de abordagens entre as escolas de pensamento, poderia ser bastante difícil estabelecer o

conhecimento consensual, tornando inviável a construção de uma ontologia (CASTILHO, LOPES e TACLA, 2008; CASTILHO e LOPES, 2010). Desta forma, este trabalho embasou-se nos princípios da escola mais difundida mundialmente, o Conceito Neuroevolutivo Bobath (FLEHMIG, 1992; BLY 1994; LEVITT, 1995; CASTILHO, LOPES e TACLA, 2008; CASTILHO e LOPES, 2010).

Tabela 2: Variação da ocorrência de conflitos entre as informações dos especialistas

<b>Mês do DMN</b>	<b>Número de Conflitos</b>	<b>Percentual Correspondente</b>
01	4	8,2%
02	4	8,2%
03	7	14,3%
04	8	16,3%
05	4	8,2%
06	1	2%
07	3	6,1%
08	4	8,2%
09	2	4%
10	2	4%
11	1	2%
12	1	2%

### 3.2 METODOLOGIA PARA REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO EM UMA ONTOLOGIA

Como metodologia para RC advindo do processo de aquisição, escolheu-se o desenvolvimento de uma ontologia, pois permite o desenvolvimento de um vocabulário de senso comum e viabiliza o compartilhamento de informações sem ambiguidade. Além disto, também possibilita a representação formal de conhecimento tácito (aquele disponível com pessoas e que não se encontra formalizado em meios concretos), como o conhecimento existente na área de Fisioterapia Neuropediátrica. Esta ontologia tem como principal objetivo formar uma base de conhecimento e de classificação de informações que serve de subsídio para o diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica.

Esta ontologia pode ser classificada como uma ontologia de domínio (Seção 2.2.3) por ser reutilizável e, por fornecer vocabulário, relacionamentos e regras relacionados a este domínio (MIZOGUCHI, VANWELKENHUYSEN e IKEDA, 1995; VAN-HEIJST, SCHREIBER e WIELINGA, 1997; GUARINO, 1998; HAAV e LUBI, 2001). A ontologia desenvolvida também pode ser classificada como semiformal (Seção 2.2.3) por ser expressa em uma linguagem artificial, definida formalmente (USCHOLD e GRUNINGER, 1996).

### 3.2.1 Metodologia de construção da ontologia

Durante o desenvolvimento desta ontologia, mesclou-se a utilização da metodologia proposta por Fernández, Gómez-Pérez e Jurino (1997), conhecida como *Methontology*, e a *On-To-Knowledge Methodology* desenvolvida por Sure e Studer (2002), com a finalidade de se realizar uma modelagem mais completa.

Para a modelagem da ontologia, utilizou-se as seguintes partes do Processo de Desenvolvimento da Metodologia *Methontology*: Atividade de Especificação, Atividade de Conceitualização e Atividade de Formalização. Na Atividade de Especificação, aplicou-se também princípios da metodologia *On-To-Knowledge*.

Na seqüência, realizou-se as atividades de Implementação e de Manutenção. Durante o Processo de Desenvolvimento, realizou-se paralelamente o Processo de Suporte da *Methontology* que engloba as Atividades de Integração, Avaliação (análise das questões de competência e da coerência da taxonomia) e Documentação (ocorre ao longo de todas as fases), e o Processo de Administração, que possui as atividades de Controle e Controle de Qualidade.

#### 3.2.1.1 Atividade de especificação

- Domínio: Fisioterapia.
  - Sub-domínio: Fisioterapia em Neuropediatria.
  
- Objetivo: Pretende-se formar uma base de conhecimento para classificação (diagnóstico) em Fisioterapia Neuropediátrica.

- Domínio e Escopo:
  - Avaliar crianças segundo seu DMN;
  - Determinar em que mês do DMN uma criança se enquadra.
  
- Aplicações: A ontologia será a forma de RC necessário a um Sistema de Apoio ao Diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica.
  
- Fontes de Conhecimento:
  - O processo de AC foi realizado através de entrevistas com especialistas na área. Primeiramente, realizou-se uma entrevista semi-estruturada, transcreveu-se os dados obtidos e depois se aplicou uma entrevista estruturada para obter conhecimento mais específico do domínio;
  - Selecionou-se como especialistas 3 fisioterapeutas, com especialização no atendimento de pacientes neuropediátricos, com mestrado concluído e experiência docente na área;
  - O conhecimento extraído foi posteriormente conferido com as principais literaturas clássicas referentes ao domínio.
  
- Usuários (atores) de Casos de Uso (funcionalidades do sistema):
  - Fisioterapeutas;
  - Estudantes de graduação em Fisioterapia.
  
- Questões de Competência:
  - Qual o diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica para um dado paciente?
  - Quais categorias de características são consideradas para classificar um indivíduo em algum mês do DMN?
  - Dado um paciente com um conjunto de características X (reflexos, reações, habilidades motoras, padrões de movimento e planos de movimento) em que mês do DMN ele pode ser enquadrado?
  - O mês Y do DMN possui quais características (reflexos, reações, habilidades motoras, padrões de movimento e planos de movimento)?
  - O reflexo A está presente em quais meses do DMN?
  - A reação B está presente em quais meses do DMN?

- O padrão de movimento C está presente em quais meses do DMN?
  - A habilidade motora D está presente em quais meses do DMN?
  - O plano de movimento E está presente em quais meses do DMN?
  - Quais características são imprescindíveis para classificar um indivíduo no mês Z do DMN?
  - A característica W é imprescindível para classificar um indivíduo em algum mês do DMN?
- 
- Ontologias Reutilizáveis (outras ontologias que poderiam embasar o desenvolvimento desta): Não há.

## 3.2.1.2 Atividade de conceitualização

- Tarefa 1 - Definir um glossário de termos (Tabela 3):

Tabela 3: Glossário de termos

Nome	Sinônimo	Acrônimo	Descrição	Tipo
Desenvolvimento Motor Normal	Idade Motora	DMN	Características e habilidades que classificam uma criança com uma Idade Motora de X meses	Conceito
Habilidade Motora Voluntária	Movimento Voluntário	-	Movimento realizado voluntariamente pela criança	Conceito
Realiza Colocar Pé na Boca	-	-	Subclasse de Habilidade Motora Voluntária	Conceito
Realiza Controle de Cabeça	-	-	Subclasse de Habilidade Motora Voluntária	Conceito
Realiza Controle de Tronco Superior	-	-	Subclasse de Habilidade Motora Voluntária	Conceito
Realiza Controle de Tronco Inferior	-	-	Subclasse de Habilidade Motora Voluntária	Conceito
Realiza Engatinhar	-	-	Subclasse de Habilidade Motora Voluntária	Conceito
Realiza <i>Kiking</i>	-	-	Subclasse de Habilidade Motora Voluntária	Conceito
Realiza Marcha Independente	Deambulação	-	Subclasse de Habilidade Motora Voluntária	Conceito
Realiza Marcha Lateral	-	-	Subclasse de Habilidade Motora Voluntária	Conceito
Realiza Pivotear	-	-	Subclasse de Habilidade Motora Voluntária	Conceito
Realiza Ponte	-	-	Subclasse de Habilidade Motora Voluntária	Conceito
Realiza Prensão	-	-	Subclasse de Habilidade Motora Voluntária	Conceito
Realiza <i>Puppy</i>	-	-	Subclasse de Habilidade Motora Voluntária	Conceito
Realiza Rolar em Bloco	-	-	Subclasse de Habilidade Motora Voluntária	Conceito
Realiza Rolar Dissociado	-	-	Subclasse de Habilidade Motora Voluntária	Conceito
Realiza Simetria	-	-	Subclasse de Habilidade Motora Voluntária	Conceito
Padrão de Movimento	-	-	Posição que uma criança atinge voluntariamente	Conceito
Posição Ajoelhado	-	-	Subclasse de Padrão de Movimento	Conceito
Posição Cabeça Lateralizada	-	-	Subclasse de Padrão de Movimento	Conceito
Posição Decúbito Dorsal	Supino	-	Subclasse de Padrão de Movimento	Conceito
Posição Decúbito Lateral	-	-	Subclasse de Padrão de Movimento	Conceito
Posição Decúbito Ventral	Prono	-	Subclasse de Padrão de Movimento	Conceito
Posição em Pé	-	-	Subclasse de Padrão de Movimento	Conceito

<b>Nome</b>	<b>Sinônimo</b>	<b>Acrônimo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Tipo</b>
Posição Flexão Fisiológica	-	-	Subclasse de Padrão de Movimento	Conceito
Posição Gatas	-	-	Subclasse de Padrão de Movimento	Conceito
Posição Semi-ajoelhado	-	-	Subclasse de Padrão de Movimento	Conceito
Posição Sentado com Apoio	Sentado Não Funcional	-	Subclasse de Padrão de Movimento	Conceito
Posição Sentado em <i>Long-sitting</i>	Sentado Funcional	-	Subclasse de Padrão de Movimento	Conceito
Plano de Movimento	-	-	Sentido em que o movimento ocorre	Conceito
Movimento Ântero-posterior	Plano Sagital	-	Subclasse de Plano de Movimento	Conceito
Movimento Latero-lateral	Plano Coronal	-	Subclasse de Plano de Movimento	Conceito
Movimento Rotacional	Plano Transverso	-	Subclasse de Plano de Movimento	Conceito
Reação	-	-	Aprimoramento na motricidade do reflexo	Conceito
Reação Cervical de Retificação	-	-	Subclasse de Reação	Conceito
Reação Corporal de Retificação	-	-	Subclasse de Reação	Conceito
Reação de Anfíbio	-	-	Subclasse de Reação	Conceito
Reação de Landau	-	-	Subclasse de Reação	Conceito
Reação de Proteção para Frente	-	-	Subclasse de Reação	Conceito
Reação de Proteção para os Lados	-	-	Subclasse de Reação	Conceito
Reação de Proteção para Trás	-	-	Subclasse de Reação	Conceito
Reação Labiríntica de Retificação	-	-	Subclasse de Reação	Conceito
Reação Óptica de Retificação	-	-	Subclasse de Reação	Conceito
Reflexo	-	-	Atividade motora involuntária/ resposta a estímulo	Conceito
Reflexo de Colocação do Membro Inferior	-	-	Subclasse de Reflexo	Conceito
Reflexo de Galant	-	-	Subclasse de Reflexo	Conceito
Reflexo de Liberação das Vias Aéreas	-	-	Subclasse de Reflexo	Conceito
Reflexo de Marcha Automática	-	-	Subclasse de Reflexo	Conceito
Reflexo de Moro	-	-	Subclasse de Reflexo	Conceito
Reflexo de Prensão Tônica Plantar	-	-	Subclasse de Reflexo	Conceito

<b>Nome</b>	<b>Sinônimo</b>	<b>Acrônimo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Tipo</b>
Reflexo de Preensão Tônica Palmar	-	-	Subclasse de Reflexo	Conceito
Reflexo de Sucção	-	-	Subclasse de Reflexo	Conceito
Reflexo de Sustentação de Peso	-	-	Subclasse de Reflexo	Conceito
Reflexo dos Quatro Pontos Cardeais	-	-	Subclasse de Reflexo	Conceito
Reflexo Tônico Cervical Assimétrico	RTCA	-	Subclasse de Reflexo	Conceito
Mês	-	-	Classificador da Idade Motora de uma criança	Conceito
Mês 01	Primeiro Mês	-	Subclasse de Mês	Conceito
Mês 02	Segundo Mês	-	Subclasse de Mês	Conceito
Mês 03	Terceiro Mês	-	Subclasse de Mês	Conceito
Mês 04	Quarto Mês	-	Subclasse de Mês	Conceito
Mês 06	Sexto Mês	-	Subclasse de Mês	Conceito
Mês 07	Sétimo Mês	-	Subclasse de Mês	Conceito
Mês 08	Oitavo Mês	-	Subclasse de Mês	Conceito
Mês 09	Nono Mês	-	Subclasse de Mês	Conceito
Mês 10	Décimo Mês	-	Subclasse de Mês	Conceito
Mês 11	Décimo	-	Subclasse de Mês	Conceito
Mês 12	Primeiro Mês	-	Subclasse de Mês	Conceito
Valor	Décimo	-	Subclasse de Mês	Conceito
Intensidade de Reflexo	Segundo Mês	-	Subclasse de Desenvolvimento Motor Normal	Conceito
Intensidade Fraca	-	-	Subclasse de Valor	Conceito
Intensidade Normal	-	-	Subclasse de Intensidade de Reflexo	Conceito
Intensidade Intensa	-	-	Subclasse de Intensidade de Reflexo	Conceito
Voluntariedade do Movimento	-	-	Subclasse de Intensidade de Reflexo	Conceito
Movimento Voluntário	-	-	Subclasse de Valor	Conceito
Movimento Involuntário	-	-	Subclasse de Voluntariedade do Movimento	Conceito
Intensidade de Reação	-	-	Subclasse de Voluntariedade do Movimento	Conceito
	-	-	Subclasse de Valor	Conceito

<b>Nome</b>	<b>Sinônimo</b>	<b>Acrônimo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Tipo</b>
Reação Parcial	-	-	Subclasse de Intensidade de Reação	Conceito
Reação Completa	-	-	Subclasse de Intensidade de Reação	Conceito
Intensidade de Habilidade Motora	-	-	Subclasse de Valor	Conceito
Habilidade Motora Parcial	-	-	Subclasse de Intensidade de Habilidade Motora	Conceito
Habilidade Motora Completa	-	-	Subclasse de Intensidade de Habilidade Motora	Conceito
tem Reflexo	-	-	Um mês X tem um Reflexo Y	Relação
tem Reação	-	-	Um mês X tem uma Reação Y	Relação
tem Habilidade Motora	-	-	Um mês X tem uma Habilidade Motora Y	Relação
tem Padrão de Movimento	-	-	Um mês X tem um Padrão de Movimento Y	Relação
tem Plano de Movimento	-	-	Um mês X tem um Plano de Movimento Y	Relação
tem Intensidade de Reflexo	-	-	Um Reflexo Z tem Intensidade W	Relação
tem Voluntariedade de Movimento	-	-	Um Padrão de Movimento Z tem Voluntariedade W	Relação
tem Intensidade de Reação	-	-	Uma Reação Z tem Intensidade W	Relação
tem Intensidade de Habilidade Motora	-	-	Uma Habilidade Motora Z tem Intensidade W	Relação
é Reflexo de	-	-	Um Reflexo Y pertence ao Mês X	Relação
é Reação de	-	-	Uma Reação Y pertence ao Mês X	Relação
é Habilidade Motora de	-	-	Uma Habilidade Motora Y pertence ao Mês X	Relação
é Padrão de Movimento de	-	-	Um Padrão de Movimento Y pertence ao Mês X	Relação
é Plano de Movimento de	-	-	Um Plano de Movimento Y pertence ao Mês X	Relação
é Intensidade de Reflexo de	-	-	Uma Intensidade W pertence ao Reflexo Z	Relação
é Voluntariedade de Movimento de	-	-	Uma Voluntariedade W pertence a uma Padrão Z	Relação
é Intensidade de Reação de	-	-	Uma Intensidade W pertence à Reação Z	Relação
é Intensidade de Habilidade Motora de	-	-	Uma Intensidade W pertence à Habilidade Z	Relação

<b>Nome</b>	<b>Sinônimo</b>	<b>Acrônimo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Tipo</b>
tem Reflexo Obrigatório	-	-	Um mês X tem um Reflexo Obrigatório Y	Relação
tem Reação Obrigatória	-	-	Um mês X tem uma Reação Obrigatória Y	Relação
tem Habilidade Motora Obrigatória	-	-	Um mês X tem uma Habilidade Motora Obrigatória Y	Relação
tem Padrão de Movimento Obrigatório	-	-	Um mês X tem um Padrão de Movimento Obrigatório Y	Relação
tem Plano de Movimento Obrigatório	-	-	Um mês X tem um Plano de Movimento Obrigatório Y	Relação
é Reflexo Obrigatório de	-	-	Um Reflexo Obrigatório Y pertence ao Mês X	Relação
é Reação Obrigatória de	-	-	Uma Reação Obrigatória Y pertence ao Mês X	Relação
é Habilidade Motora Obrigatória de	-	-	Uma Habilidade Motora Obrigatória Y pertence ao Mês X	Relação
é Padrão de Movimento Obrigatório de	-	-	Um Padrão de Movimento Y pertence ao Mês X	Relação
é Plano de Movimento Obrigatório de	-	-	Um Plano de Movimento Obrigatório Y pertence ao Mês X	Relação

- Tarefa 2 – Construir a taxonomia de conceitos (Figura 14 e Figura 15):

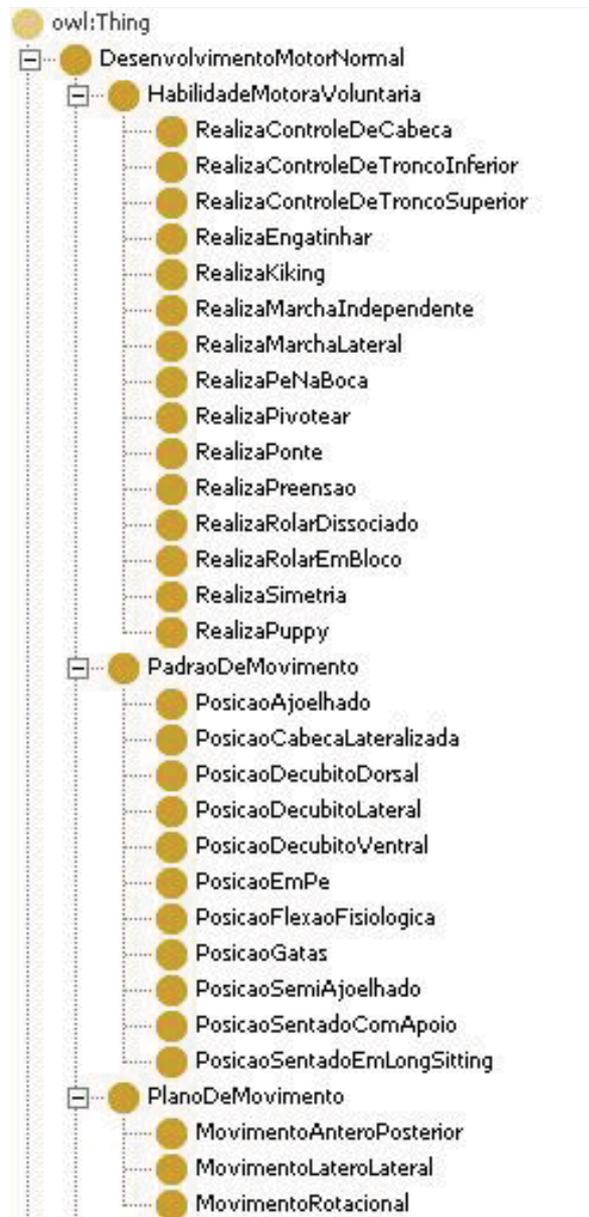


Figura 14: Hierarquia de conceitos da ontologia (Parte I)

As subclasses da classe DesenvolvimentoMotorNormal são disjuntas (não compartilham uma mesma instância).



Figura 15: Hierarquia de conceitos da ontologia (Parte II)

- Tarefa 3 - Construir um diagrama de relações binárias (Figura 16 e Figura 17):

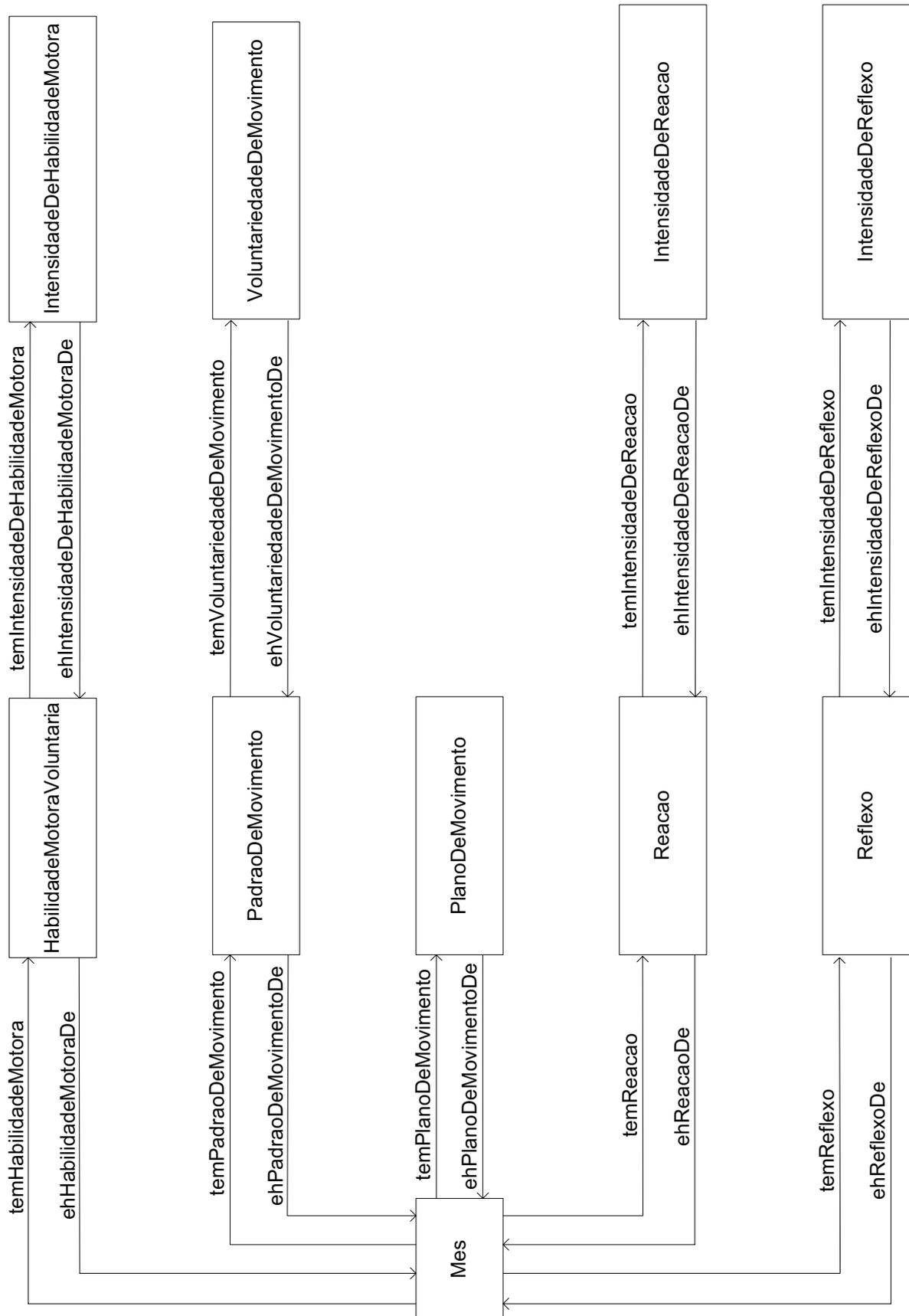


Figura 16: Especificação do domínio e da imagem das relações do glossário

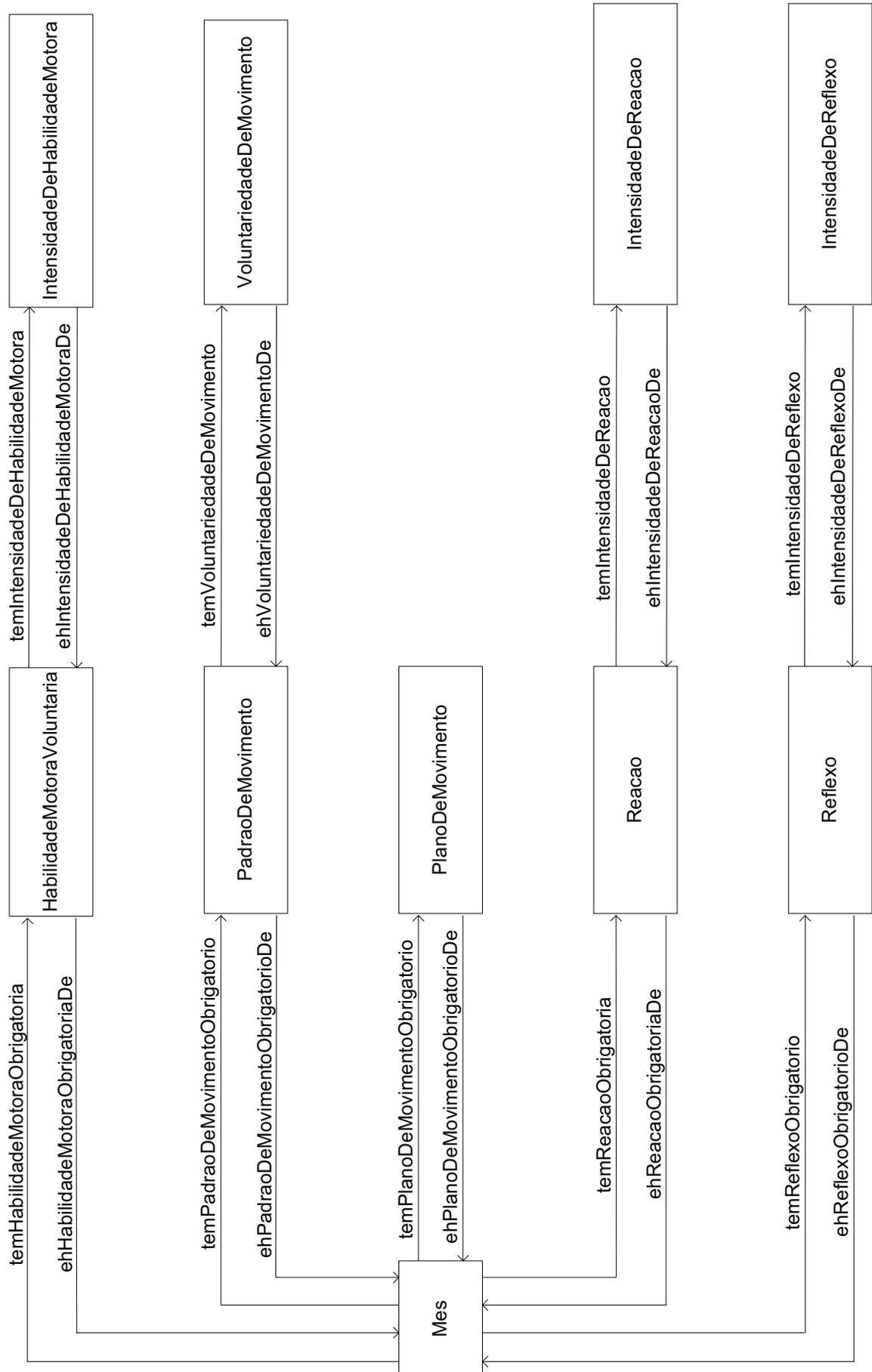


Figura 17: Continuação especificação do domínio e da imagem das relações do glossário

- Tarefa 4 – Criar um dicionário de conceitos (Tabela 4):

Tabela 4: Dicionário de conceitos

Nome	Atributos de Classe	Atributos de Instância	Relações
DesenvolvimentoMotorNormal	-	-	-
HabilidadeMotoraVoluntaria	-	-	ehHabilidadeMotoraDe temIntensidadeDeHabilidadeMotora
RealizaColocarPeNaBoca	-	-	ehHabilidadeMotoraDe temIntensidadeDeHabilidadeMotora
RealizaControleDeCabeca	-	-	ehHabilidadeMotoraDe temIntensidadeDeHabilidadeMotora
RealizaControleDeTroncoSuperior	-	-	ehHabilidadeMotoraDe temIntensidadeDeHabilidadeMotora
RealizaControleDeTroncoInferior	-	-	ehHabilidadeMotoraDe temIntensidadeDeHabilidadeMotora
RealizaEngatinhar	-	-	ehHabilidadeMotoraDe temIntensidadeDeHabilidadeMotora
Realiza <i>Kiking</i>	-	-	ehHabilidadeMotoraDe temIntensidadeDeHabilidadeMotora
RealizaMarchaIndependente	-	-	ehHabilidadeMotoraDe temIntensidadeDeHabilidadeMotora
RealizaMarchaLateral	-	-	ehHabilidadeMotoraDe temIntensidadeDeHabilidadeMotora
RealizaPivotear	-	-	ehHabilidadeMotoraDe temIntensidadeDeHabilidadeMotora
RealizaPonte	-	-	ehHabilidadeMotoraDe temIntensidadeDeHabilidadeMotora
RealizaPreensao	-	-	ehHabilidadeMotoraDe temIntensidadeDeHabilidadeMotora
Realiza <i>Puppy</i>	-	-	ehHabilidadeMotoraDe temIntensidadeDeHabilidadeMotora
RealizaRolarEmBloco	-	-	ehHabilidadeMotoraDe temIntensidadeDeHabilidadeMotora
RealizaRolarDissociado	-	-	ehHabilidadeMotoraDe temIntensidadeDeHabilidadeMotora
RealizaSimetria	-	-	ehHabilidadeMotoraDe temIntensidadeDeHabilidadeMotora
PadraoDeMovimento	-	-	ehPadraoDeMovimentoDe temVoluntariedadeDeMovimento
PosicaoAjoelhado	-	-	ehPadraoDeMovimentoDe temVoluntariedadeDeMovimento
PosicaoCabecaLateralizada	-	-	ehPadraoDeMovimentoDe temVoluntariedadeDeMovimento
PosicaoDecubitoDorsal	-	-	ehPadraoDeMovimentoDe temVoluntariedadeDeMovimento
PosicaoDecubitoLateral	-	-	ehPadraoDeMovimentoDe temVoluntariedadeDeMovimento

Nome	Atributos de Classe	Atributos de Instância	Relações
PosicaoDecubitoVentral	-	-	ehPadraoDeMovimentoDe temVoluntariedadeDeMovimento
PosicaoEmPe	-	-	ehPadraoDeMovimentoDe temVoluntariedadeDeMovimento
PosicaoFlexaoFisiologica	-	-	ehPadraoDeMovimentoDe temVoluntariedadeDeMovimento
PosicaoGatas	-	-	ehPadraoDeMovimentoDe temVoluntariedadeDeMovimento
PosicaoSemiAjoelhado	-	-	ehPadraoDeMovimentoDe temVoluntariedadeDeMovimento
PosicaoSentadoComApoio	-	-	ehPadraoDeMovimentoDe temVoluntariedadeDeMovimento
PosicaoSentadoEm <i>LongSitting</i>	-	-	ehPadraoDeMovimentoDe temVoluntariedadeDeMovimento
PlanoDeMovimento	-	-	ehPlanoDeMovimentoDe
MovimentoAnteroPosterior	-	-	ehPlanoDeMovimentoDe
MovimentoLateroLateral	-	-	ehPlanoDeMovimentoDe
MovimentoRotacional	-	-	ehPlanoDeMovimentoDe
Reacao	-	-	ehReacaoDe temIntensidadeDeReacao
ReacaoCervicalDeRetificacao	-	-	ehReacaoDe temIntensidadeDeReacao
ReacaoCorporalDeRetificacao	-	-	ehReacaoDe temIntensidadeDeReacao
ReacaoDeAnfibio	-	-	ehReacaoDe temIntensidadeDeReacao
ReacaoDeLandau	-	-	ehReacaoDe temIntensidadeDeReacao
ReacaoDeProtecaoParaFrente	-	-	ehReacaoDe temIntensidadeDeReacao
ReacaoDeProtecaoParaOsLados	-	-	ehReacaoDe temIntensidadeDeReacao
ReacaoDeProtecaoParaTras	-	-	ehReacaoDe temIntensidadeDeReacao
ReacaoLabirinticaDeRetificacao	-	-	ehReacaoDe temIntensidadeDeReacao
ReacaoOpticaDeRetificacao	-	-	ehReacaoDe temIntensidadeDeReacao
Reflexo	-	-	ehReflexoDe temIntensidadeDeReflexo
ReflexoDeColocacaoDoMembroInferior	-	-	ehReflexoDe temIntensidadeDeReflexo
ReflexoDeGalant	-	-	ehReflexoDe temIntensidadeDeReflexo
ReflexoDeLiberacaoDasViasAereas	-	-	ehReflexoDe temIntensidadeDeReflexo

Nome	Atributos de Classe	Atributos de Instância	Relações
ReflexoDeMarchaAutomatica	-	-	ehReflexoDe temIntensidadeDeReflexo
ReflexoDeMoro	-	-	ehReflexoDe temIntensidadeDeReflexo
ReflexoDePreensaoTonicaPlantar	-	-	ehReflexoDe temIntensidadeDeReflexo
ReflexoDePreensaoTonicaPalmar	-	-	ehReflexoDe temIntensidadeDeReflexo
ReflexoDeSuccao	-	-	ehReflexoDe temIntensidadeDeReflexo
ReflexoDeSustentacaoDePeso	-	-	ehReflexoDe temIntensidadeDeReflexo
ReflexoDosQuatroPontosCardeais	-	-	ehReflexoDe temIntensidadeDeReflexo
ReflexoTonicocervicalAssimetrico	-	-	ehReflexoDe temIntensidadeDeReflexo
Mes	-	-	temReflexo / temHabilidadeMotora temPadraoDeMovimento/ temReacao temPlanoDeMovimento
Mes01	-	-	temReflexo / temHabilidadeMotora temPadraoDeMovimento/ temReacao temPlanoDeMovimento
Mes02	-	-	temReflexo / temHabilidadeMotora temPadraoDeMovimento/ temReacao temPlanoDeMovimento
Mes03	-	-	temReflexo / temHabilidadeMotora temPadraoDeMovimento/ temReacao temPlanoDeMovimento
Mes04	-	-	temReflexo / temHabilidadeMotora temPadraoDeMovimento/ temReacao temPlanoDeMovimento
Mes06	-	-	temReflexo / temHabilidadeMotora temPadraoDeMovimento/ temReacao temPlanoDeMovimento
Mes07	-	-	temReflexo / temHabilidadeMotora temPadraoDeMovimento/ temReacao temPlanoDeMovimento
Mes08	-	-	temReflexo / temHabilidadeMotora temPadraoDeMovimento/ temReacao temPlanoDeMovimento
Mes09	-	-	temReflexo / temHabilidadeMotora temPadraoDeMovimento/ temReacao temPlanoDeMovimento
Mes10	-	-	temReflexo / temHabilidadeMotora temPadraoDeMovimento/ temReacao temPlanoDeMovimento

<b>Nome</b>	<b>Atributos de Classe</b>	<b>Atributos de Instância</b>	<b>Relações</b>
Mes11	-	-	temReflexo / temHabilidadeMotora temPadraoDeMovimento/ temReacao temPlanoDeMovimento
Mes12	-	-	temReflexo / temHabilidadeMotora temPadraoDeMovimento/ temReacao temPlanoDeMovimento
Valor	-	-	-
IntensidadeDeReflexo	-	-	ehIntensidadeDeReflexoDe
IntensidadeFraca	-	-	ehIntensidadeDeReflexoDe
IntensidadeNormal	-	-	ehIntensidadeDeReflexoDe
IntensidadeIntensa	-	-	ehIntensidadeDeReflexoDe
VoluntariedadedoMovimento	-	-	ehVoluntariedadeDeMovimentoDe
MovimentoVoluntario	-	-	ehVoluntariedadeDeMovimentoDe
MovimentoInvoluntario	-	-	ehVoluntariedadeDeMovimentoDe
IntensidadedeReacao	-	-	ehIntensidadeDeReacaoDe
ReacaoParcial	-	-	ehIntensidadeDeReacaoDe
ReacaoCompleta	-	-	ehIntensidadeDeReacaoDe
IntensidadedeHabilidadeMotora	-	-	ehIntensidadeDeHabilidadeMotoraDe
HabilidadeMotoraParcial	-	-	ehIntensidadeDeHabilidadeMotoraDe
HabilidadeMotoraCompleta	-	-	ehIntensidadeDeHabilidadeMotoraDe

- Tarefa 5 - Definir relações binárias em detalhes (Tabela 5 e Tabela 6):

Tabela 5: Definição detalhada das relações binárias (Parte I)

<b>Nome</b>	<b>Conceito Origem</b>	<b>Conceito Destino</b>
temReflexo	Mes	Reflexo
ehReflexoDe	Reflexo	Mes
temReacao	Mes	Reação
ehReacaoDe	Reacao	Mes
temHabilidadeMotora	Mes	HabilidadeMotoraVoluntaria
ehHabilidadeMotoraDe	HabilidadeMotoraVoluntaria	Mes
temPadraoDeMovimento	Mes	PadraoDeMovimento
ehPadraoDeMovimentoDe	PadraoDeMovimento	Mes
temPlanoDeMovimento	Mes	PlanoDeMovimento
ehPlanoDeMovimentoDe	PlanoDeMovimento	Mes
temIntensidadeDeReflexo	Reflexo	IntensidadeDeReflexo
ehIntensidadeDeReflexoDe	IntensidadeDeReflexo	Reflexo
temIntensidadeDeReacao	Reacao	IntensidadeDeReacao
ehIntensidadeDeReacaoDe	IntensidadeDeReacao	Reacao
temVoluntariedadeDeMovimento	PadraoDeMovimento	VoluntariedadeDeMovimento
ehVoluntariedadeDeMovimentoDe	VoluntariedadeDeMovimento	PadraoDeMovimento
temIntensidadeDeHabilidadeMotora	HabilidadeMotoraVoluntaria	IntensidadeDeHabilidadeMotora
ehIntensidadeDeHabilidadeMotoraDe	IntensidadeDeHabilidadeMotora	HabilidadeMotoraVoluntaria
temReflexoObrigatorio	Mes	Reflexo
ehReflexoObrigatorioDe	Reflexo	Mes
temReacaoObrigatoria	Mes	Reação
ehReacaoObrigatoriaDe	Reacao	Mes
temHabilidadeMotoraObrigatoria	Mes	HabilidadeMotoraVoluntaria
ehHabilidadeMotoraObrigatoriaDe	HabilidadeMotoraVoluntaria	Mes
temPadraoDeMovimentoObrigatorio	Mes	PadraoDeMovimento
ehPadraoDeMovimentoObrigatorioDe	PadraoDeMovimento	Mes
temPlanoDeMovimentoObrigatorio	Mes	PlanoDeMovimento
ehPlanoDeMovimentoObrigatorioDe	PlanoDeMovimento	Mes

Tabela 6: Definição detalhada das relações binárias (Parte II)

<b>Nome</b>	<b>Cardina- lidade Máxima</b>	<b>Propriedades Matemáticas</b>	<b>Relação Inversa</b>
temReflexo	N	Inversa	ehReflexoDe
ehReflexoDe	N	Inversa	temReflexo
temReacao	N	Inversa	ehReacaoDe
ehReacaoDe	N	Inversa	temReacao
temHabilidadeMotora	N	Inversa	ehHabilidadeMotoraDe
ehHabilidadeMotoraDe	N	Inversa	temHabilidadeMotora
temPadraoDeMovimento	N	Inversa	ehPadraoDeMovimentoDe
ehPadraoDeMovimentoDe	N	Inversa	temPadraoDeMovimento
temPlanoDeMovimento	N	Inversa	ehPlanoDeMovimentoDe
ehPlanoDeMovimentoDe	N	Inversa	temPlanoDeMovimento
temIntensidadeDeReflexo	N	Inversa	ehIntensidadeDeReflexoDe
ehIntensidadeDeReflexoDe	N	Inversa	temIntensidadeDeReflexo
temIntensidadeDeReacao	N	Inversa	ehIntensidadeDeReacaoDe
ehIntensidadeDeReacaoDe	N	Inversa	temIntensidadeDeReacao
temVoluntariedadeDeMovimento	N	Inversa	ehVoluntariedadeDeMovimentoDe
ehVoluntariedadeDeMovimentoDe	N	Inversa	temVoluntariedadeDeMovimento
temIntensidadeDeHabilidadeMotora	N	Inversa	ehIntensidadeDeHabilidadeMotoraDe
ehIntensidadeDeHabilidadeMotoraDe	N	Inversa	temIntensidadeDeHabilidadeMotora
temReflexoObrigatorio	N	Inversa	ehReflexoObrigatorioDe
ehReflexoObrigatorioDe	N	Inversa	temReflexoObrigatorio
temReacaoObrigatoria	N	Inversa	ehReacaoObrigatoriaDe
ehReacaoObrigatoriaDe	N	Inversa	temReacaoObrigatoria
temHabilidadeMotoraObrigatoria	N	Inversa	ehHabilidadeMotoraObrigatoriaDe
ehHabilidadeMotoraObrigatoriaDe	N	Inversa	temHabilidadeMotoraObrigatoria
temPadraoDeMovimentoObrigatorio	N	Inversa	ehPadraoDeMovimentoObrigatorioDe
ehPadraoDeMovimentoObrigatorioDe	N	Inversa	temPadraoDeMovimentoObrigatorio
temPlanoDeMovimentoObrigatorio	N	Inversa	ehPlanoDeMovimentoObrigatorioDe
ehPlanoDeMovimentoObrigatorioDe	N	Inversa	temPlanoDeMovimentoObrigatorio

- Tarefa 6 - Axiomas:

Axiomas generalistas:

- Todo mês tem reflexo;
- Todo mês tem reação;
- Todo mês tem uma habilidade motora;
- Todo mês tem um padrão de movimento;
- Todo mês tem plano de movimento.

Para cada mês do DMN há axiomas descritivos responsáveis por representar todas as características que devem obrigatoriamente estar presente, e também, aquelas que podem opcionalmente ocorrer. É apresentado um exemplo referente aos axiomas descritivos do primeiro mês e, para os demais meses do DMN, desenvolveu-se uma tabela geral para expressar o conteúdo dos axiomas descritivos (Tabela 7). Nesta tabela as condições obrigatórias estão assinaladas com um “\*” e as condições opcionais com um “X”.

Axiomas descritivos do primeiro mês:

- O Mês 01 obrigatoriamente tem Padrão de Movimento Posição Flexão Fisiológica Voluntário e Padrão de Movimento Posição Cabeça Lateralizada Voluntário;
- O Mês 01 possivelmente tem Plano de Movimento com Movimento Ântero-posterior, Reflexo de Colocação do Membro Inferior Intenso, Reflexo de Galant Normal, Reflexo de Liberação das Vias Aéreas Intenso, Reflexo de Marcha Automática Intenso, Reflexo de Moro Intenso, Reflexo de Preensão Tônica Palmar Intenso, Reflexo de Preensão Tônica Plantar Intenso, Reflexo de Sucção Intenso, Reflexo de Sustentação de Peso Intenso, Reflexo dos Quatro Pontos Cardeais Intenso, Reflexo Tônico Cervical Assimétrico Normal e Reação Cervical de Retificação Completa.



	Mês 01	Mês 02	Mês 03	Mês 04	Mês 05	Mês 06	Mês 07	Mês 08	Mês 09	Mês 10	Mês 11	Mês 12
Realiza Simetria (mãos em linha média) - Completa			*	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Realiza Simetria (mãos em linha média) - Parcial												
Realiza Rolar Dissociado - Completa						x	x	x	x	x	x	x
Realiza Rolar Dissociado - Parcial					x							
Realiza Rolar em Bloco - Completa					x							
Realiza Rolar em Bloco - Parcial												
Realiza Puppy - Completa			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Realiza Puppy - Parcial												
Realiza Preensão - Completa					x	x	x	x	x	x	x	x
Realiza Preensão - Parcial				x								
Realiza Ponte - Completa					x	x	x	x	x	x	x	x
Realiza Ponte - Parcial				x								
Realiza Pivotear - Completa						x	x	x	x	x	x	x
Realiza Pivotear - Parcial					*							
Realiza Marcha Lateral - Completa											*	x
Realiza Marcha Lateral - Parcial									*			
Realiza Marcha Independente - Completa												*
Realiza Marcha Independente - Parcial											x	
Realiza Kiking - Completa			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Realiza Kiking - Parcial												
Realiza Engatinhar - Completa									x	x	x	x
Realiza Engatinhar - Parcial								*				
Realiza Controle de Tronco Inferior - Completa							x	x	x	x	x	x
Realiza Controle de Tronco Inferior - Parcial						x						
Realiza Controle de Tronco Superior - Completa					x	x	x	x	x	x	x	x
Realiza Controle de Tronco Superior - Parcial				x								
Realiza Controle de Cabeça - Completa			*	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Realiza Controle de Cabeça - Parcial		x										
Realiza Colocar Pé na Boca - Completa					*	x	x	x	x	x	x	x
Realiza Colocar Pé na Boca - Parcial												
Posição Sentado em Long-sitting (funcional) - Involuntário												
Posição Sentado em Long-sitting (funcional) - Voluntário							*	x	x	x	x	x
Posição Sentado com Apoio (não funcional) - Involuntário						*						
Posição Sentado com Apoio (não funcional) - Voluntário												
Posição Semi-ajoelhado - Involuntário												
Posição Semi-ajoelhado - Voluntário								*	x	x	x	x
Posição Gatas - Involuntário							x					
Posição Gatas - Voluntário								x	x	x	x	x
Posição Flexão Fisiológica - Involuntário												
Posição Flexão Fisiológica - Voluntário		*										
Posição em Pé - Involuntário							x					
Posição em Pé - Voluntário								x	*	x	x	x
Posição Decúbito Ventral - Involuntário												
Posição Decúbito Ventral - Voluntário					x	x	x	x	x	x	x	x
Posição Decúbito Lateral - Involuntário				*								
Posição Decúbito Lateral - Voluntário					x	x	x	x	x	x	x	x
Posição Decúbito Dorsal - Involuntário		x	x	x								
Posição Decúbito Dorsal - Voluntário					x	x	x	x	x	x	x	x
Posição Cabeça Lateralizada - Involuntário												
Posição Cabeça Lateralizada - Voluntário		*										
Posição Ajoelhado - Involuntário												
Posição Ajoelhado - Voluntário								x	x	x	x	x

### 3.2.2 Implementação e documentação

Neste trabalho, realizou-se a RC na ontologia através da ferramenta de edição *Protégé*<sup>4</sup>, pois, ela apresenta arquitetura expansível, fácil usabilidade, bom nível de detalhamento nas ontologias e tem sido bastante utilizada na área da saúde (FARIAS, MATTOS e SIMÕES, 2006). Também foi escolhida a OWL-DL como linguagem formal de representação por esta ser uma recomendação da W3C para o desenvolvimento de ontologias formais.

Durante a implementação no ambiente de edição, realizou-se a documentação de todos os conceitos utilizados na Ontologia de Diagnóstico para Fisioterapia Neuropediátrica.

### 3.2.3 Verificação de consistência da ontologia

Em uma ontologia, utilizam-se mecanismos de inferência para inferir informações que não estão explicitamente nela contidas (BREITMAN, 2007). Estes mecanismos servem para verificar a lógica do modelo, isto é, para analisar a consistência, a generalização, os relacionamentos de equivalência e a instanciação.

Uma ontologia permite a distinção entre o conhecimento intensional, ou conhecimento geral sobre o domínio do problema, e o conhecimento extensional, que é específico de um problema particular. Em uma base de conhecimento ontológica a DL é tipicamente composta por dois componentes: uma *TBox* e uma *ABox* (SANTOS, 2006).

A *TBox* contém o conhecimento intensional na forma de uma terminologia e é construída através de declarações que descrevem propriedades gerais de conceitos. A forma básica de declaração em uma *TBox* é a definição de conceito, ou seja, a definição de um novo conceito com base em outros previamente definidos.

Para checagem da consistência do modelo baseado em ontologias descrito neste trabalho, utilizou-se a ferramenta RACER<sup>5</sup> (*Renamed ABox and Concept Expression Reasoner Professional*) que pode ser utilizada em conjunto com outras ferramentas como o *Protégé*. O RACER implementa o algoritmo *Tableaux*, e através desta ferramenta foi possível realizar as seguintes verificações na *TBox*:

---

<sup>4</sup> <http://protege.stanford.edu/>

<sup>5</sup> <http://www.racer-systems.com/>

- Subordinação ou subclassificação: a partir das restrições declaradas em cada classe (Figura 18) infere-se se uma classe é subclasse de outra (Figura 19);

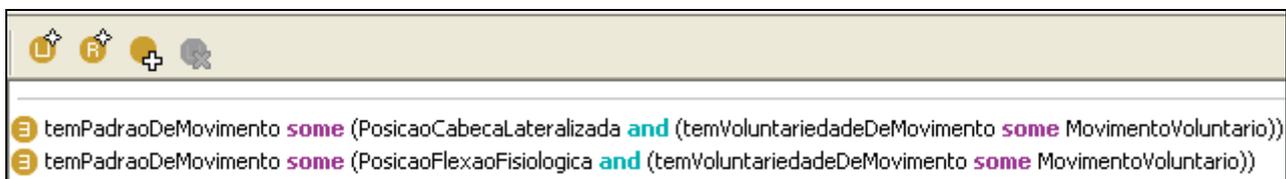


Figura 18: Exemplo de restrições declaradas para uma classe

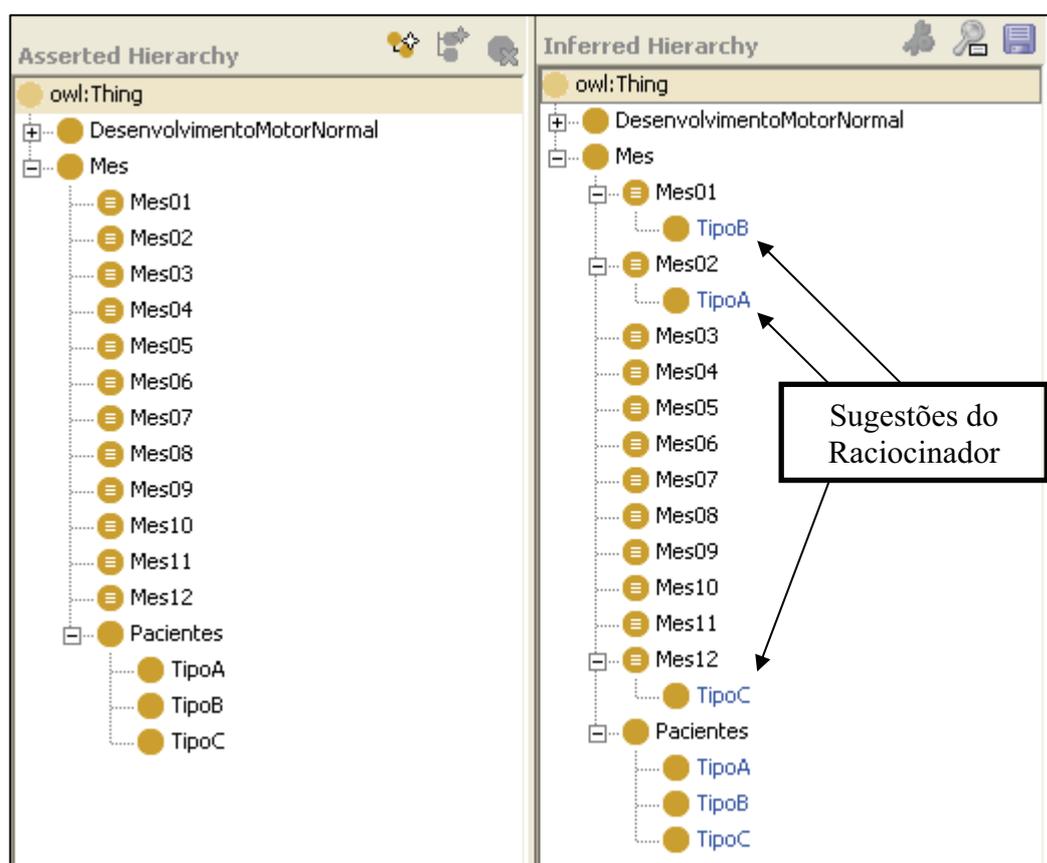


Figura 19: Hierarquia declarada e hierarquia inferida pelo RACER

- Satisfazibilidade ou consistência de conceitos: analisa se há uma interpretação que satisfaça o axioma tal que o conceito denote um conjunto não vazio na interpretação (Figura 20);
- Equivalência: verifica se dois conceitos são equivalentes em todo o modelo (se duas classes denotam o mesmo conjunto) (Figura 20);

- Disjunção: determina que dois conceitos disjuntos não podem compartilhar a mesma instância. Dois conceitos não são equivalentes quando a interseção resulta em um conjunto vazio.

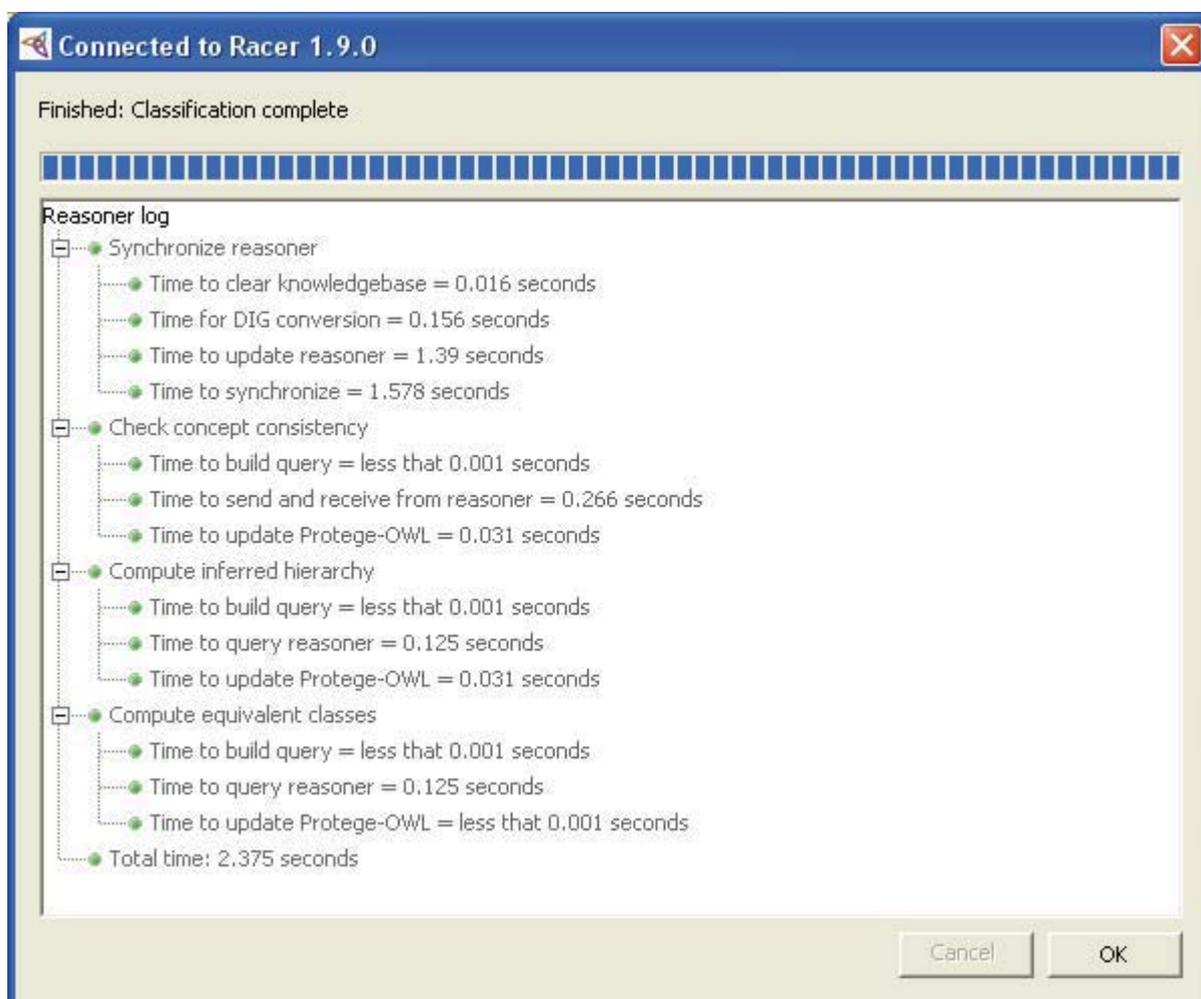


Figura 20: Exemplo de análise do raciocinador



## CAPÍTULO 4

### METODOLOGIA PARA INFERÊNCIA DE DIAGNÓSTICOS

A formalização de todo o processo de AC e RC levou ao desenvolvimento de uma base de conhecimento representada em uma ontologia para o diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica. Na sequência, abordou-se o processo de inferência. A realização de inferências é um processo importante porque torna possível a geração de conclusões sobre o conhecimento adquirido e representado.

Neste trabalho, a metodologia de inferência sobre a base de conhecimento foi composta por duas partes: a primeira foi a extração de regras de produção e a segunda foi a implementação das regras encontradas em três abordagens diferentes para apoio à decisão. Inicialmente optou-se pela realização de uma abordagem *crisp* (convencional), ou seja, que não engloba o tratamento da imprecisão. Na sequência desenvolveu-se uma proposta *fuzzy* para o tratamento da imprecisão. E, finalmente, elaborou-se um sistema embasado em modelos matemáticos determinísticos.

#### 4.1 EXTRAÇÃO DE REGRAS DA BASE DE CONHECIMENTO DA ONTOLOGIA

A geração de regras de produção foi um passo importante para descobrir quais são os atributos (características do DMN) realmente relevantes para o processo de classificação de um determinado paciente em uma das classes (meses do DMN). Os atributos analisados foram obtidos através dos axiomas de descrição representados na ontologia (Tabela 7).

Para a obtenção das regras de produção, utilizou-se o algoritmo de classificação J48. O J48 é uma implementação em linguagem Java do algoritmo C4.5 apresentado por Quinlan (1993) e faz parte do pacote WEKA (*Waikato Environment for Knowledge Analysis*) versão 3.5.7. Esta ferramenta foi desenvolvida na Universidade de Waikato, Nova Zelândia, e implementa um pacote de algoritmos de mineração de dados (*data mining*). Por ser implementada em linguagem Java tem como principais vantagens ser portátil (rodar nas mais variadas plataformas), aproveitar os benefícios de uma linguagem orientada a objetos

(modularidade, polimorfismo, encapsulamento e reutilização de código) e ser um *software* de domínio público<sup>6</sup>.

A ferramenta WEKA apresenta uma interface gráfica para o usuário. O formato padrão de arquivo de entrada do WEKA é o “.arff”. Este formato possui inicialmente os nomes e os valores possíveis dos atributos da base de dados e, em seguida, os dados propriamente ditos, separados por vírgula. Um exemplo reduzido pode ser visualizado na Figura 21. A Figura 22 apresenta a tela de entrada do WEKA logo após a carga dos dados a partir de um arquivo “.arff”.

Neste trabalho, o algoritmo J48 gerou as regras de produção a partir da análise do conjunto de atributos representados na Tabela 7, determinando quais atributos são relevantes para diferenciar cada mês do DMN.

```

@relation 'neurologia'
@attribute MovimentoAnteroposterior real
@attribute MovimentoLaterolateral real
@attribute MovimentoRotacional real
.
.
.
@attribute RealizaRolaremBlocoCompleta real
@attribute RealizaRolarDissociadoParcial real
@attribute RealizaRolarDissociadoCompleta real
@attribute RealizaSimetriaParcial real
@attribute RealizaSimetriaCompleta real
@attribute Mes {1,2,...,12}
@data
1,0,0,...,0,0,0,0,0,1
1,0,0,...,0,0,0,0,0,2
.
.
.
1,1,1,...,0,0,1,0,1,12

```

Figura 21: Formato de arquivo “.arff” utilizado pela ferramenta WEKA

<sup>6</sup> <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>

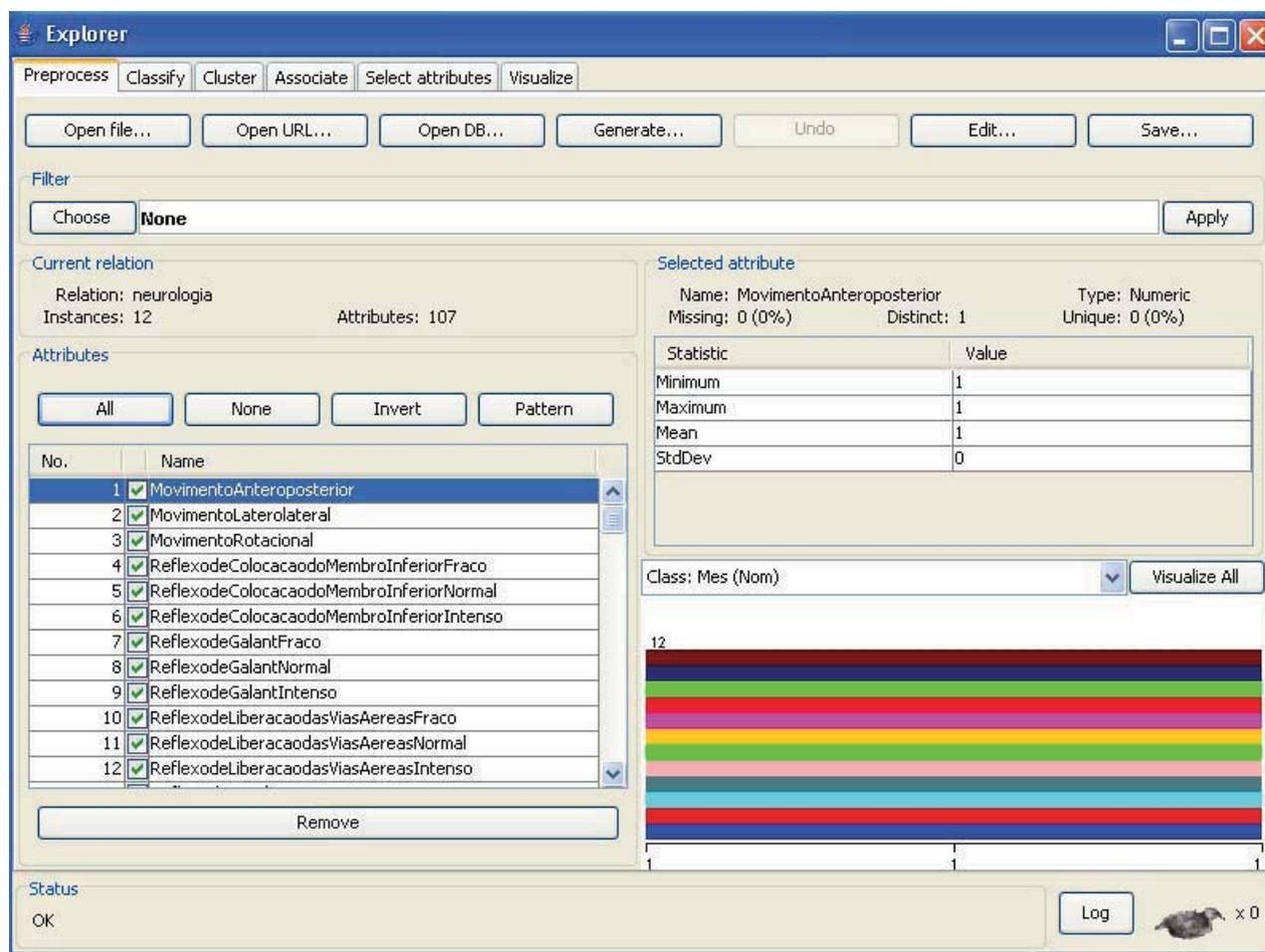


Figura 22: Representação da base de dados na ferramenta WEKA

Após a execução do algoritmo J48, obteve-se uma árvore de decisão formada por 23 nós e 12 folhas (1 para cada mês do DMN). Este resultado representa o conjunto mínimo de atributos necessários para classificação em cada mês do DMN, segundo este algoritmo (Figura 23). O algoritmo obteve 100% de precisão, pois encontrou uma regra para cada mês, como esperado.

O algoritmo foi executado com a função “poda” habilitada. O conjunto de treinamento também foi utilizado como conjunto de teste do classificador encontrado.

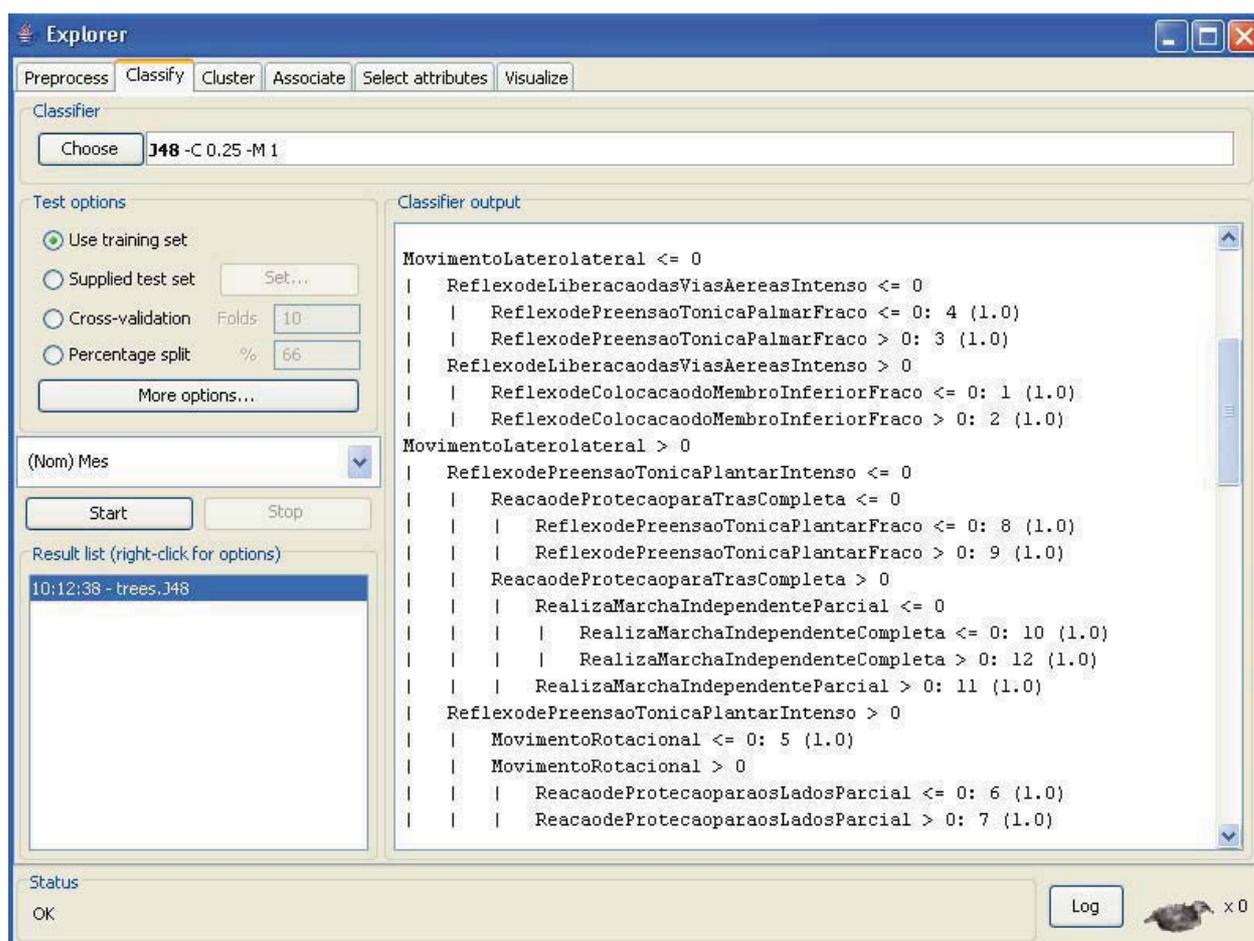


Figura 23: Regras encontradas pelo algoritmo J48

Para a melhor visualização do conjunto de regras obtidos, desmembrou-se a árvore de decisão mostrada parcialmente na Figura 23 e transportou-se os dados para o formato de regras de produção do tipo: “SE (antecedente) ENTÃO (conseqüente)”, como se segue:

- SE ((MovimentoLaterolateral = 0) E (ReflexodeLiberacaodasViasAereasIntenso = 1 E (RefluxodePreensaoTonicaPalmarFraco = 0))  
ENTÃO Mês = 1
- SE ((MovimentoLaterolateral = 0) E (ReflexodeLiberacaodasViasAereasIntenso = 1 E (RefluxodePreensaoTonicaPalmarFraco = 1))  
ENTÃO Mês = 2
- SE ((MovimentoLaterolateral = 0) E (ReflexodeLiberacaodasViasAereasIntenso=0)  
E (RefluxodePreensaoTonicaPalmarFraco = 1)  
ENTÃO Mês = 3
- SE ((MovimentoLaterolateral = 0) E (ReflexodeLiberacaodasViasAereasIntenso=0)  
E (RefluxodePreensaoTonicaPalmarFraco = 0))

ENTÃO Mês = 4

- SE ((MovimentoLaterolateral = 1) E (ReflexodePreensaoTonicaPlantarIntenso = 1) E (MovimentoRotacional = 0))

ENTÃO Mês = 5

- SE ((MovimentoLaterolateral = 1) E (ReflexodePreensaoTonicaPlantarIntenso = 1) E (MovimentoRotacional = 1) E (ReacaodeProtecaoparaosLadosParcial = 0))

ENTÃO Mês = 6

- SE ((MovimentoLaterolateral = 1) E (ReflexodePreensaoTonicaPlantarIntenso = 1) E (MovimentoRotacional = 1) E (ReacaodeProtecaoparaosLadosParcial = 1))

ENTÃO Mês = 7

- SE ((MovimentoLaterolateral = 1) E (ReflexodePreensaoTonicaPlantarIntenso = 0) E (ReacaodeProtecaoparaTrasCompleta = 0) E (ReflexodePreensaoTonicaPlantarFraco = 0))

ENTÃO Mês = 8

- SE ((MovimentoLaterolateral = 1) E (ReflexodePreensaoTonicaPlantarIntenso = 0) E (ReacaodeProtecaoparaTrasCompleta = 0) E (ReflexodePreensaoTonicaPlantarFraco = 1))

ENTÃO Mês = 9

- SE ((MovimentoLaterolateral = 1) E (ReflexodePreensaoTonicaPlantarIntenso = 0) E (ReacaodeProtecaoparaTrasCompleta = 1) E (RealizaMarchaIndependenteParcial = 0) E (RealizaMarchaIndependenteCompleta = 0))

ENTÃO Mês = 10

- SE ((MovimentoLaterolateral = 1) E (ReflexodePreensaoTonicaPlantarIntenso = 0) E (ReacaodeProtecaoparaTrasCompleta = 1) E (RealizaMarchaIndependenteParcial = 1))

ENTÃO Mês = 11

- SE ((MovimentoLaterolateral = 1) E (ReflexodePreensaoTonicaPlantarIntenso = 0) E (ReacaodeProtecaoparaTrasCompleta = 1) E (RealizaMarchaIndependenteParcial = 0) E (RealizaMarchaIndependenteCompleta = 1))

ENTÃO Mês = 12

## 4.2 DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA

A formalização da base de conhecimento e a sua interpretação através das regras de produção embasaram o desenvolvimento de um SE para auxílio ao diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica.

Este sistema foi implementado no *Shell Expert SINTA*<sup>7</sup> (Figura 24), uma ferramenta visual geradora de SEs que permite a criação de bases de conhecimento modeladas a partir do conhecimento de especialistas humanos.

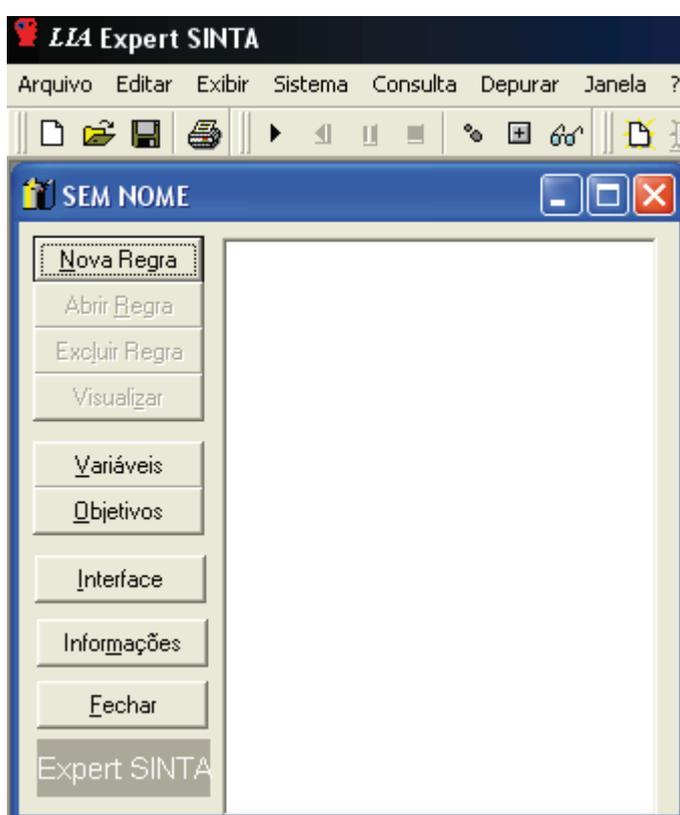


Figura 24: Apresentação da ferramenta – interface inicial

As Figuras 24 a 28 apresentam os 4 passos realizados para a implementação do SE no *Expert SINTA*.

- Passo 1: inserção das variáveis e dos seus respectivos valores possíveis (Figura 25). A variável Mes é a única que pode assumir valores entre 01 e 12. Todas as demais podem assumir ou o valor ausente ou o valor presente. Estas variáveis são

<sup>7</sup> <http://www.di.ufpe.br/~fab/expert-sinta/?C=S;O=A>

univaloradas porque podem assumir um único valor durante uma determinada execução do sistema.

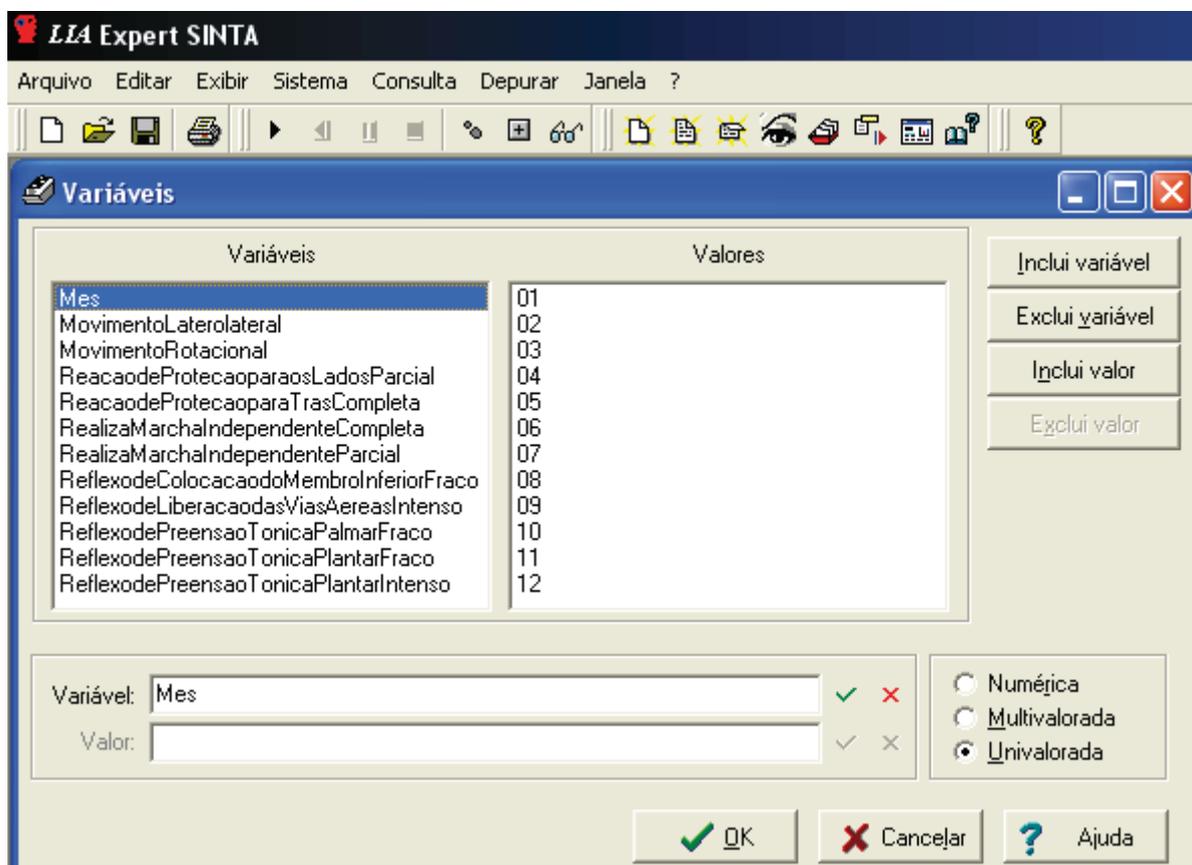


Figura 25: Inserção das variáveis e de seus valores no *Expert SINTA*

- Passo 2: definição das variáveis-objetivo (Figura 26). A conclusão do SE se embasa nas variáveis-objetivo. Neste trabalho, busca-se como resposta um valor para a variável *Mes*, ou seja, a qual mês do DMN pertence o conjunto de características de um determinado paciente.
- Passo 3: definição das regras (Figura 27). A base possui 12 regras, cada uma responsável pela classificação em um dos 12 meses do DMN (Seção 4.1).

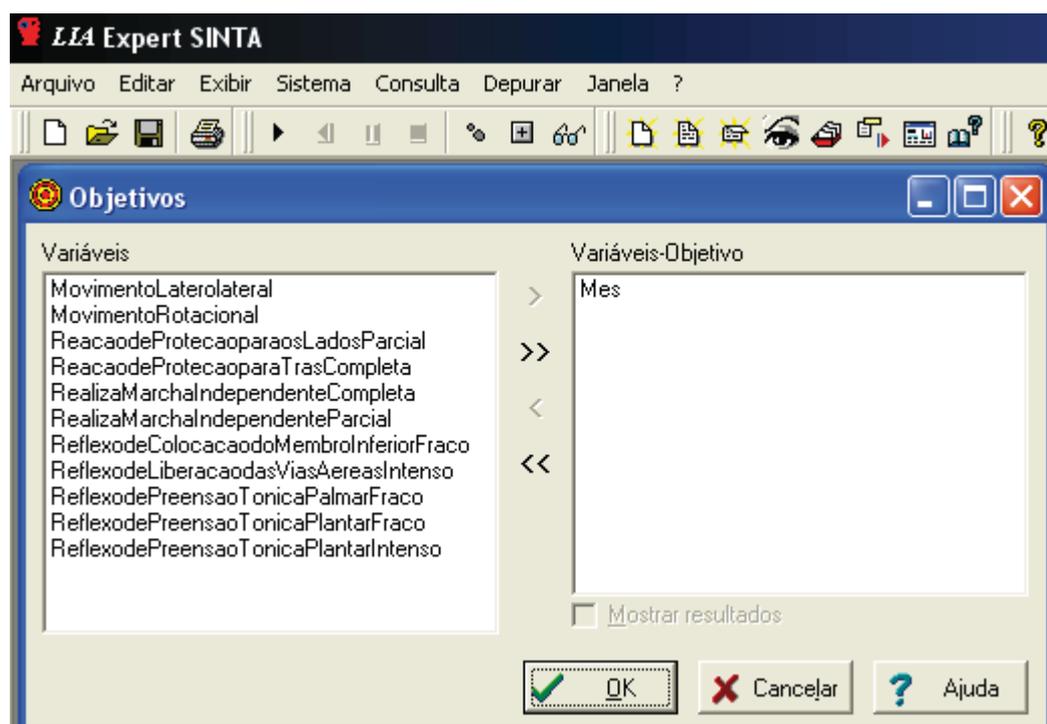


Figura 26: Criação das variáveis-objetivo

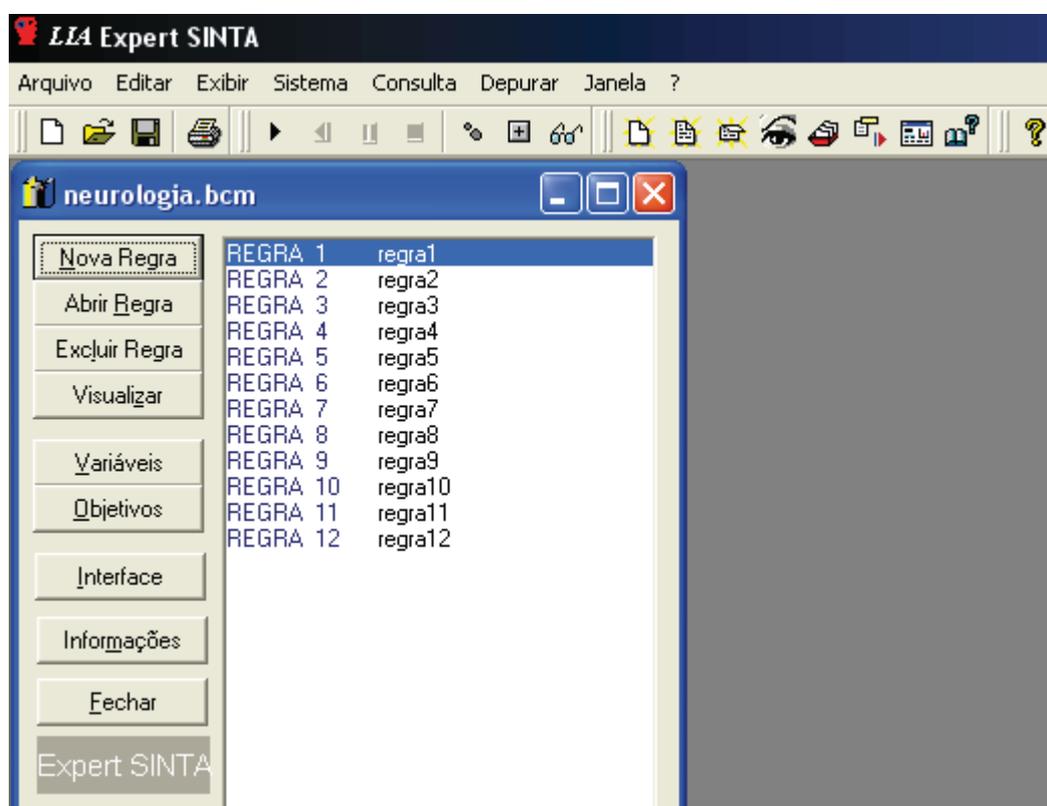


Figura 27: Implementação das regras

A Figura 28 apresenta o exemplo de uma regra implementada no SINTA. As regras de produção seguem o padrão: “SE antecedente, ENTÃO conseqüente”. O antecedente é formado por um conjunto de variáveis conectadas pela conjunção E. O conseqüente sempre é a variável Mes.

A ordem indica ao SE a seqüência de regras que ele deve examinar para tentar encontrar um valor para a variável Mes. Para esta implementação assume-se para todas as regras um grau de confiança de 100%.

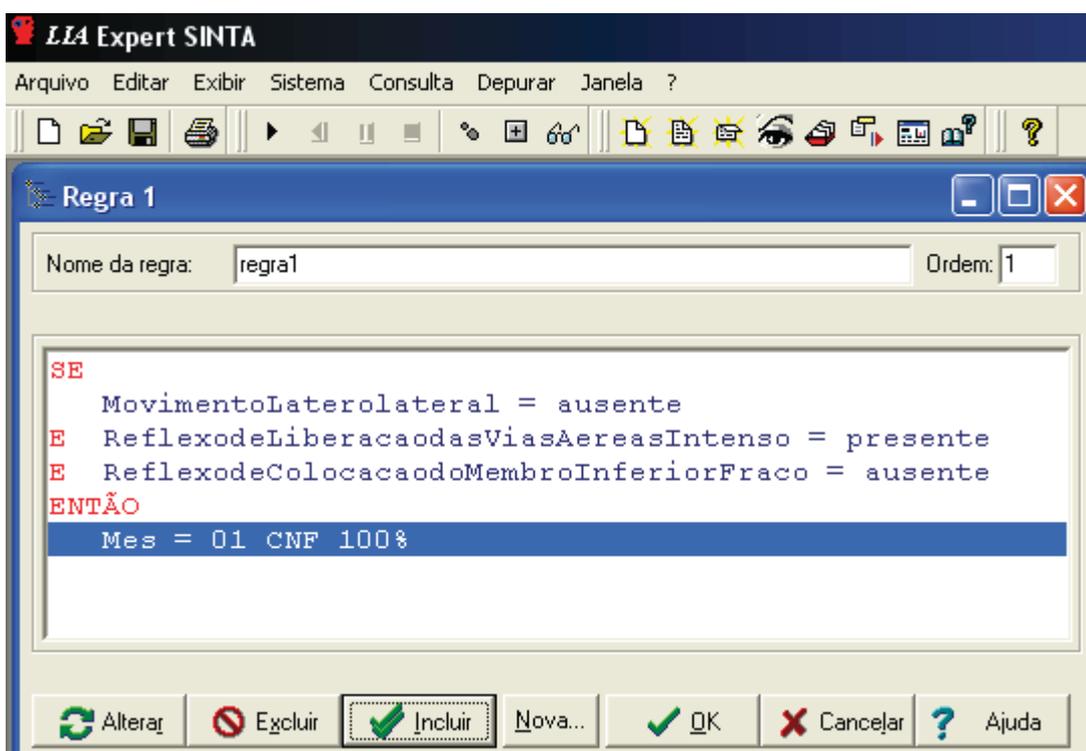


Figura 28: Exemplo de uma regra no SINTA

- Passo 4: ajuste da interface (Figura 29). No ajuste da interface deve-se associar uma pergunta a cada uma das variáveis. O SINTA poderia realizar isto automaticamente, mas devido à possibilidade de gerar perguntas de difícil entendimento para o usuário, então é necessário este ajuste manual de interface. O fator de confiança (CNF) foi desconsiderado para que todas as regras (meses do DMN) tivessem o mesmo peso.

Após esta implementação o SE já se encontra pronto para ser utilizado pelo usuário. A Figura 30 apresenta um exemplo da interface com o usuário. Como o SINTA inicia sua

execução examinando sua base de regras e tentando provar a regra de ordem 1, então é necessário realizar questionamentos ao usuário (Figura 30) a respeito dos valores dos atributos que constituem a regra 1. Se todas as respostas forem condizentes com a definição da regra 1 o sistema retorna o valor estabelecido (Mes 1), caso contrário tenta provar a próxima regra, ou seja, de ordem 2. Segue-se neste processo até que uma das 12 regras seja provada e, então, retorna-se o resultado ao usuário (Figura 31). Caso nenhuma das regras seja provada o sistema retorna a mensagem “nenhum valor encontrado”.

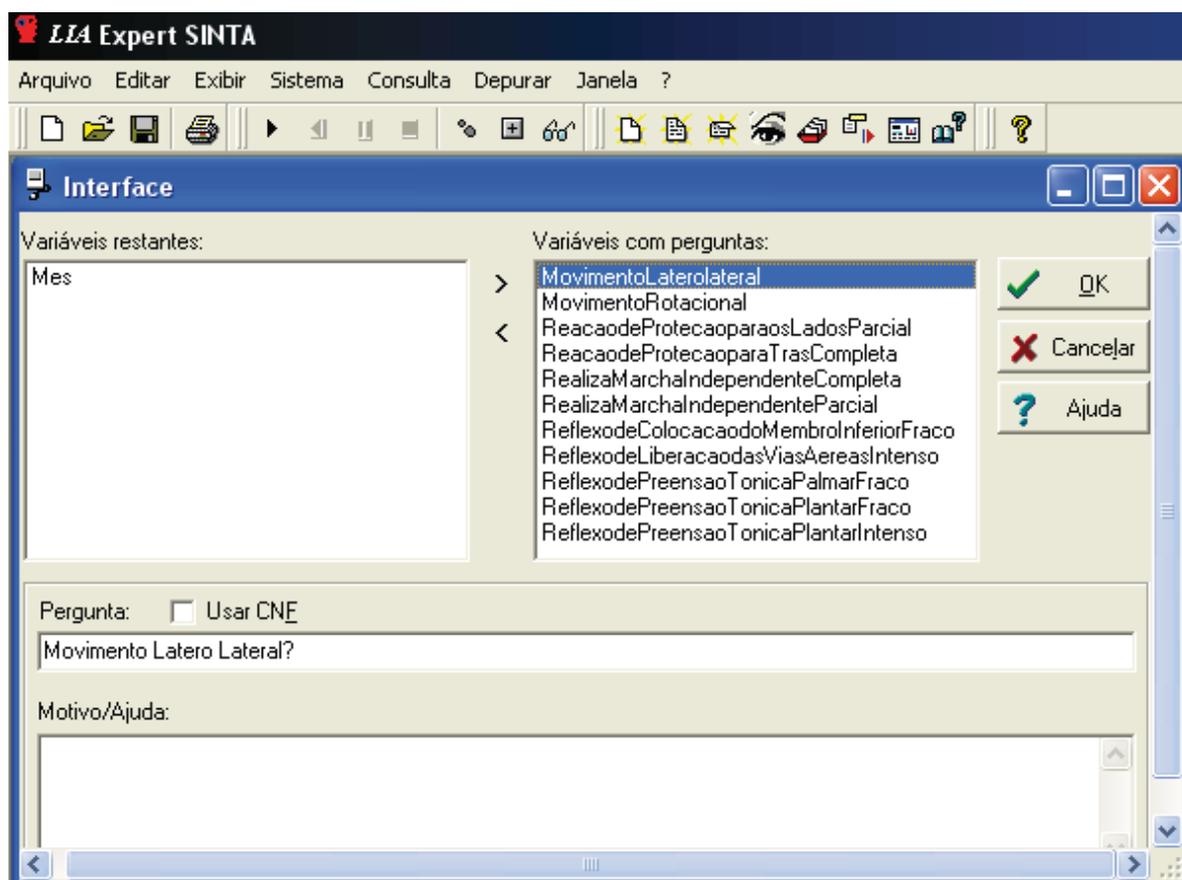


Figura 29: Perguntas que serão efetuadas na interface com o usuário

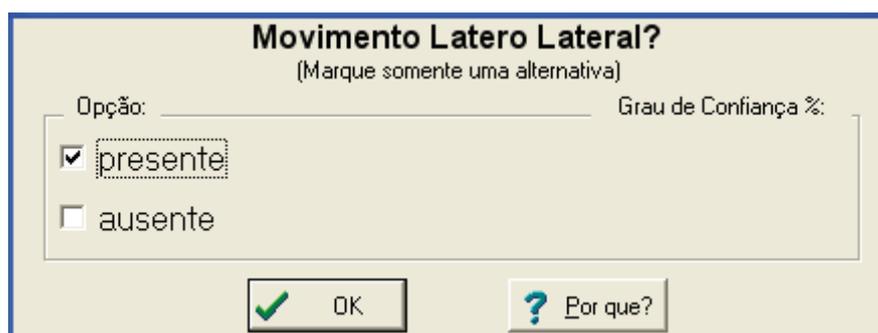


Figura 30: Exemplo de interface com o usuário durante a execução do SE

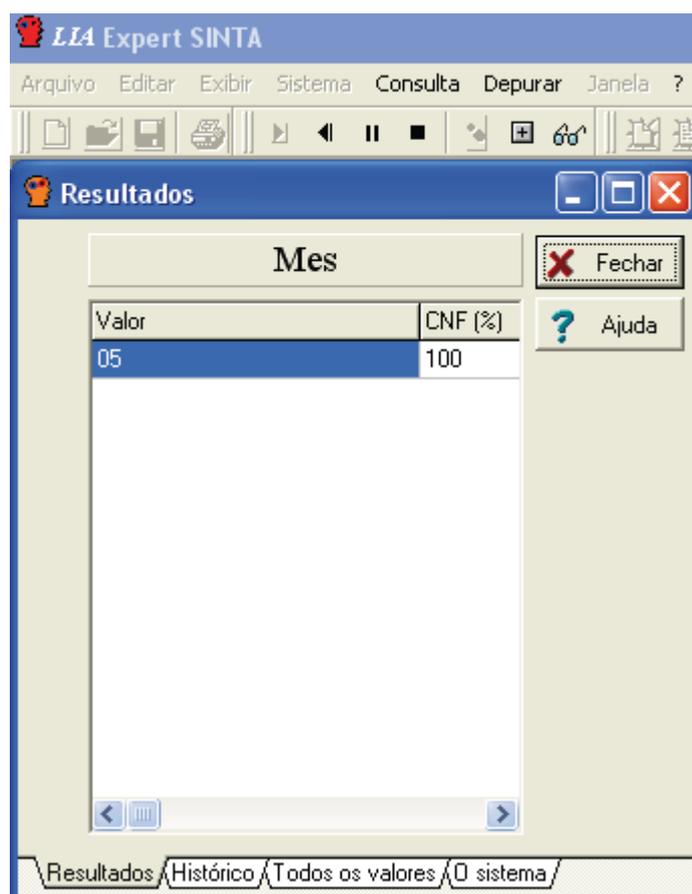


Figura 31: Resposta do SINTA

Além da interface amigável com o usuário, a grande vantagem de se possuir um SE está no fato de não exigir que todas as regras sejam verificadas para que se encontre uma resposta. Neste trabalho, utilizou-se a estratégia de busca por raciocínio para trás, dirigido pela meta, onde o sistema faz o caminho inverso, partindo da solução do problema e tentando verificar se esta é verdadeira através de suas condições. Após cada resposta do usuário, o encadeamento das regras permite que o motor de inferência tire conclusões parciais e redirecione a seqüência de perguntas ao usuário até que se chegue a uma conclusão final. Desta forma, o motor de inferência decide como aplicar as regras para inferir novo conhecimento e possui uma lista de prioridades de aplicação destas regras.

O *Expert SINTA* dispõe de ferramentas de depuração e explicação de resultados obtidos durante uma consulta, gerando uma árvore que representa todos os passos efetuados até a conclusão de determinado objetivo (Figura 32). Assim, além de auxiliar o usuário no processo de diagnóstico também ensina o caminho necessário à tomada de decisão.

A Figura 32 mostra o caminho percorrido pelo motor de inferência, para o exemplo mostrado na Figura 31, verificando e rejeitando regras até que encontre a regra compatível com as respostas recebidas do usuário.

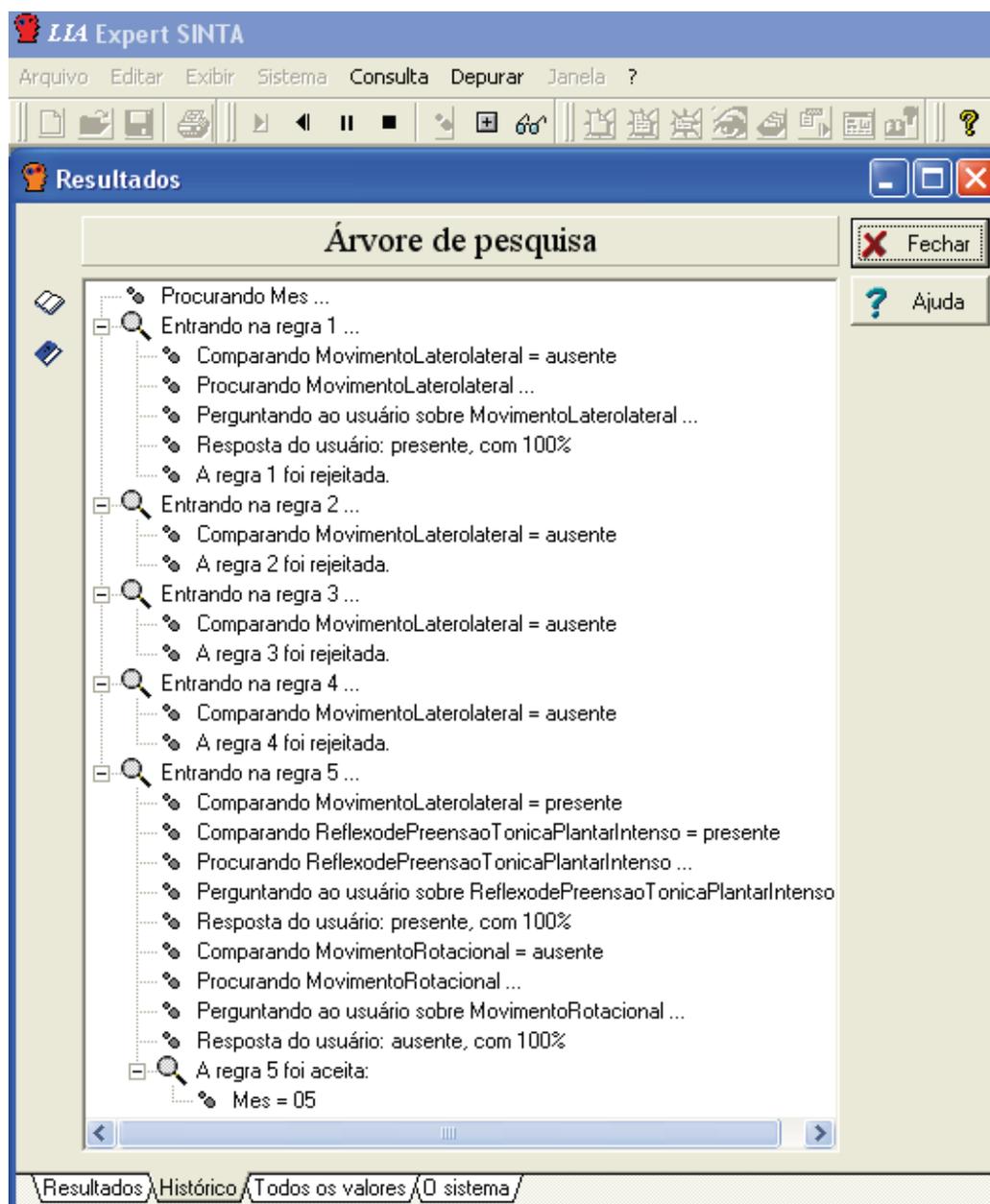


Figura 32: Apresentação de como o SINTA chega a uma conclusão através do motor de inferência

### 4.3 METODOLOGIA DE INFERÊNCIA FUZZY

Segundo Janfelice (2003), na última década, a literatura matemática que trata de fenômenos imprecisos cresceu consideravelmente, principalmente em teorias de modelagem e controle, utilizadas com sucesso nas áreas de Engenharia. As primeiras aplicações *fuzzy* em áreas da saúde foram em diagnóstico médico (SANCHEZ, 1977; SANCHEZ e BARTOLIN, 1990).

A teoria dos sistemas *fuzzy* utiliza símbolos (termos linguísticos ou variáveis) com os quais estão associadas semânticas bem definidas que, após serem convertidas em funções de pertinência, permitem o processamento numérico destes símbolos ou conceitos.

A estrutura básica de um sistema *fuzzy* possui três componentes conceituais: uma base de regras, uma base de dados e o mecanismo de raciocínio.

- Componente 1: a base de regras é composta por uma coleção de proposições *fuzzy*, apresentadas na forma SE-ENTÃO, construídas a partir das informações formalmente representadas nos axiomas da ontologia do DMN.
- Componente 2: na base de dados define-se as funções de pertinência aplicadas sobre as variáveis linguísticas e utilizadas nas regras *fuzzy* (partição dos universos). Neste trabalho, as variáveis linguísticas utilizadas podem ser consideradas como os componentes do DMN expressos na Tabela 8.

Segundo Pedrycz e Gomide (2007), a forma da função de pertinência deve ser determinada com base no contexto do problema a ser resolvido. As funções de pertinência selecionadas para variáveis linguísticas deste trabalho são as Gaussianas. Segundo estudos de Kreinovich, Quintana e Reznik (1992), as funções de pertinência Gaussianas são as mais adequadas na representação da imprecisão em mensurações e para Hong (2009) são as mais utilizadas para representar a imprecisão em termos linguísticos. Estas funções são definidas pela Equação 3.

Tabela 8: Variáveis lingüísticas presentes no diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica

RealizaColocarPeNaBoca	PosicaoSentadoEmLongSitting
RealizaControleDeCabeça	MovimentoAnteroPosterior
RealizaControleDeTroncoSuperior	MovimentoLateroLateral
RealizaControleDeTroncoInferior	MovimentoRotacional
RealizaEngatinhar	ReacaoCervicalDeRetificacao
RealizaKiking	ReacaoCorporalDeRetificacao
RealizaMarchaIndependente	ReacaoDeAnfibio
RealizaMarchaLateral	ReacaoDeLandau
RealizaPivotear	ReacaoDeProtecaoParaFrente
RealizaPonte	ReacaoDeProtecaoParaOsLados
RealizaPreensao	ReacaoDeProtecaoParaTras
RealizaPuppy	ReacaoLabirinticaDeRetificacao
RealizaRolarEmBloco	ReacaoOpticaDeRetificacao
RealizaRolarDissociado	ReflexoDeColocacaoDoMembroInferior
RealizaSimetria	ReflexoDeGalant
PosicaoAjoelhado	ReflexoDeLiberacaoDasViasAereas
PosicaoCabeçaLateralizada	ReflexoDeMarchaAutomatica
PosicaoDecubitoDorsal	ReflexoDeMoro
PosicaoDecubitoLateral	ReflexoDePreensaoTonicaPlantar
PosicaoDecubitoVentral	ReflexoDePreensaoTonicaPalmar
PosicaoEmPe	ReflexoDeSuccao
PosicaoFlexaoFisiologica	ReflexoDeSustentacaoDePeso
PosicaoGatas	ReflexoDosQuatroPontosCardeais
PosicaoSemiAjoelhado	ReflexoTónicoCervicalAssimetrico
PosicaoSentadoComApoio	

$$\mu_{A^i}(x) = e^{-\left(\frac{(c_i-x)^2}{2\sigma_i^2}\right)} \quad (3)$$

Onde  $A^i$  é o conjunto *fuzzy*,  $c_i$  é o centro do conjunto e  $\sigma_i$  é a largura do conjunto, como mostra a Figura 33.

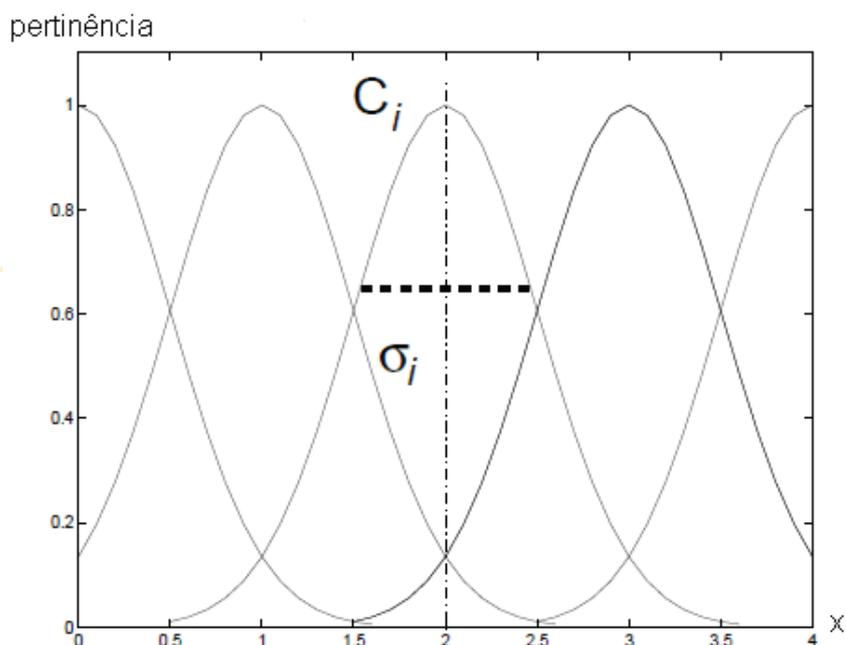


Figura 33: Função de pertinência Gaussiana

O diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica embasa-se na classificação do DMN. Assim, para classificação em um determinado mês observa-se sempre a presença ou a ausência das mesmas características. Isto impede a formação de um conjunto de exemplos diferentes que poderiam ser utilizados como referencial para definição dos valores dos intervalos nas funções de pertinência. Desta forma, estes valores são definidos com base na experiência dos especialistas entrevistados durante o processo de AC (PEDRYCZ e GOMIDE, 2007).

Apresenta-se como exemplo a função de pertinência para a variável lingüística *ReflexoDeMoro* na Figura 34, onde no eixo x estão representados os intervalos de valores correspondentes aos termos lingüísticos da variável e no eixo y representa-se o grau de pertinência de cada termo.

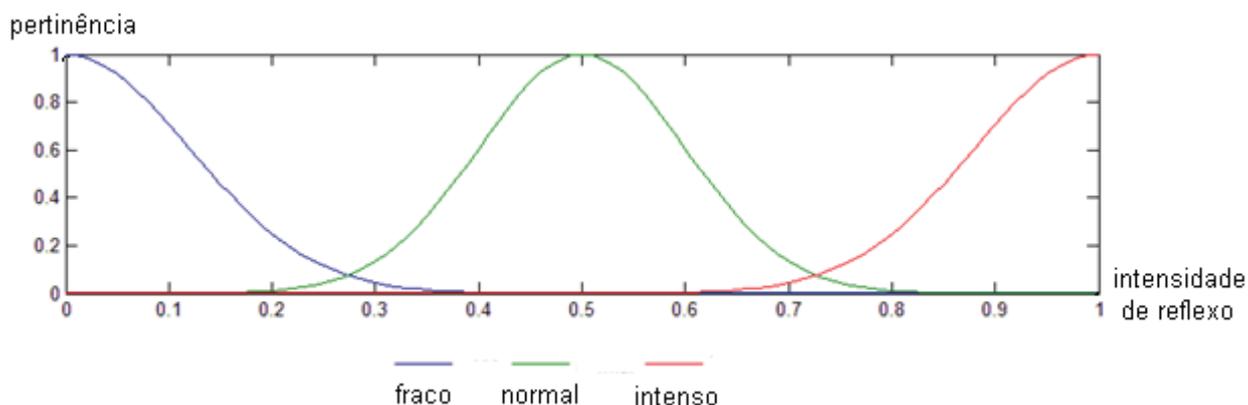


Figura 34: Função de pertinência da variável lingüística ReflexoDeMoro

Para as variáveis linguísticas com prefixo *Realiza* e com prefixo *Reacao* considera-se o domínio no intervalo  $[0, 1]$ , representando as faixas menor que 0,6 para o termo linguístico *parcial* e maior que 0,4 para o termo linguísticos *completa*.

Para as variáveis linguísticas com prefixo *Posicao* considera-se o domínio no intervalo  $[0, 1]$ , representando as faixas menor que 0,6 para o termo linguístico *voluntário* e maior que 0,4 para o termo linguísticos *involuntário*.

Nas variáveis linguísticas com prefixo *Reflexo* considera-se o domínio no intervalo  $[0, 1]$ , representando as faixas menor que 0,35, entre 0,25 e 0,75 e maior que 0,65 pelos termos linguísticos: *fraco*, *normal* e *intenso*, respectivamente.

E nas variáveis linguísticas com prefixo *Movimento* considera-se o domínio no intervalo  $[0, 1]$ , representando a faixa maior que 0 pelo termo linguísticos *presente*.

- Componente 3: o mecanismo de raciocínio realiza um procedimento de inferência para obter a saída ou conclusão baseando-se nas regras e fatos conhecidos. A forma como a conclusão é extraída a partir dos antecedentes da regra e das próprias regras, define diferentes mecanismos de inferência utilizados por sistemas *fuzzy*.

Utilizou-se neste trabalho o Método de Mamdani que combina os graus de pertinência referentes a cada um dos valores de entrada, através do operador mínimo e agrega as regras através do operador máximo (PEDRYCZ e GOMIDE, 2007).

Normalmente o antecedente é formado por proposições linguísticas e a diferença entre os diferentes mecanismos de raciocínio se dá no conseqüente das regras.

O modelo de Mamdani utiliza conjuntos *fuzzy* também nos conseqüentes das regras *fuzzy*. A saída final é representada por um conjunto *fuzzy* resultante da agregação da saída inferida de cada regra.

Desta forma, este modelo contempla o processo de diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica que prevê que um paciente possui diferentes graus de pertinência a mais de um dos meses do DMN.

#### 4.4 SISTEMA BASEADO EM MODELOS DETERMINÍSTICOS

A formalização da base de conhecimento na estrutura de uma ontologia e a sua interpretação através das regras de produção embasou também o desenvolvimento de um modelo determinístico de auxílio ao diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica.

Neste modelo, utilizou-se como métricas de avaliação de desempenho a taxa de acerto, o coeficiente de correlação de Pearson e as métricas de Minkowski (Seção 2.3).

As métricas são calculadas em função dos valores atribuídos a cada uma das características do DMN. No total são 106 características, conforme Tabela 7. Independentemente da métrica utilizada, o modelo consiste da comparação dos valores de 106 características de um determinado paciente com os valores destas mesmas 106 características que identificam um determinado mês do DMN. As características podem receber dois valores: 1 quando estão presentes ou 0 quando estão ausentes. Assim, matematicamente, o cálculo das métricas é realizado sobre dois vetores de características. O primeiro vetor, representado por  $CP$  (características do paciente) representa os valores dos 106 atributos de um determinado paciente e o segundo vetor, representado por  $Cm$  (características do mês  $m$ ) representa os valores dos 106 atributos que caracterizam um determinado mês do DMN.

##### 4.4.1 Taxa de acerto

A fórmula para o cálculo da taxa de acerto é apresentada pela Equação 4:

$$TX_m = \frac{\sum_{i=1}^{106} (Condição(CP_i, Cm_i))}{\sum_{i=1}^{106} (Cm_i)} \quad (4)$$

Onde:

- $TX_m$ : representa a taxa de acerto referente ao mês  $m$ ;
- $i$ : índice que indica a  $i$ -ésima característica;
- $Cm$ : representa o vetor de características do mês  $m$ ;

- **CP**: representa o vetor de características do paciente;
- **Condição**: função aplicada sobre cada par ordenado de característica. Esta função retorna 1 ou 0 dependendo da condição encontrada. As possíveis condições são:
  - a) Paciente com característica ( $CP_i$ ) ausente (valor 0) e o mês com que ele está sendo comparado também com esta característica ( $Cm_i$ ) ausente (valor 0), então a função condição retorna 0;
  - b) Paciente com a característica ( $CP_i$ ) presente (valor 1) e o mês com que ele está sendo comparado também com esta característica ( $Cm_i$ ) presente (valor 1), então a função condição retorna 1;
  - c) Paciente com característica ( $CP_i$ ) presente (valor 1) e o mês com que ele está sendo comparado também com esta característica ( $Cm_i$ ) ausente (valor 0), então a função condição retorna 0;
  - d) Paciente com característica ( $CP_i$ ) ausente (valor 0) e o mês com que ele está sendo comparado também com esta característica ( $Cm_i$ ) presente (valor 1), então a função condição retorna 0.

Em suma, a taxa de acerto computa o percentual de características que deveriam estar presentes em determinado mês, em relação àquelas que realmente estão.

#### 4.4.2 Métricas de Minkowski

A formalização matemática para a métrica de Minkowski encontra-se descrita na Equação 1, Seção 2.3.1. Como a métrica de Minkowski quantifica semelhanças através de uma medida de distância, quanto mais próximos de 0 forem os valores retornados pela métrica mais semelhantes serão os vetores analisados. Neste trabalho optou-se pela utilização de  $k$  com valor igual a 2 e  $p_m$  com valor igual a 1 para todos os valores, assim considera-se que todas as características do DMN têm um mesmo grau de importância. Nestas condições, a métrica de Minkowski é equivalente à distância Euclidiana ( $DE$ ). Então, para se utilizar a Equação 1 deve-se substituir o vetor  $t_1$  pelo vetor de características  $Cm$ , o vetor  $t_2$  pelo vetor  $CP$ , e  $n$  por 106.

#### 4.4.3 Coeficiente de correlação de Pearson

O coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) já foi apresentado na Equação 2 da Seção 2.3.2. Para utilizar a equação basta substituir o vetor  $x$  (vetor dos dados reais) pelo vetor de características  $Cm$ , o vetor  $y$  (vetor dos dados obtidos) pelo vetor  $CP$ , e  $n$  por 106. Quanto mais próximos do valor 1 forem os resultados retornados pelo coeficiente de correlação, mais semelhantes serão os vetores analisados.

#### 4.4.4 Protocolo de coleta de dados de casos de pacientes reais

Para que se validasse a eficiência do sistema embasado em modelos determinísticos foram coletados dados referentes à avaliação de pacientes reais. Obteve-se dados da avaliação neurológica de crianças que freqüentam uma determinada instituição da cidade de Curitiba. Esta instituição é uma escola de educação especial que enfatiza a prevenção no sentido de realizar a estimulação e a intervenção precoce em crianças com atraso no desenvolvimento neuropsicomotor.

Antes da coleta de dados obteve-se o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Anexo III) que foi dirigido à diretora da instituição para que autorizasse a coleta dos dados das avaliações das crianças. Este termo foi feito em duas cópias, uma para o pesquisador e outra para a diretora da escola.

Na descrição da população da pesquisa, como critérios de inclusão da amostra, coletou-se os dados da avaliação neurológica de 30 pacientes que possuíam atraso no desenvolvimento psicomotor, e cuja idade motora era inferior a 12 meses. Como critérios de exclusão da amostra, excluiu-se os casos de pacientes com idade motora superior a 12 meses, ou que possuíssem atraso que levassem apenas a prejuízos cognitivos.

A informante destes dados foi a fisioterapeuta que avalia e atende as crianças semanalmente. Isto é, não houve nenhum tipo de intervenção com estas crianças, apenas foram coletados dados já existentes, de sua avaliação. Quando a informante tinha dúvidas sobre a presença ou não de algum elemento da avaliação, este item era reavaliado pela mesma, sem a influência da pesquisadora.

É importante salientar que a fisioterapeuta da instituição (informante), também não possuiu nenhum vínculo ou acesso ao processo de AC deste trabalho, para garantir a imparcialidade de seu julgamento. A fisioterapeuta recebeu o questionário representado pela

Figura 35, oriundo do processo de AC com os especialistas, e o preencheu de acordo com os dados de cada paciente. Após o preenchimento dos dados do desenvolvimento motor de cada paciente, ela também recebeu uma escala visual analógica, conforme Figura 36, para descrever em quais meses do DMN este paciente se enquadrava. Isto é devido ao fato de que os pacientes com atraso possuem características de mais de um dos meses do DMN. A elaboração desta escala visual analógica embasou-se no trabalho de Gomez et al. (2007).

<p><b>Reflexos:</b> descreva se é fraco (F), normal (N) ou intenso (I)</p> <p><input type="checkbox"/> Reflexo de Colocação do Membro Inferior</p> <p><input type="checkbox"/> Reflexo de Galant</p> <p><input type="checkbox"/> Reflexo de Liberação das Vias Aéreas</p> <p><input type="checkbox"/> Reflexo de Marcha Automática</p> <p><input type="checkbox"/> Reflexo de Moro</p> <p><input type="checkbox"/> Reflexo de Preensão Tônica Palmar</p> <p><input type="checkbox"/> Reflexo de Preensão Tônica Plantar</p> <p><input type="checkbox"/> Reflexo de Sucção</p> <p><input type="checkbox"/> Reflexo de Sustentação de Peso</p> <p><input type="checkbox"/> Reflexo dos 4 Pontos Cardeais</p> <p><input type="checkbox"/> Reflexo Tônico Cervical Assimétrico</p>	<p><b>Padrões de Movimento:</b> descreva se é voluntário (V) ou involuntário (I)</p> <p><input type="checkbox"/> Posição Ajoelhado</p> <p><input type="checkbox"/> Posição Cabeça Lateralizada</p> <p><input type="checkbox"/> Posição Decúbito Dorsal</p> <p><input type="checkbox"/> Posição Decúbito Lateral</p> <p><input type="checkbox"/> Posição Decúbito Ventral</p> <p><input type="checkbox"/> Posição em Pé</p> <p><input type="checkbox"/> Posição Flexão Fisiológica</p> <p><input type="checkbox"/> Posição Gatas</p> <p><input type="checkbox"/> Posição Semi-ajoelhado</p> <p><input type="checkbox"/> Posição Sentado com Apoio (não funcional)</p> <p><input type="checkbox"/> Posição Sentado em <i>Long-sitting</i> (funcional)</p>
<p><b>Reações:</b> descreva se é parcial (P) ou completa (C)</p> <p><input type="checkbox"/> Reação Cervical de Retificação</p> <p><input type="checkbox"/> Reação Corporal de Retificação</p> <p><input type="checkbox"/> Reação de Anfíbio</p> <p><input type="checkbox"/> Reação de Landau</p> <p><input type="checkbox"/> Reação de Proteção para Frente</p> <p><input type="checkbox"/> Reação de Proteção para os Lados</p> <p><input type="checkbox"/> Reação de Proteção para Trás</p> <p><input type="checkbox"/> Reação Labiríntica de Retificação</p> <p><input type="checkbox"/> Reação Óptica de Retificação</p>	<p><b>Habilidades Motoras Voluntárias:</b> descreva se é parcial (P) ou completa (C)</p> <p><input type="checkbox"/> Realiza Colocar Pé na Boca</p> <p><input type="checkbox"/> Realiza Controle de Cabeça</p> <p><input type="checkbox"/> Realiza Controle de Tronco Superior</p> <p><input type="checkbox"/> Realiza Controle de Tronco Inferior</p> <p><input type="checkbox"/> Realiza Engatinhar</p> <p><input type="checkbox"/> Realiza <i>Kiking</i></p> <p><input type="checkbox"/> Realiza Marcha Independente</p> <p><input type="checkbox"/> Realiza Marcha Lateral</p> <p><input type="checkbox"/> Realiza Pivotear</p> <p><input type="checkbox"/> Realiza Ponte</p> <p><input type="checkbox"/> Realiza Preensão</p> <p><input type="checkbox"/> Realiza <i>Puppy</i></p> <p><input type="checkbox"/> Realiza Rolar em Bloco</p> <p><input type="checkbox"/> Realiza Rolar Dissociado</p> <p><input type="checkbox"/> Realiza Simetria (mãos em linha média)</p>
<p><b>Planos de Movimento:</b> assinale quais estão presentes</p> <p><input type="checkbox"/> Movimento Antero-posterior</p> <p><input type="checkbox"/> Movimento Latero-lateral</p> <p><input type="checkbox"/> Movimento Rotacional</p>	

Figura 35: Questionário para coleta de dados de pacientes reais

100%												
90%												
80%												
70%						X						
60%					X							
50%												
40%												
30%							X					
20%												
10%												
0%												
	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12

Figura 36: Escala visual analógica para coleta de dados de pacientes reais

Conforme relatado pelos especialistas do domínio, cada paciente possui uma idade motora correspondente a mais de um mês do DMN, o que se chama de “idade motora com lacunas”. Para que fosse possível contemplar estas lacunas durante o protocolo de obtenção dos casos reais, solicitou-se à informante para primeiramente observar a escala visual analógica e indicar qual a idade motora (mês predominante) de cada paciente que avaliava e qual percentual deste mês que o paciente possuía. Na sequência, questionava-se também qual percentual o paciente perfazia do mês anterior e do mês posterior ao indicado pela fisioterapeuta, como exemplifica a Figura 36.

Pode-se citar como exemplo um paciente considerado pela informante como pertinente ao sétimo mês do DMN: solicitava-se que a mesma indicasse um percentual de pertinência ao sétimo, ao sexto e ao oitavo mês.

Uma vez coletados estes dados dos 30 casos reais, eles foram inseridos no sistema para quantificação do diagnóstico do paciente, embasando-se na idade motora. A metodologia para cálculo da quantificação do diagnóstico ocorreu pela comparação do conhecimento do sistema desenvolvido (oriundo da AC com especialistas na área) com o conhecimento oriundo da avaliação de um novo paciente (dados da avaliação de um paciente real).

#### 4.4.5 Interpretação dos resultados

A Tabela 9 exemplifica a forma utilizada para a interpretação dos resultados. Após o especialista preencher o questionário (Figura 35) e a escala visual analógica (Figura 36), o conjunto de dados do referido paciente é comparado com os conjuntos de dados referentes a cada mês do DMN, e, então calcula-se a taxa de acerto ( $TX$ ), a distância Euclidiana ( $DE$ ) e o coeficiente de Pearson ( $r$ ).

A Tabela 9 apresenta o exemplo de um paciente classificado pelo especialista como com idade motora predominantemente pertencente ao sexto mês (70%), e com valores de vizinhança de 60% no quinto mês e 30% no sétimo mês. Para a interpretação dos resultados, compara-se as respostas do sistema com aquelas obtidas do especialista, da seguinte forma (Tabela 9):

- Taxa de acerto (*TX*): considera-se como melhor valor o maior percentual, e a seguir, considera-se também a taxa de acerto referente ao mês anterior e ao posterior;
- Distância Euclidiana (*DE*): considera-se como melhor valor aquele que for o mais próximo de 0, e a seguir, considera-se também a distância Euclidiana referente ao mês anterior e ao posterior;
- Coeficiente de Pearson (*r*): considera-se como melhor valor aquele que for o mais próximo de 1, e a seguir, considera-se também o coeficiente referente ao mês anterior e ao posterior.

Tabela 9: Resultados apresentados pelo sistema

Mês	<i>TX</i>	<i>DE</i>	<i>R</i>	Fisioterapeuta
1	6,25%	6,16	-0,17	
2	6,25%	6,16	-0,17	
3	46,67%	5,00	0,23	
4	38,89%	5,29	0,18	
5	63,64%	4,24	0,50	60%
6	80,00%	3,00	0,76	70%
7	67,86%	3,74	0,65	30%
8	64,52%	3,87	0,64	
9	65,63%	3,74	0,68	
10	62,50%	4,00	0,63	
11	60,61%	4,12	0,61	
12	60,61%	4,12	0,61	

A situação esperada ocorre quando o sistema retorna os valores das métricas nos mesmos meses do DMN indicados pelo fisioterapeuta.

## CAPÍTULO 5

### METODOLOGIA BASEADA EM ONTOLOGIAS PARA ENSINO EM FISIOTERAPIA NEUROPEDIÁTRICA

#### 5.1 MOTIVAÇÃO

Durante a graduação o acadêmico de Fisioterapia aprende o conteúdo de DMN através de livros com ilustrações estáticas, aulas expositivas e algumas aulas práticas em que se pode analisar o perfil motor de um paciente, ou seja, seu DMN.

Entretanto, como se pode verificar no processo AC, para que se classifique um paciente em um ou mais meses do DMN necessita-se conhecer as cinco categorias básicas de análise (Reflexos, Reações, Planos de Movimento, Habilidades Motoras Voluntárias e Padrões de Movimento). Cada uma destas categorias possui vários subitens que totalizam 49 características a serem avaliadas. Ainda, segundo o processo de AC, compreendeu-se que cada característica pode receber valores. Por exemplo, um reflexo específico em determinado mês pode ter intensidade fraca, em outro normal e em um outro, intensa.

Quando se verifica todos os possíveis valores relacionados a todas as características analisadas nas 5 categorias do DMN encontra-se 106 possibilidades a se considerar durante uma avaliação ou diagnóstico. Este número de informações é grande para ser aprendido por um aluno que provavelmente está em contato com este conteúdo pela primeira vez (CASTILHO-WEINERT e LOPES, 2010).

Motivando-se pela complexidade deste aprendizado, organizou-se uma ontologia para facilitação do processo de ensino-aprendizagem em Fisioterapia Neuropediátrica. Segundo o relato de Wilkinson (2007) entende-se que a ontologia pode ser um recurso mais didático do que os livros, pois permite que o aluno tenha a noção do todo e de suas partes (classes e subclasses) e também conheça as relações existentes entre estas classes e subclasses.

Para desenvolvimento desta ontologia voltada ao ensino, utilizou-se a ontologia do DMN, já desenvolvida na ferramenta *Protégé* (Seção 2.2.8), com a finalidade de se representar o conhecimento necessário ao diagnóstico. Porém, realizou-se algumas adaptações, tais como:

- A criação de instâncias que representassem diferentes casos de pacientes;
- A disponibilização de *links* que ilustrassem, através de imagens ou vídeos, os meses do DMN, suas características e as formas de avaliação de cada uma delas;
- A aplicação de um *software* visualizador para tornar a interface da ontologia mais amigável ao estudante, o *Simple Hierarchical Multi-Perspective* (SHriMP). Este *software* foi utilizado com sucesso para esta mesma finalidade por Wilkinson (2007).

## 5.2 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO DA ONTOLOGIA PARA ENSINO

Para teste do modelo de ensino-aprendizagem baseado em ontologias proposto nesta tese, utilizou-se a ontologia para diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica com algumas adequações para permitir o ensino deste conteúdo. Este protótipo foi apresentado a profissionais e alunos com a finalidade de analisar qual o seu potencial como recurso multimídia didático-pedagógico para aprendizado do diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica. Esta apresentação mostrou os seguintes recursos da ontologia para ensino:

- Apresentação da hierarquia de conceitos: fornece a noção do todo e de suas partes (conhecimento apresentado de forma hierárquica). Clicando sobre cada componente do DMN é possível visualizar seus subitens (Figura 37).
- Descrição das idades motoras: clicando sobre cada mês é possível ver as características do DMN que estão presentes (Figura 38) e ainda distinguir as características imprescindíveis (primeira seta da Figura 38) das características facultativas (segunda seta da Figura 38).



Figura 37: Visualização do conhecimento sobre o domínio de forma hierárquica

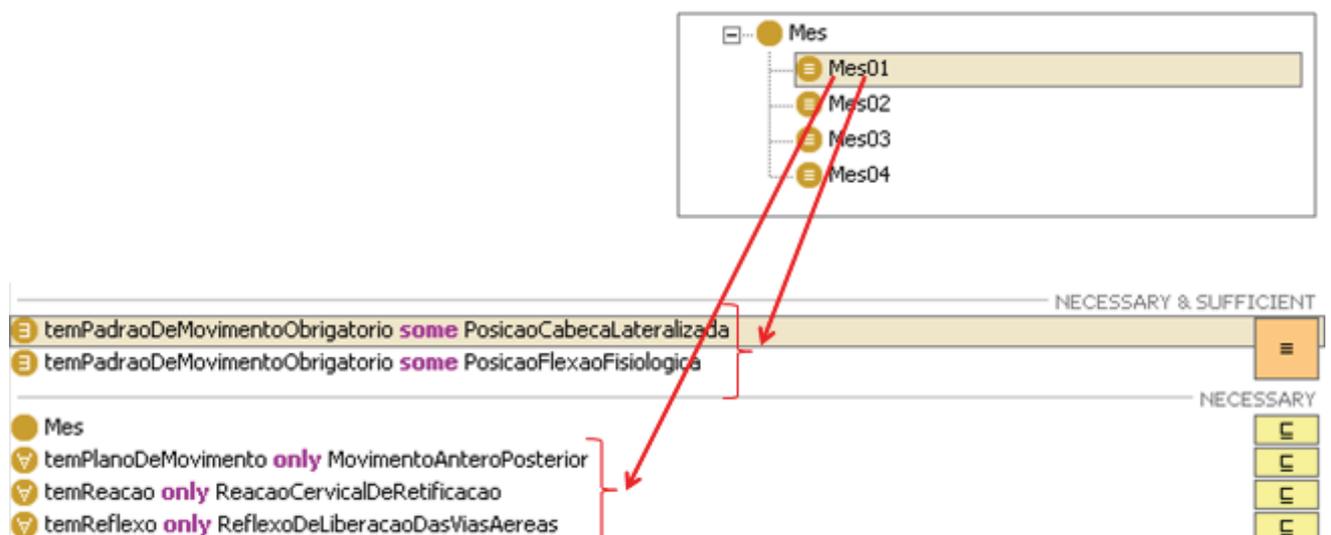


Figura 38: Características do primeiro mês DMN com distinção das características imprescindíveis (primeira seta) das facultativas (segunda seta)

- Classificação de pacientes: é possível criar alguns perfis de pacientes e solicitar que o raciocinador da ontologia classifique em um dos meses do DMN (Figura 39).

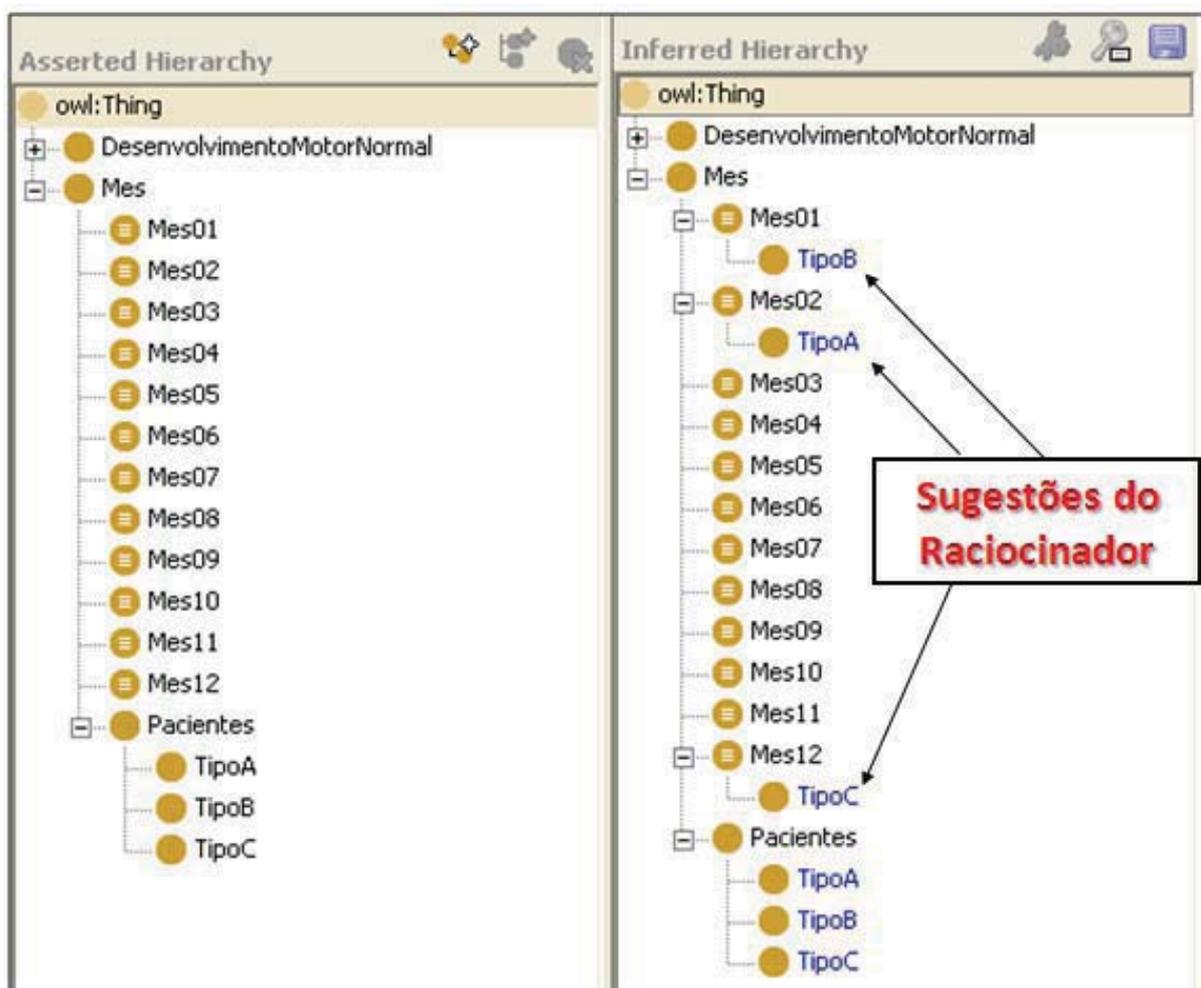


Figura 39: Classificação de novos perfis de pacientes

- Criação de exemplos: é possível criar exemplos de casos de pacientes reais (instâncias) com comentários e ilustrações, caracterizando a ontologia como um recurso multimídia de ensino-aprendizagem. Na Figura 40 visualiza-se a hierarquia de conceitos relacionados ao diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica. Ao clicar sobre a classe *Mes08* pode-se acessar a instância *Joao*. Nesta instância existe a possibilidade de visualização de imagens sobre os diferentes componentes do DMN desta criança classificada como pertencente ao oitavo mês. Nesta Figura apresenta-se o padrão de movimento *sentar funcional* e seu respectivo comentário de que João possui sentar funcional e reação de proteção para frente e lados.

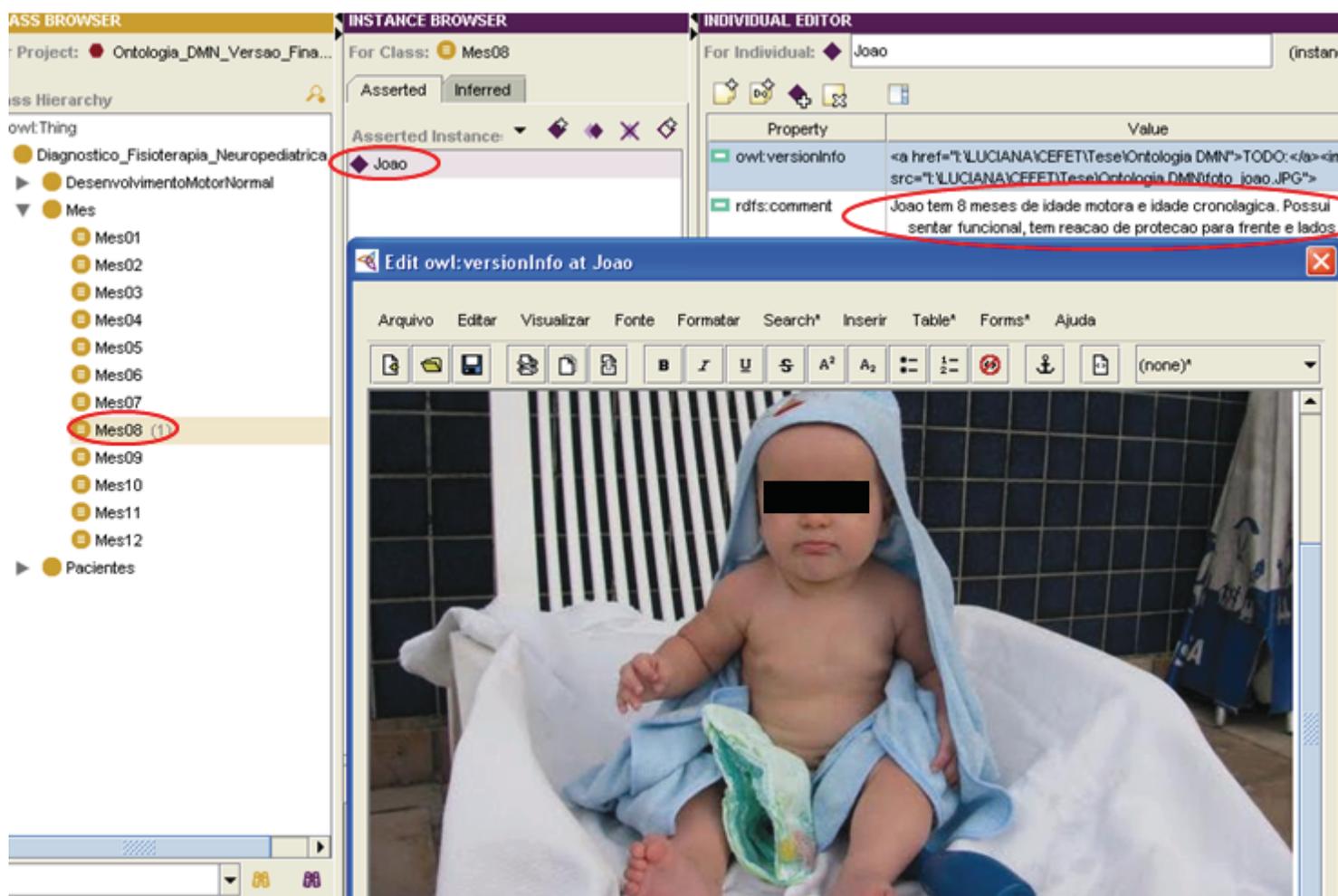


Figura 40: Instanciação com comentários e ilustrações

- Através do *software* SHrimp é possível obter várias formas de visualização da ontologia. Na Figura 41 ilustra-se os componentes do diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica de forma ampla e generalista, ressaltando-se que o DMN, a idade motora e os pacientes compõem o procedimento de diagnóstico. Na Figura 42 observa-se os itens do DMN considerados para determinação da idade motora de um paciente, à saber: padrão de movimento, habilidade motora voluntário, plano de movimento, reflexo e reação. Na Figura 43 visualiza-se a relação bidirecional entre os elementos considerados para determinação da idade motora. Na Figura 44 observa-se mais detalhadamente os componentes do diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica, com suas classes e algumas subclasses.

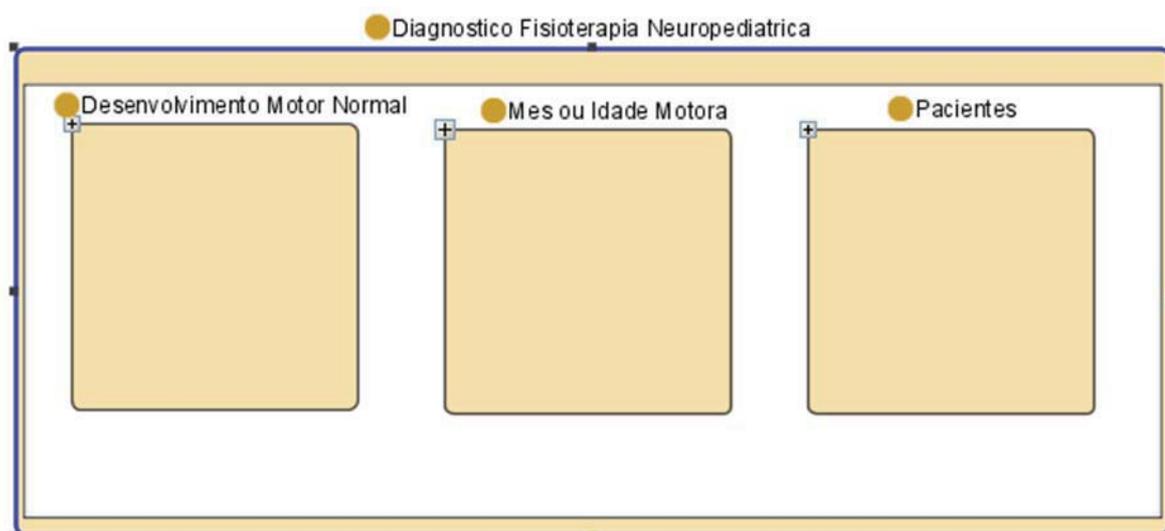


Figura 41: Visualização generalista do processo de diagnóstico

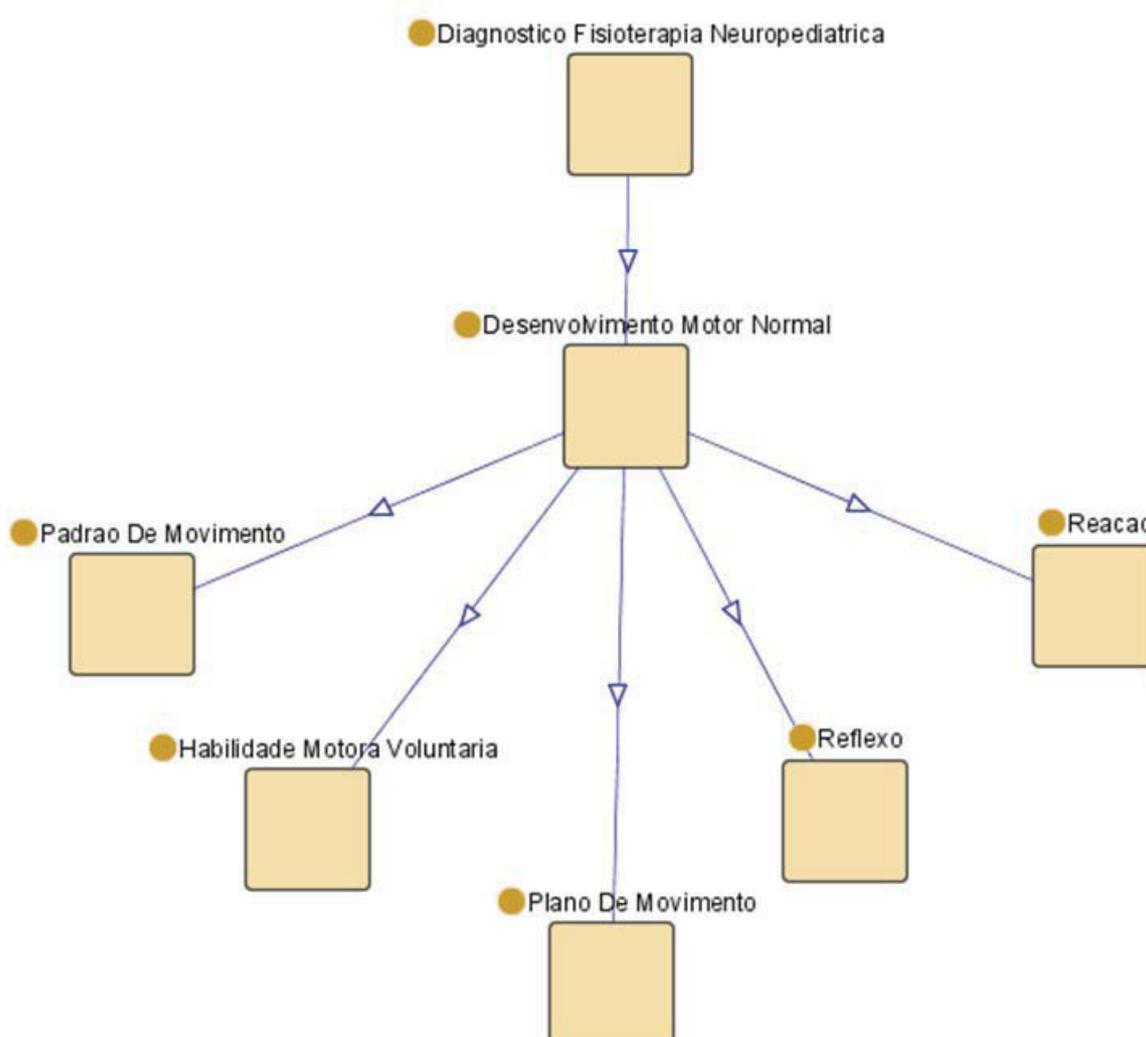


Figura 42: Observação dos elementos do DMN considerados na definição da idade motora

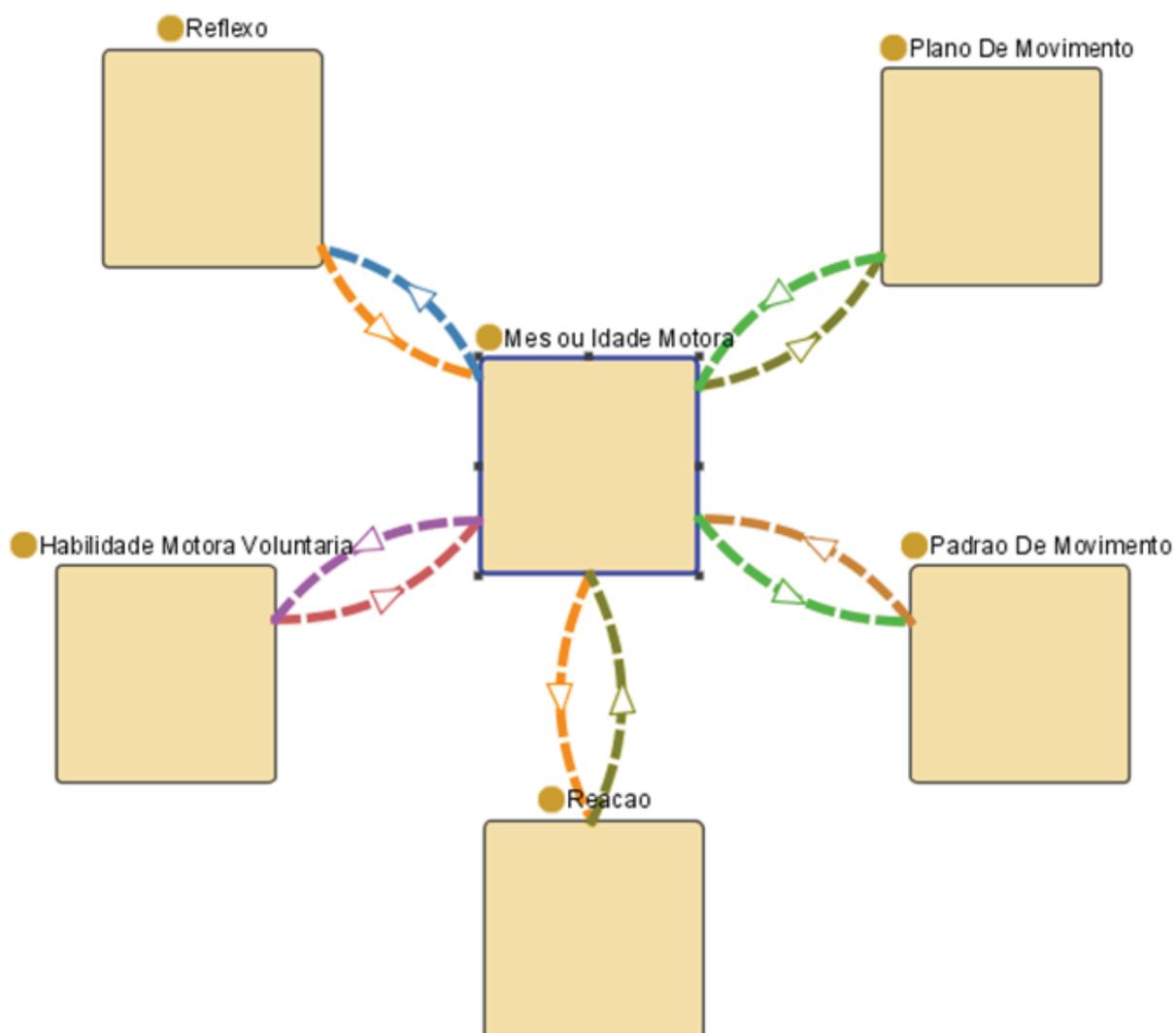


Figura 43: Observação da relação entre os elementos considerados na definição da idade motora

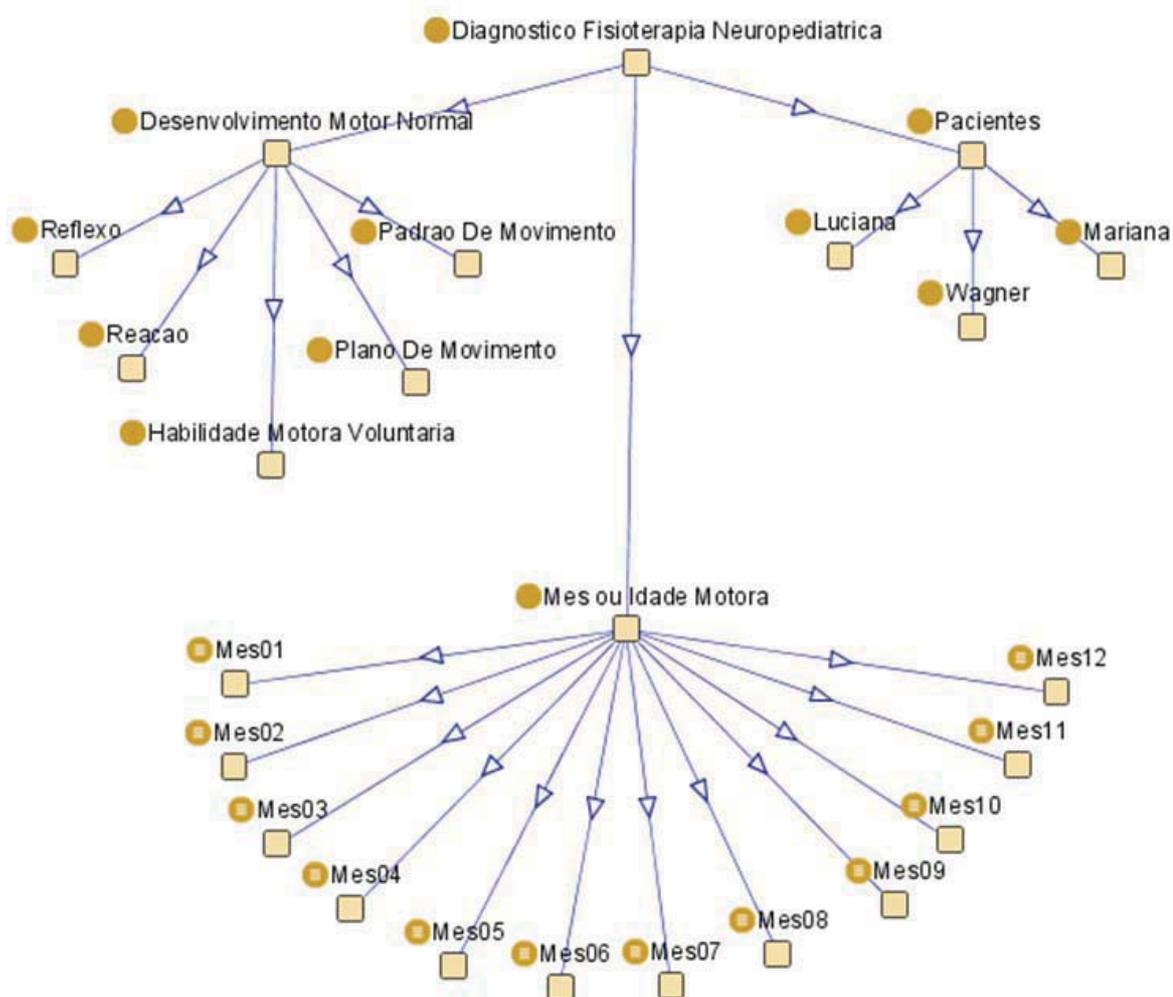


Figura 44: Visão com amplo detalhamento dos conceitos envolvidos no diagnóstico

### 5.3 INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DA ONTOLOGIA PARA ENSINO

Antes da demonstração aos alunos e profissionais da ontologia para o processo de ensino-aprendizagem do diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica desenvolveu-se um instrumento para a avaliação de seu potencial.

Para elaboração do questionário aplicado embasou-se no modelo utilizado por Castilho-Weinert e Lopes (2009) e criou-se as seguintes perguntas:

1. Durante a faculdade, o aprendizado sobre diagnóstico em neuropediatria foi difícil?
2. Durante a faculdade, o estudo sobre desenvolvimento motor normal através dos livros foi pouco interessante?

3. Você considera que o diagnóstico em neuropediatria, embasando-se no desenvolvimento motor normal e no conceito de idade motora é um conteúdo difícil de aprender?
4. Para a atuação profissional o conhecimento deste conteúdo é importante?
5. Comparando a representação do conteúdo nos livros com a representação na ontologia, pode-se afirmar que os livros têm uma representação melhor?
6. A utilização da ontologia para o estudo do diagnóstico em neuropediatria pode facilitar o aprendizado?
7. Na ontologia, fica clara a sequência de eventos envolvidos na determinação da idade motora?
8. Para você, o ambiente (interface) da ontologia é agradável?
9. A utilização da representação na ontologia exige raciocínio?
10. Você considera que a ontologia tem potencial para ser uma nova forma de contribuição ao processo de ensino-aprendizagem deste conteúdo?

Cada pergunta foi respondida de acordo com a Escala de Likert, conforme utilizado por Yokaichiya et al. (2004). As possibilidades de resposta foram as seguintes:

- CF = Concordo Fortemente (100%)
- C = Concordo (75%)
- I = Indeciso (50%)
- D = Discordo (25%)
- DF = Discordo Fortemente (0%)

Ao final do questionário deixou-se um espaço para a recepção de sugestões e opiniões pessoais dos participantes.

#### 5.4 CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA E DA APLICAÇÃO DOS QUESTIONÁRIOS

A amostra desta fase da pesquisa foi composta por 54 sujeitos. Destes, 27 eram fisioterapeutas, já graduados, alunos de um curso de Pós-graduação *Lato Sensu* em Neurologia com ênfase em Neuropediatria, e os outros 27 eram profissionais atuando em diferentes áreas da Fisioterapia, a maioria com experiência docente no ensino superior.

O procedimento de análise do potencial da ontologia como recurso didático-pedagógico voltado para o ensino do diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica iniciou-se com a obtenção das assinaturas no termo de consentimento livre e esclarecido. Elaborou-se um termo direcionado aos profissionais (Anexo IV) e outro termo direcionado aos alunos da pós-graduação (Anexo V), sempre em duas vias, uma para o pesquisador e outra para o voluntário da pesquisa.

Após a obtenção do termo de consentimento realizou-se a demonstração dos vários recursos didático-pedagógicos inseridos na ontologia para ensino, conforme descrito na Seção 5.2. E então solicitou-se aos participantes que preenchessem o questionário que possuía a formatação descrita na Seção 5.3.

## CAPÍTULO 6

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 6.1 PROCESSOS DE AQUISIÇÃO E REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

##### 6.1.1 Resultados

A proposta inicial deste trabalho foi realizar o processo de AC de especialistas e de representação deste conhecimento em uma ontologia através de processos metodológicos bem definidos (Capítulo 3). O grau de formalismo e organização dos procedimentos realizados permitiu o desenvolvimento de uma base de conhecimento que pode ser considerada completa e eficiente para se tornar a fonte do conhecimento necessário a um SE de apoio ao diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica, e, também, a um sistema de apoio ao aprendizado deste conteúdo.

A estruturação do conhecimento na forma de uma ontologia foi uma parte muito importante do trabalho, pois auxiliou a categorizar as informações coletadas em hierarquias de conceitos, compreender as relações existentes entre estes conceitos, e, como resultado, permitiu a definição completa destes conceitos através de suas restrições (axiomas descritivos).

Estes axiomas descritivos forneceram as informações necessárias para a elaboração de regras de produção e sistemas para inferência do diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica.

##### 6.1.2 Discussão

Neste trabalho realizou-se a AC de especialistas e de literaturas clássicas consideradas como referência no domínio, enquanto que a RC foi através de uma ontologia, utilizando processos metodológicos bem definidos, o que possibilitou a gestão eficiente do conhecimento na área da Fisioterapia Neuropediátrica.

Para o desenvolvimento da ontologia completa, assim como no processo de AC, primeiro definiu-se as classes de alto-nível. A partir disto, criou-se todas as demais sub-

classes, e esta estrutura hierárquica refletiu a organização e o conteúdo da ontologia do domínio de Fisioterapia Neuropediátrica.

A versão atual da ontologia possui aproximadamente 100 classes e sub-classes, 30 propriedades e 200 axiomas. Isto proporcionou a criação de um vocabulário vasto para o domínio, que possui conceitos com definições completas através de seus relacionamento e axiomas. A estruturação do conhecimento na forma de uma ontologia auxiliou a categorização das informações coletadas em hierarquias de conceitos, bem como a compreensão das relações existentes entre estes e, principalmente, permitiu a definição completa destes conceitos através de seus axiomas. Estes axiomas forneceram as informações necessárias para a elaboração de uma base de conhecimento. Obteve-se um conjunto de doze regras de produção, onde cada regra representava as características necessárias para a classificação em uma idade motora pertencente a um dos meses do DMN. Estas regras foram utilizadas para o desenvolvimento de 3 metodologias de inferência para apoio ao diagnóstico.

## 6.2 RESULTADOS OBTIDOS COM AS INFERÊNCIAS SOBRE DIAGNÓSTICOS

### 6.2.1 Resultados do sistema especialista *crisp*

O sistema especialista *crisp* foi implementado no *Shell Expert* SINTA, embasando-se no conjunto de regras de produção obtido através do algoritmo de classificação J48, da ferramenta WEKA. Cada regra representava as características mínimas necessárias para a classificação em um dos meses do DMN. Entretanto, como resultado do alto grau de formalismo utilizado no processo de AC e RC, a base de conhecimento da ontologia gerou regras simples que serviram apenas para a classificação de crianças normais em condições ideais de desenvolvimento motor. Pela escassez de informação utilizada nos antecedentes de cada regra, acredita-se que dificilmente uma destas regras seria eficiente na classificação de pacientes reais que possuam atraso no DMN.

Outra limitação existente no modelo inicialmente proposto se deve ao fato da metodologia de inferência aplicada sobre estas regras ter características *crisp*. Assim, um paciente era classificado em somente um dos meses do DMN, enquanto na realidade do diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica um paciente é geralmente classificado com uma idade motora que se encontra em mais de um mês do DMN.

Para que se compreenda estas limitações, pode-se tomar como exemplo um paciente real descrito por um especialista. Este paciente possuía como principais características de sua avaliação a presença do reflexo tônico cervical assimétrico com intensidade fraca, e o início das habilidades motoras voluntárias de preensão e rolar em bloco. O especialista classificou este paciente como pertinente parcialmente ao terceiro, ao quarto e ao quinto mês do DMN. Entretanto, o sistema “*crisp*” não conseguiu classificar este paciente porque o reflexo tônico cervical assimétrico fraco é uma característica que foi descrita na base de conhecimento como pertencente somente ao terceiro mês, o início da preensão ocorre no quarto mês e a habilidade motora rolar em bloco tem ocorrência na base de conhecimento somente a partir do quinto mês.

#### 6.2.2 Resultados da metodologia de inferência *fuzzy*

Durante a implementação de um sistema *fuzzy* na ferramenta MATLAB<sup>8</sup>, obteve-se como resultado um comportamento semelhante ao do SE *crisp*. Além do processo de *defuzzificação* apresentar uma saída única, diferente do diagnóstico esperado (em mais de um mês do DMN), percebeu-se a falta de conhecimento necessário para um processo de inferência mais completo e condizente com a realidade do problema.

Como este trabalho se embasou no processo de AC com especialistas, e estes utilizam o DMN para avaliar o paciente, então somente 12 regras (uma para cada mês do DMN) não foram suficientes para representar a diversidade de conhecimento necessário à inferência *fuzzy*.

#### 6.2.3 Resultados obtidos pelos modelos determinísticos de inferência

Os modelos determinísticos foram desenvolvidos através da implementação do cálculo da taxa de acerto, da distância Euclidiana e do coeficiente de correlação de Pearson na ferramenta *Microsoft Office Excel*. A Tabela 10 apresenta as características de idade motora, idade cronológica e diagnóstico clínico (médico) de cada paciente.

---

<sup>8</sup> <http://www.mathworks.com/>

Tabela 10: Características da amostra analisada

<b>Paciente</b>	<b>Idade cronológica</b>	<b>Idade motora predominante segundo o fisioterapeuta</b>	<b>Diagnóstico clínico determinado pelo médico da instituição</b>
1	1 ano e 4 meses	8 meses	Síndrome de Dandy-Walker
2	10 meses	4 meses	Paralisia cerebral devido à citomegalovírus
3	4 anos e 8 meses	12 meses	Paralisia cerebral com deficiência visual
4	5 meses	3 meses	Paralisia cerebral e Epilepsia
5	1 mês e 15 dias	2 meses	Asfixia neo-natal
6	3 anos e 5 meses	6 meses	Síndrome de Rett
7	1 ano e 8 meses	8 meses	Cranioestenose
8	7 meses	6 meses	Agnesia do corpo caloso
9	10 meses	6 meses	Atraso motor
10	2 anos e 7 meses	3 meses	Esquizencefalia, displasia cortical e disgenesia do corpo caloso
11	4 meses	3 meses	Toxoplasmose e lesão obstétrica do plexo braquial
12	3 anos e 10 meses	2 meses	Paralisia cerebral e hidrocefalia
13	3 anos e 11 meses	6 meses	Agnesia do corpo caloso
14	3 anos e 1 mês	1 mês	Síndrome de West
15	4 anos e 9 meses	4 meses	Hidrocefalia e atraso motor
16	2 anos e 4 meses	2 meses	Paralisia cerebral, microcefalia e epilepsia
17	6 meses	4 meses	Atraso motor
18	7 anos	5 meses	Paralisia cerebral
19	5 meses	4 meses	Atraso motor por parto prematuro
20	2 anos e 4 meses	2 meses	Paralisia cerebral e epilepsia
21	4 anos e 9 meses	11 meses	Esquizencefalia com deficiência visual
22	1 ano e 9 meses	2 meses	Síndrome de Reye
23	6 anos	11 meses	Paralisia cerebral por parto prematuro

Paciente	Idade cronológica	Idade motora predominante segundo o fisioterapeuta	Diagnóstico clínico determinado pelo médico da instituição
24	5 anos	2 meses	Paralisia cerebral por hipóxia perinatal
25	6 anos	5 meses	Paralisia cerebral
26	4 anos	2 meses	Síndrome de Wesr
27	3 anos	11 meses	Síndrome de Prader-Willi e agenesia do corpo caloso
28	7 anos	6 meses	Deficiência mental grave
29	5 anos	2 meses	Paralisia cerebral por menigitte
30	12 meses	7 meses	Atraso motor

A Tabela 11 apresenta os resultados obtidos com a aplicação de modelos determinísticos como suporte ao processo de diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica. Nesta tabela compara-se a classificação atribuída pelo fisioterapeuta (*Fis*) a cada paciente, com a classificação atribuída pelo sistema com as métricas taxa de acerto (*TX*), distância Euclidiana (*DE*) e coeficiente de Pearson (*r*). Destacou-se em vermelho os meses em que o fisioterapeuta classificou a idade motora de cada paciente (segundo a escala visual analógica representada na Figura 36), e em azul os meses em que o sistema classificou os pacientes.

Tabela 11: Resultados da aplicação de modelos determinísticos

<i>Paciente 1</i>												
	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
<i>Fis</i>							90%	90%	10%			
<i>TX</i>	6,25%	6,25%	46,67%	38,89%	63,64%	88,00%	82,14%	77,42%	71,88%	71,88%	69,70%	69,70%
<i>DE</i>	6,32	6,32	5,20	5,48	4,47	2,65	2,83	3,00	3,46	3,46	3,61	3,61
<i>r</i>	-0,18	-0,18	0,21	0,15	0,47	0,82	0,80	0,79	0,72	0,72	0,71	0,71
<i>Paciente 2</i>												
	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
<i>Fis</i>			50%	90%	25%							
<i>TX</i>	12,50%	18,75%	40,00%	44,44%	40,91%	32,00%	28,57%	29,03%	25,00%	25,00%	24,24%	24,24%
<i>DE</i>	5,66	5,48	4,80	4,69	4,90	5,39	5,66	5,74	6,00	6,00	6,08	6,08
<i>r</i>	-0,07	0,00	0,22	0,30	0,29	0,19	0,15	0,17	0,10	0,10	0,09	0,09

<i>Paciente 3</i>												
	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
<i>Fis</i>												<b>100%</b>
<i>TX</i>	6,25%	6,25%	46,67%	38,89%	68,18%	88,00%	85,71%	93,55%	93,75%	96,88%	<b>96,97%</b>	<b>100,00%</b>
<i>DE</i>	6,86	6,86	5,83	6,08	5,00	3,74	3,61	2,45	2,24	1,73	<b>1,41</b>	<b>0,00</b>
<i>r</i>	-0,23	-0,23	0,14	0,08	0,41	0,68	0,71	0,87	0,89	0,93	<b>0,96</b>	<b>1,00</b>
<i>Paciente 4</i>												
	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
<i>Fis</i>		<b>75%</b>	<b>50%</b>	<b>20%</b>								
<i>TX</i>	12,50%	<b>37,50%</b>	<b>46,67%</b>	<b>38,89%</b>	27,27%	24,00%	21,43%	16,13%	15,63%	15,63%	15,15%	15,15%
<i>DE</i>	4,80	<b>3,87</b>	<b>3,46</b>	<b>3,87</b>	4,58	4,90	5,20	5,66	5,74	5,74	5,83	5,83
<i>r</i>	0,03	<b>0,37</b>	<b>0,48</b>	<b>0,42</b>	0,28	0,25	0,22	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11
<i>Paciente 5</i>												
	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
<i>Fis</i>	<b>100%</b>	<b>40%</b>	<b>10%</b>									
<i>TX</i>	<b>12,50%</b>	<b>18,75%</b>	<b>13,33%</b>	5,56%	4,55%	4,00%	3,57%	6,45%	3,13%	3,13%	3,03%	3,03%
<i>DE</i>	<b>4,58</b>	<b>4,36</b>	<b>4,47</b>	5,00	5,39	5,66	5,92	6,00	6,24	6,24	6,32	6,32
<i>r</i>	<b>0,06</b>	<b>0,16</b>	<b>0,07</b>	-0,05	-0,07	-0,09	-0,11	-0,05	-0,13	-0,13	-0,13	-0,13
<i>Paciente 6</i>												
	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
<i>Fis</i>					<b>40%</b>	<b>50%</b>	<b>30%</b>					
<i>TX</i>	6,25%	6,25%	40,00%	38,89%	<b>59,09%</b>	<b>68,00%</b>	<b>64,29%</b>	61,29%	56,25%	56,25%	54,55%	54,55%
<i>DE</i>	6,16	6,16	5,20	5,29	<b>4,47</b>	<b>3,87</b>	<b>4,00</b>	4,12	4,47	4,47	4,58	4,58
<i>r</i>	-0,17	-0,17	0,17	0,18	<b>0,45</b>	<b>0,60</b>	<b>0,60</b>	0,59	0,53	0,53	0,51	0,51
<i>Paciente 7</i>												
	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
<i>Fis</i>							<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>20%</b>			
<i>TX</i>	6,25%	6,25%	46,67%	38,89%	68,18%	<b>88,00%</b>	<b>89,29%</b>	<b>83,87%</b>	87,50%	81,25%	78,79%	78,79%
<i>DE</i>	6,56	6,56	5,48	5,74	4,58	3,16	2,65	<b>2,83</b>	<b>2,24</b>	<b>3,00</b>	3,16	3,16
<i>r</i>	-0,20	-0,20	0,18	0,12	0,47	0,76	0,83	<b>0,81</b>	<b>0,89</b>	<b>0,79</b>	0,78	0,78
<i>Paciente 8</i>												
	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
<i>Fis</i>					<b>25%</b>	<b>70%</b>	<b>40%</b>					
<i>TX</i>	6,25%	6,25%	46,67%	38,89%	<b>50,00%</b>	<b>56,00%</b>	<b>50,00%</b>	51,61%	50,00%	46,88%	45,45%	45,45%
<i>DE</i>	5,83	5,83	4,58	4,90	<b>4,47</b>	<b>4,12</b>	<b>4,47</b>	4,36	4,47	4,69	4,80	4,80
<i>r</i>	-0,14	-0,14	0,29	0,23	<b>0,41</b>	<b>0,53</b>	<b>0,48</b>	<b>0,54</b>	<b>0,52</b>	0,47	0,46	0,46

<i>Paciente 9</i>												
	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
<i>Fis</i>					<b>75%</b>	<b>70%</b>	<b>30%</b>					
<i>TX</i>	6,25%	6,25%	46,67%	38,89%	<b>63,64%</b>	<b>80,00%</b>	<b>67,86%</b>	64,52%	65,63%	62,50%	60,61%	60,61%
<i>DE</i>	6,16	6,16	5,00	5,29	<b>4,24</b>	<b>3,00</b>	<b>3,74</b>	3,87	3,74	4,00	4,12	4,12
<i>r</i>	-0,17	-0,17	0,23	0,18	<b>0,50</b>	<b>0,76</b>	<b>0,65</b>	0,64	0,68	0,63	0,61	0,61
<i>Paciente 10</i>												
	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
<i>Fis</i>		<b>100%</b>	<b>70%</b>	<b>30%</b>								
<i>TX</i>	18,75%	18,75%	<b>33,33%</b>	<b>33,33%</b>	<b>31,82%</b>	24,00%	21,43%	16,13%	15,63%	15,63%	15,15%	15,15%
<i>DE</i>	4,80	<b>4,80</b>	<b>4,24</b>	<b>4,36</b>	4,58	5,10	5,39	5,83	5,92	5,92	6,00	6,00
<i>r</i>	0,08	0,08	0,26	<b>0,29</b>	<b>0,31</b>	<b>0,20</b>	0,17	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06
<i>Paciente 11</i>												
	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
<i>Fis</i>		<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>65%</b>								
<i>TX</i>	18,75%	<b>25,00%</b>	<b>66,67%</b>	<b>61,11%</b>	45,45%	36,00%	32,14%	25,81%	25,00%	25,00%	24,24%	24,24%
<i>DE</i>	4,80	<b>4,58</b>	<b>2,83</b>	<b>3,00</b>	3,87	4,47	4,80	5,29	5,39	5,39	5,48	5,48
<i>r</i>	0,08	<b>0,16</b>	<b>0,67</b>	<b>0,67</b>	0,52	0,40	0,36	0,27	0,26	0,26	0,25	0,25
<i>Paciente 12</i>												
	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
<i>Fis</i>	<b>25%</b>	<b>25%</b>										
<i>TX</i>	<b>18,75%</b>	<b>6,25%</b>	6,67%	0,00%	4,55%	4,00%	3,57%	3,23%	3,13%	3,13%	3,03%	3,03%
<i>DE</i>	<b>3,87</b>	<b>4,36</b>	4,24	4,80	5,00	5,29	5,57	5,83	5,92	5,92	6,00	6,00
<i>r</i>	<b>0,28</b>	<b>0,03</b>	0,04	-0,10	0,00	-0,02	-0,03	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05
<i>Paciente 13</i>												
	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
<i>Fis</i>					<b>75%</b>	<b>70%</b>	<b>40%</b>					
<i>TX</i>	12,50%	18,75%	46,67%	44,44%	<b>68,18%</b>	<b>72,00%</b>	<b>67,86%</b>	61,29%	59,38%	59,38%	57,58%	57,58%
<i>DE</i>	5,92	5,74	4,90	5,00	<b>3,87</b>	<b>3,46</b>	<b>3,61</b>	4,00	4,12	4,12	4,24	4,24
<i>r</i>	-0,09	-0,03	0,25	0,25	<b>0,58</b>	<b>0,68</b>	<b>0,67</b>	0,62	0,60	0,60	0,59	0,59
<i>Paciente 14</i>												
	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
<i>Fis</i>	<b>40%</b>	<b>10%</b>										
<i>TX</i>	<b>31,25%</b>	<b>31,25%</b>	13,33%	16,67%	18,18%	12,00%	10,71%	6,45%	6,25%	6,25%	6,06%	6,06%
<i>DE</i>	<b>3,74</b>	<b>3,74</b>	4,36	4,47	4,69	5,20	5,48	5,92	6,00	6,00	6,08	6,08
<i>r</i>	<b>0,38</b>	<b>0,38</b>	0,09	0,16	0,21	0,09	0,07	-0,03	-0,03	-0,03	-0,04	-0,04

**Paciente 15**

	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
<b>Fis</b>			<b>40%</b>	<b>60%</b>	<b>25%</b>							
<b>TX</b>	12,50%	12,50%	33,33%	<b>33,33%</b>	<b>54,55%</b>	<b>48,00%</b>	42,86%	41,94%	43,75%	40,63%	39,39%	39,39%
<b>DE</b>	5,57	5,57	4,90	<b>5,00</b>	<b>4,12</b>	<b>4,47</b>	4,80	4,90	4,80	5,00	5,10	5,10
<b>r</b>	-0,06	-0,06	0,16	<b>0,18</b>	<b>0,49</b>	<b>0,44</b>	0,39	0,40	0,44	0,39	0,38	0,38

**Paciente 16**

	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
<b>Fis</b>	<b>10%</b>	<b>10%</b>										
<b>TX</b>	<b>12,50%</b>	<b>6,25%</b>	6,67%	5,56%	9,09%	8,00%	7,14%	6,45%	6,25%	6,25%	6,06%	6,06%
<b>DE</b>	<b>4,24</b>	<b>4,47</b>	4,36	4,69	4,90	5,20	5,48	5,74	5,83	5,83	5,92	5,92
<b>r</b>	<b>0,12</b>	<b>0,01</b>	0,02	0,00	0,08	0,06	0,04	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01

**Paciente 17**

	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
<b>Fis</b>			<b>100%</b>	<b>60%</b>	<b>25%</b>							
<b>TX</b>	12,50%	18,75%	<b>40,00%</b>	<b>44,44%</b>	<b>31,82%</b>	24,00%	21,43%	22,58%	18,75%	18,75%	18,18%	18,18%
<b>DE</b>	5,20	5,00	<b>4,24</b>	<b>4,12</b>	<b>4,80</b>	5,29	5,57	5,66	5,92	5,92	6,00	6,00
<b>r</b>	-0,02	0,06	<b>0,30</b>	<b>0,39</b>	<b>0,26</b>	0,16	0,13	0,16	0,09	0,09	0,08	0,08

**Paciente 18**

	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
<b>Fis</b>				<b>100%</b>	<b>20%</b>	<b>30%</b>						
<b>TX</b>	12,50%	18,75%	40,00%	<b>44,44%</b>	<b>45,45%</b>	<b>36,00%</b>	32,14%	29,03%	28,13%	28,13%	27,27%	27,27%
<b>DE</b>	5,39	5,20	4,47	<b>4,36</b>	<b>4,36</b>	<b>4,90</b>	5,20	5,48	5,57	5,57	5,66	5,66
<b>r</b>	-0,04	0,03	0,27	<b>0,35</b>	<b>0,41</b>	<b>0,30</b>	0,26	0,23	0,22	0,22	0,21	0,21

**Paciente 19**

	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
<b>Fis</b>			<b>80%</b>	<b>50%</b>	<b>20%</b>							
<b>TX</b>	12,50%	18,75%	<b>33,33%</b>	<b>33,33%</b>	<b>27,27%</b>	20,00%	17,86%	19,35%	15,63%	15,63%	15,15%	15,15%
<b>DE</b>	5,20	<b>5,00</b>	<b>4,47</b>	<b>4,58</b>	5,00	5,48	5,74	5,83	6,08	6,08	6,16	6,16
<b>r</b>	-0,02	0,06	<b>0,22</b>	<b>0,25</b>	<b>0,19</b>	0,09	0,06	0,10	0,03	0,03	0,02	0,02

**Paciente 20**

	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
<b>Fis</b>	<b>20%</b>	<b>25%</b>	<b>10%</b>									
<b>TX</b>	<b>12,50%</b>	<b>12,50%</b>	<b>6,67%</b>	5,56%	9,09%	8,00%	7,14%	6,45%	6,25%	6,25%	6,06%	6,06%
<b>DE</b>	<b>3,87</b>	<b>3,87</b>	<b>4,00</b>	4,36	4,58	4,90	5,20	5,48	5,57	5,57	5,66	5,66
<b>r</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>	<b>0,09</b>	0,07	0,19	0,17	0,16	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13

**Paciente 21**

	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
<b>Fis</b>										<b>80%</b>	<b>80%</b>	<b>30%</b>
<b>TX</b>	6,25%	6,25%	40,00%	33,33%	63,64%	84,00%	85,71%	87,10%	84,38%	<b>87,50%</b>	<b>90,91%</b>	<b>87,88%</b>
<b>DE</b>	6,71	6,71	5,83	6,08	5,00	3,74	3,32	2,83	3,00	<b>2,65</b>	<b>2,00</b>	<b>2,45</b>
<b>r</b>	-0,21	-0,21	0,10	0,04	0,39	0,67	0,74	0,82	0,80	<b>0,84</b>	<b>0,91</b>	<b>0,87</b>

**Paciente 22**

	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
<b>Fis</b>	<b>50%</b>	<b>25%</b>	<b>10%</b>									
<b>TX</b>	<b>18,75%</b>	<b>25,00%</b>	<b>6,67%</b>	5,56%	9,09%	8,00%	7,14%	9,68%	6,25%	6,25%	6,06%	6,06%
<b>DE</b>	<b>4,36</b>	<b>4,12</b>	<b>4,69</b>	5,00	5,20	5,48	5,74	5,83	6,08	6,08	6,16	6,16
<b>r</b>	<b>0,16</b>	<b>0,25</b>	<b>-0,03</b>	-0,05	0,01	-0,01	-0,03	0,03	-0,05	-0,05	-0,06	-0,06

**Paciente 23**

	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
<b>Fis</b>										<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>80%</b>
<b>TX</b>	6,25%	6,25%	46,67%	38,89%	68,18%	88,00%	85,71%	93,55%	93,75%	<b>96,88%</b>	<b>100,00%</b>	<b>96,97%</b>
<b>DE</b>	6,86	6,86	5,83	6,08	5,00	3,74	3,61	2,45	2,24	<b>1,73</b>	<b>0,00</b>	<b>1,41</b>
<b>r</b>	-0,23	-0,23	0,14	0,08	0,41	0,68	0,71	0,87	0,89	<b>0,93</b>	<b>1,00</b>	<b>0,96</b>

**Paciente 24**

	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
<b>Fis</b>	<b>50%</b>	<b>70%</b>	<b>50%</b>									
<b>TX</b>	<b>25,00%</b>	<b>43,75%</b>	<b>33,33%</b>	27,78%	18,18%	16,00%	14,29%	9,68%	9,38%	9,38%	9,09%	9,09%
<b>DE</b>	<b>4,47</b>	<b>3,74</b>	<b>4,12</b>	4,47	5,10	5,39	5,66	6,08	6,16	6,16	6,24	6,24
<b>r</b>	<b>0,18</b>	<b>0,43</b>	<b>0,28</b>	0,23	0,11	0,08	0,06	-0,03	-0,04	-0,04	-0,05	-0,05

**Paciente 25**

	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
<b>Fis</b>				<b>80%</b>	<b>50%</b>	<b>30%</b>						
<b>TX</b>	12,50%	12,50%	46,67%	<b>44,44%</b>	<b>54,55%</b>	<b>52,00%</b>	39,29%	32,26%	31,25%	31,25%	30,30%	30,30%
<b>DE</b>	5,20	5,20	4,00	<b>4,12</b>	<b>3,61</b>	<b>3,74</b>	4,58	5,10	5,20	5,20	5,29	5,29
<b>r</b>	-0,02	-0,02	0,38	0,39	<b>0,59</b>	<b>0,60</b>	<b>0,43</b>	0,33	0,32	0,32	0,31	0,31

**Paciente 26**

	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
<b>Fis</b>	<b>70%</b>	<b>80%</b>	<b>30%</b>									
<b>TX</b>	<b>25,00%</b>	<b>50,00%</b>	<b>26,67%</b>	22,22%	13,64%	12,00%	10,71%	6,45%	6,25%	6,25%	6,06%	6,06%
<b>DE</b>	<b>4,69</b>	<b>3,74</b>	<b>4,58</b>	4,90	5,48	5,74	6,00	6,40	6,48	6,48	6,56	6,56
<b>r</b>	<b>0,15</b>	<b>0,46</b>	<b>0,16</b>	0,12	0,01	-0,02	-0,04	-0,13	-0,14	-0,14	-0,14	-0,14

**Paciente 27**

	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
<b>Fis</b>										<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>80%</b>
<b>TX</b>	12,50%	12,50%	53,33%	44,44%	68,18%	88,00%	85,71%	93,55%	96,88%	<b>96,88%</b>	<b>100,00%</b>	<b>96,97%</b>
<b>DE</b>	6,86	6,86	5,83	6,08	5,20	4,00	3,87	2,83	2,24	<b>2,24</b>	<b>1,41</b>	<b>2,00</b>
<b>r</b>	-0,18	-0,18	0,18	0,11	0,38	0,65	0,67	0,83	0,89	<b>0,89</b>	<b>0,96</b>	<b>0,91</b>

**Paciente 28**

	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
<b>Fis</b>					<b>80%</b>	<b>80%</b>	<b>50%</b>					
<b>TX</b>	6,25%	6,25%	46,67%	44,44%	<b>68,18%</b>	<b>76,00%</b>	<b>67,86%</b>	67,74%	62,50%	62,50%	60,61%	60,61%
<b>DE</b>	6,08	6,08	4,90	5,00	<b>3,87</b>	<b>3,16</b>	<b>3,61</b>	3,46	3,87	3,87	4,00	4,00
<b>r</b>	-0,16	-0,16	0,25	0,25	<b>0,58</b>	<b>0,73</b>	<b>0,67</b>	0,72	0,65	0,65	0,63	0,63

**Paciente 29**

	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
<b>Fis</b>	<b>30%</b>	<b>40%</b>	<b>20%</b>									
<b>TX</b>	<b>18,75%</b>	<b>43,75%</b>	<b>20,00%</b>	16,67%	9,09%	8,00%	7,14%	3,23%	3,13%	3,13%	3,03%	3,03%
<b>DE</b>	<b>4,24</b>	<b>3,16</b>	<b>4,12</b>	4,47	5,10	5,39	5,66	6,08	6,16	6,16	6,24	6,24
<b>r</b>	<b>0,18</b>	<b>0,58</b>	<b>0,19</b>	0,16	0,03	0,01	-0,01	-0,11	-0,11	-0,11	-0,11	-0,11

**Paciente 30**

	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
<b>Fis</b>						<b>80%</b>	<b>90%</b>	<b>70%</b>				
<b>TX</b>	6,25%	6,25%	46,67%	38,89%	68,18%	<b>88,00%</b>	<b>92,86%</b>	<b>83,87%</b>	78,13%	81,25%	78,79%	78,79%
<b>DE</b>	6,56	6,56	5,48	5,74	4,58	<b>3,16</b>	<b>2,24</b>	<b>2,83</b>	3,32	3,00	3,16	3,16
<b>r</b>	-0,20	-0,20	0,18	0,12	0,47	<b>0,76</b>	<b>0,88</b>	<b>0,81</b>	0,75	0,79	0,78	0,78

O gráfico representado na Figura 45 apresenta os dados referentes à eficiência das métricas utilizadas quando comparadas com o diagnóstico fornecido pelo fisioterapeuta.

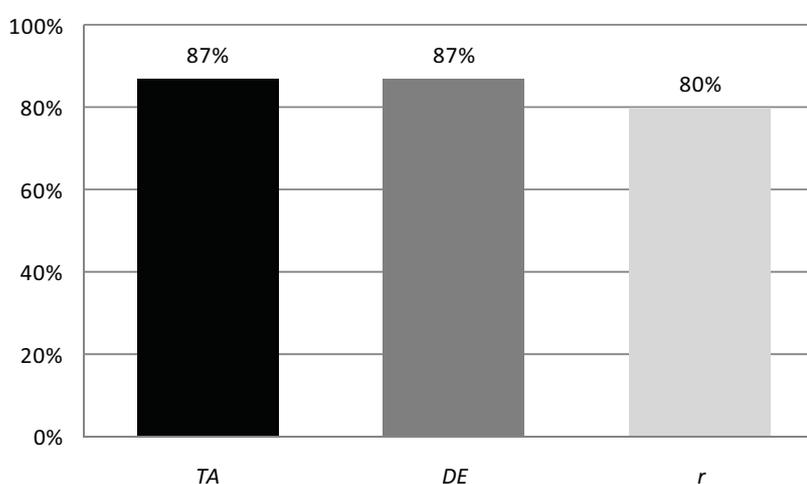


Figura 45: Eficiência das métricas para diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica

#### 6.2.4 Discussão sobre as abordagens de inferência

A principal restrição do modelo *crisp* residiu no fato de não ser possível classificar um paciente em mais de um mês do DMN. Assim, ficou clara a necessidade de se desenvolver um sistema de apoio ao diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica que conseguisse tratar a possibilidade de um paciente pertencer, ao mesmo tempo, a mais de um dos meses do DMN. Optou-se por utilizar um sistema *fuzzy* como metodologia para o tratamento das informações, pois nestes sistemas as informações imprecisas ou incompletas poderiam ser tratadas.

Novamente encontrou-se limitações no modelo *fuzzy* pois, além de apresentar uma saída única (classificação em um só mês do DMN), percebeu-se a falta de conhecimento necessário a um processo de inferência mais completo e condizente com a realidade do problema. Para contornar este problema, considera-se necessário obter, com o processo de AC, um maior número de exemplos. Desta forma, discute-se uma contribuição deste trabalho para a área da Fisioterapia como ciência, questionando-se a possibilidade de não se embasar no DMN para estabelecer a idade motora de um paciente com atraso ou patologias. Talvez fosse viável criar padrões diversos de anormalidade, através de um grande número de casos reais, conjugando a pertinência de cada caso a diferentes meses de idade motora, com diferentes percentuais de relação. Porém, encontra-se o problema de como obter um conjunto de treinamento com grande número de casos de pacientes, fidedigno o suficiente, uma vez que os profissionais que fazem parte importante do processo de AC não estão habituados a este tipo de análise. Os fisioterapeutas não avaliam sob o ponto de vista quantitativo, fato que se tornou evidente durante a análise dos resultados obtidos com os modelos determinísticos.

Os modelos determinísticos apresentaram grande afinidade com a opinião do especialista, na tarefa de estabelecer diagnósticos quantitativos de forma semelhante, pois a divergência das métricas foi em apenas 10% dos casos (3 casos), quando comparadas ao diagnóstico estabelecido pelo fisioterapeuta. Considerando-se a análise de cada métrica individualmente, o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) indicou resposta diferente daquela fornecida pelo fisioterapeuta em 6 casos (20%). Analogamente a distância Euclidiana ( $DE$ ) e a taxa de acerto ( $TX$ ) indicaram resposta diferente em 4 casos (13%). O gráfico apresentado na Figura 45 demonstrou o acerto obtido com a aplicação de todas as métricas, e revelou que as métricas com melhor desempenho foram a taxa de acerto e a distância Euclidiana.

Nos casos dos pacientes 1, 7, 10, 15 e 25 pelo menos uma das métricas não apontaram para a mesma solução proposta pelo fisioterapeuta. Entende-se que nos casos 1 e 7 isto pode ser explicado pela severidade do acometimento causado pelo diagnóstico clínico (Tabela 10),

o que faz com que a criança tenha características distintas em diferentes meses do DMN. Para o caso 15, há uma ampla defasagem entre as idades cronológica e motora predominante. E, se sabe que uma criança mais velha pode ter encurtamentos musculares que causem prejuízos motores significativos, impedindo a execução dos itens que se considera para o estabelecimento do diagnóstico fisioterapêutico. Nos casos 10 e 25 acredita-se que ambos os fatores dificultaram o cálculo do diagnóstico, tanto a severidade do diagnóstico clínico, quanto a ampla defasagem entre as idades cronológica e motora predominante.

No caso 19, não se encontrou até o momento uma justificativa plausível para a divergência da distância Euclidiana. No entanto, sabe-se que existem sempre várias condições de contorno a serem consideradas no momento do diagnóstico, tais como: a utilização de medicamentos que contribuam para a sedação do SNC, a idade motora muito inferior em relação à cronológica, a severidade do diagnóstico clínico (médico) e, principalmente, a subjetividade com que o fisioterapeuta analisa cada paciente.

A observação da Tabela 11 revela que a abordagem determinística possui capacidade de apontar como idade motora os mesmos meses determinados pelo fisioterapeuta em seu diagnóstico. Entretanto, há divergência no percentual de pertinência a cada mês. Isto corrobora com a validade de se desenvolver sistemas com capacidade de quantificação do diagnóstico, pois revela o fato de que o especialista conhece muito bem o diagnóstico do ponto de vista qualitativo (sabe eleger os meses da idade motora do paciente). Porém ele encontra muitas dificuldades ao tentar realizar uma análise quantitativa, ou seja, estabelecer um percentual de quantificação para a pertinência a cada mês.

Salienta-se que os resultados obtidos foram muito satisfatórios, uma vez que o percentual de divergência das métricas pode ser considerado baixo. Também se ressalta que os dados dos pacientes foram fornecidos por uma fisioterapeuta que não teve contato com os processos de AC e RC, e que também não possui formação pelo Conceito Neuroevolutivo Bobath. Desta forma, considera-se que esta profissional não recebeu influência no momento de estabelecer e quantificar os diagnósticos utilizados para validar a abordagem determinística proposta nesta tese.

Finalmente, é necessário discorrer sobre uma questão importante para o escopo deste trabalho. Na Fisioterapia Neuropediátrica, assim como em outras áreas, há diferentes escolas de pensamento ou abordagens que podem ser seguidas durante a prática profissional. Este trabalho embasou-se nos princípios da escola Bobatiana (Seção 3.1.2), cujas abordagens de diagnóstico e tratamento encontram-se em constante evolução. No recente reconhecimento da importância da Teoria dos Sistemas Dinâmicos (GONÇALVES, GONÇALVES e PEROTTI

JUNIOR, 1995; CONNOLLY, 2000; SHUMWAY-COOK e WOOLLACOTT, 2007), que considera a influência do ambiente e da família nos processos de estimulação e reabilitação da criança, o Conceito Neuroevolutivo Bobath ampliou ainda mais a qualidade de suas bases teóricas. A Teoria dos Sistemas Dinâmicos enfatiza que o ato motor voluntário depende diretamente de uma tarefa correta e de um ambiente favorável à sua ocorrência, e tudo isto pode ser promovido pela atuação familiar. Para Finnie (2000) é fundamental explorar o papel dos pais no tratamento de seu filho, em parceria harmoniosa com os profissionais envolvidos.

A necessidade da adesão familiar ao programa de tratamento corrobora com a necessidade de sistemas para quantificação da melhora dos pacientes. Uma vez que a família consiga perceber de forma quantitativa a melhora de um de seus membros, ela se tornará cada vez mais empenhada e colaborativa. Na realidade atual, como a evolução dos pacientes submetidos à Fisioterapia Neuropediátrica é lenta e composta por pequenas mudanças, muitas vezes observáveis somente pelo profissional e de maneira qualitativa, a família pode se tornar desmotivada pela ausência de mensurações objetivas. Assim, um sistema que quantifique as evoluções do paciente pode colaborar para que a família siga as orientações do profissional fisioterapeuta e dê continuidade ao programa de reabilitação em casa. Além da importância no encorajamento da família para que participe e auxilie no tratamento da criança, a existência de sistemas de apoio ao diagnóstico e a sua quantificação também estimula o profissional. Para o fisioterapeuta extremamente gratificante ver comprovada a eficiência de sua intervenção, de forma sistemática e objetiva. Desta maneira, este profissional poderá difundir mais facilmente os resultados de seu trabalho não apenas para a família, mas também para o restante da equipe multidisciplinar e para a comunidade científica.

## 6.3 METODOLOGIA BASEADA EM ONTOLOGIAS PARA ENSINO

### 6.3.1 Resultados

Na Tabela 12 apresenta-se o perfil dos profissionais e dos alunos de pós-graduação que participaram como voluntários da pesquisa.

Tabela 12: Perfil dos entrevistados

		<b>Profissionais</b>	<b>Alunos</b>
<b>Área de graduação</b>	Fisioterapia	27	27
<b>Tempo médio de formado</b>	em anos	9,4	2,8
<b>Titulação</b>	graduação	03	17
	especialização	10	10
	mestrado	12	00
	doutorado	02	00
<b>Atuação como docente</b>	sim	22	00
	não	05	27

Os resultados obtidos com os questionários para análise do potencial da ontologia para ensino-aprendizagem (Seção 5.3) estão representados no gráfico da Figura 46, cuja amostra era composta por profissionais e no gráfico da Figura 47, cuja amostra era composta por alunos. A interpretação das respostas ocorre de acordo com a Escala de Likert (Seção 5.3)

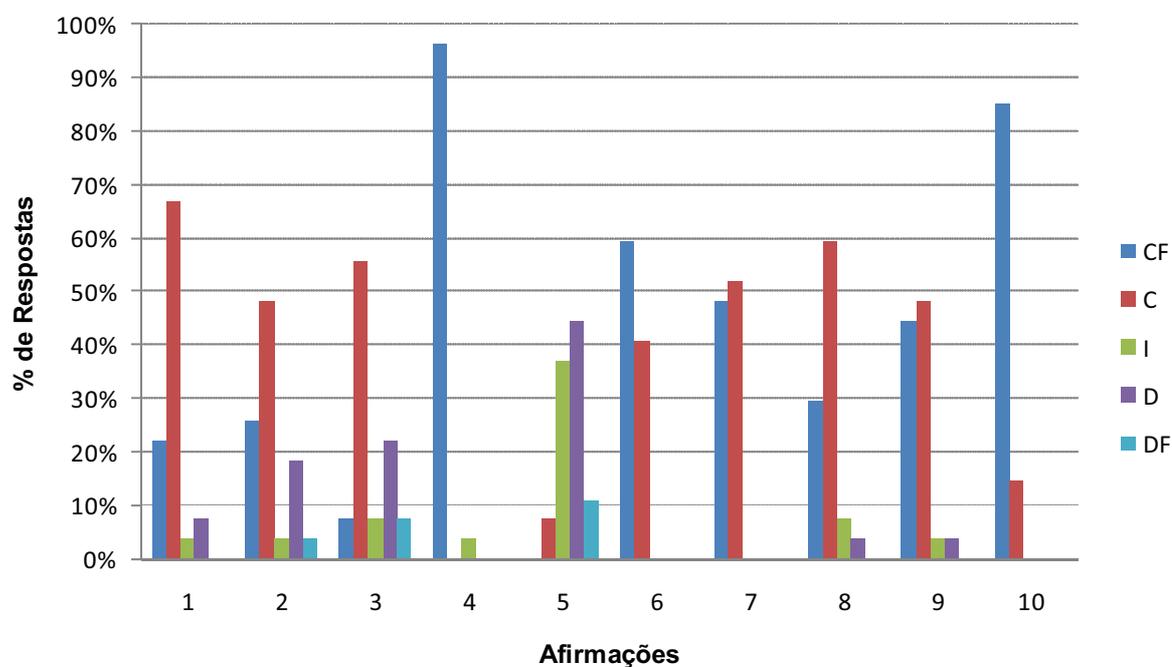


Figura 46: Resultados obtidos com os questionários aplicados aos profissionais

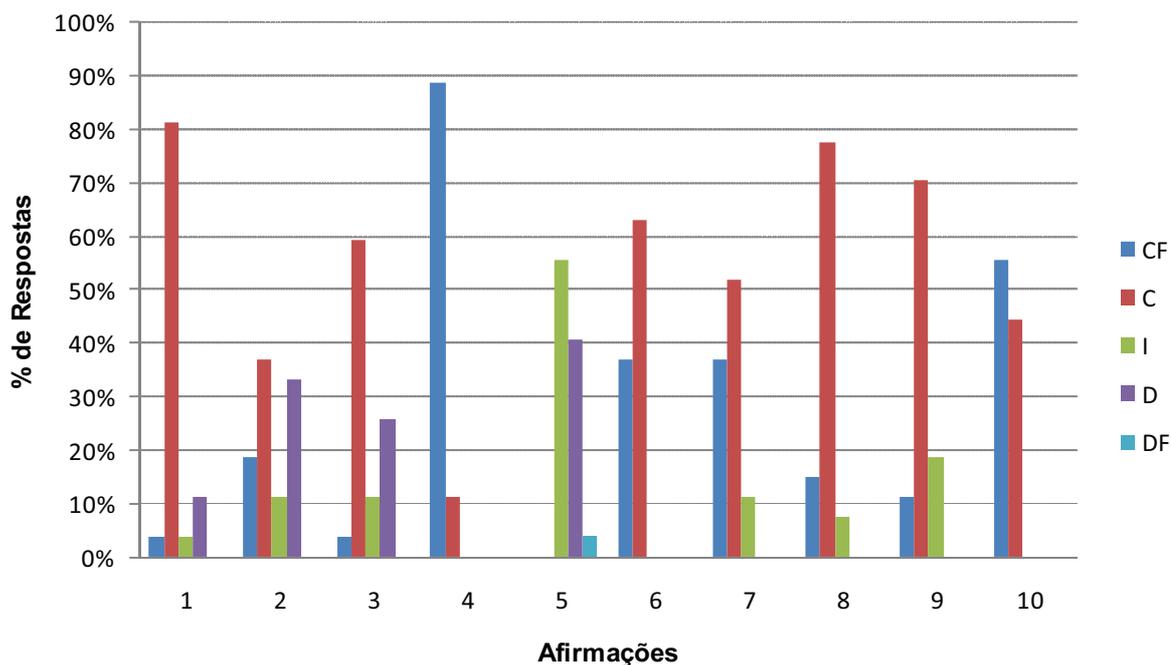


Figura 47: Resultados obtidos com os questionários aplicados aos alunos

### 6.3.2 Discussão

O desenvolvimento de uma ontologia para facilitar o processo de ensino-aprendizagem dos conteúdos sobre diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica se embasa tanto na dificuldade dos alunos em assimilar a presença ou ausência de um grande número de características em cada uma das idades motoras, quanto no fato de que não basta ao aluno conhecer os nomes e os meses de ocorrência das características do DMN. Para realizar um diagnóstico ele também precisa saber como testar e avaliar cada uma destas características. Há ainda a dificuldade encontrada em se conseguir estabelecer um raciocínio sobre como estas informações podem ser utilizadas de maneira lógica e sequencial até que se estabeleça um diagnóstico.

Um dos principais componentes do desenvolvimento da inteligência no ser humano é categorizar ou classificar (PIAGET, 1970). Assim, entende-se que a estrutura e a organização de uma ontologia através de hierarquias de conceitos e relacionamentos possa facilitar o processo de ensino-aprendizagem do diagnóstico, um conteúdo tão importante à atuação do profissional da área da saúde.

A ontologia para ensino-aprendizagem pode ser classificada como um recurso multimídia, pois permite a inserção de várias mídias, tais como: textos, fotos, figuras e vídeos. Seu desenvolvimento foi direcionado ao aluno (aprendiz) segundo as recentes tendências pedagógicas, onde o foco do processo de ensino-aprendizagem é o aluno, que passa a se tornar muito mais responsável pelo sucesso do aprendizado (BEHRENS, 1999). Desta forma, um recurso facilitador do aprendizado deve promover um processo interativo, autônomo e centrado no usuário.

O foco principal do desenvolvimento da ontologia para ensino-aprendizagem foi desenvolver um recurso cujo potencial de facilitação do aprendizado se comprovasse ao menos igual ao dos livros. Idealizou-se a ontologia como um material de apoio, a ser utilizado pelos alunos, em conjunto com os livros, fora de sala de aula, sem o intuito de substituir as aulas teóricas e práticas, e jamais subestimando o papel imprescindível do professor. Os resultados apresentados na Figura 46 e na Figura 47 indicam que a ontologia pode ser superior aos livros na facilitação do processo de aprendizagem.

Para Wilkinson (2007) a utilização de ontologias para o ensino permite que os estudantes não sejam forçados a seguir caminhos sequenciais durante seu estudo, pois é possível começar em qualquer local e seguir os relacionamentos em qualquer ordem, de acordo com o interesse individual. Segundo Wilson (2004), além disso, uma ontologia com fins educacionais pode permitir a consulta a arquivos na Internet, o compartilhamento e o reuso do conhecimento e até mesmo fornecer suporte personalizado e inteligente para aprendizes à distância. Porém, sabe-se que seria necessário adaptar o aluno ao ambiente de aprendizado proporcionado pela ontologia.

Através dos questionários desenvolvidos, conforme descrito na Seção 5.3, verificou-se o potencial da ontologia como uma multimídia que fornece noções globais, hierárquicas e de classificação, exigindo raciocínio e estudo. Aplicou-se estes questionários a profissionais e alunos de pós-graduação. A avaliação com profissionais objetivou coletar a opinião de fisioterapeutas experientes, que tinham em média 9 anos e meio de formados, a maioria docentes, e com ampla vivência acadêmica (a maioria mestres e doutores). A avaliação da ontologia pelos alunos teve a função de obter a opinião do aprendiz, porém estes já eram alunos de pós-graduação em Fisioterapia Neuropediátrica, tinham conhecimento prévio sobre o assunto e, portanto, tinham discernimento para julgar se a ontologia pode ser considerada uma ferramenta didática de apoio ao estudo do diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica.

Neste questionário planejou-se cada pergunta com um objetivo específico. As perguntas 1, 2 e 3 visavam verificar a necessidade de material adicional além das aulas e dos

livros. Esta hipótese foi confirmada, pois a maioria dos entrevistados, tanto dos alunos, quanto dos profissionais indicaram que concordavam com as dificuldades de aprendizado do conteúdo e indicaram como resposta a alternativa “Concordo – 75%”.

A pergunta 4 buscava verificar a relevância prática (para o profissional) deste conteúdo. Também comprovou-se esta hipótese, pois a maioria respondeu a alternativa “Concordo Fortemente – 100%”.

A pergunta 5 pode ser considerada com uma das mais importantes por ter dois objetivos. O primeiro objetivo consistiu em analisar se a facilitação da aprendizagem pelos livros era superior que àquela realizada pela ontologia. Nesta pergunta, os resultados foram bastante satisfatórios. A maioria dos alunos indicou a alternativa “Indeciso – 0%”, revelando que a ontologia pode ser considerada tão eficiente quanto os livros. A maioria dos profissionais indicou a alternativa “Discordo – 25%”, considerando a ontologia superior aos livros na facilitação do processo de aprendizagem. Entre todos os entrevistados, somente 2 profissionais consideraram que a ontologia é inferior aos livros, respondendo “Concordo – 75%”. O segundo objetivo da pergunta 5 consistiu em verificar se o entrevistado estava atento ao que estava respondendo, pois aqueles que vinham respondendo as primeiras alternativas nas questões 1, 2, 3 e 4, provavelmente deveriam mudar para as últimas alternativas na pergunta 5, caso estivessem prestando atenção ao questionário.

As perguntas 6, 7 e 8 visavam verificar se a ontologia serve como um artefato mediador do processo de ensino-aprendizagem. De todos os 54 entrevistados somente 1 profissional discordou. A pergunta 9 buscava verificar a interatividade da ontologia, pois a principal característica de uma multimídia interativa, segundo Castilho-Weinert e Lopes (2009), é que esta requirite a iniciativa do usuário. Novamente, somente 1 profissional discordou.

A questão 10 tinha como objetivo confirmar as informações coletadas nas perguntas 6 a 8, questionando se a ontologia proposta tem potencial para ser uma nova forma de contribuição ao processo de ensino-aprendizagem do diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica. Os resultados mostraram que não houve indecisão ou discordância. Entre os profissionais, 85% concordou fortemente com a afirmação e 15% concordou. Entre os alunos, 56% concordou fortemente e 44% concordou.

Além destes vários resultados otimistas alcançados com a aplicação dos questionários, também se obteve vários comentários construtivos e motivadores para a implementação de uma ontologia completa para ensino em Fisioterapia Neuropediátrica. Muitos dos participantes relataram que esquematizar o conteúdo facilita a compreensão dos alunos, e que

na prática clínica e no ensino faltam ferramentas que facilitem este aprendizado, bem como o entendimento das interrelações entre as características necessárias para conhecer o DMN e o diagnóstico. Vários participantes também descreveram que este aprendizado é ainda mais complexo para os alunos de graduação, que por vezes acabam tendo conteúdos fragmentados e têm dificuldades de estabelecer as conexões necessárias. Outro comentário importante diz respeito a importância da elaboração de instrumentos que facilitem este aprendizado, auxiliando tanto na educação, quanto na atuação dos profissionais que trabalham com neuropediatria.

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

#### 7.1 CONCLUSÕES

As principais contribuições desta tese são:

- A modelagem formal do conhecimento relativo ao diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica;
- O desenvolvimento de metodologias de inferência para a quantificação do diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica;
- A integração de diferentes técnicas durante os processos de AC, RC e inferências;
- O desenvolvimento de um protótipo embasado no conceito de ontologias para o processo de ensino-aprendizagem deste conteúdo;
- A interface entre diferentes áreas e conceitos, com a utilização da Informática para o diagnóstico e o ensino em Fisioterapia.

O grau de formalismo e organização dos procedimentos realizados permitiu o desenvolvimento de uma base de conhecimento cuja completude e consistência a tornaram adequada como vocabulário consensual do domínio da Fisioterapia Neuropediátrica. Além disso, possibilitou o reuso e o compartilhamento de informações, alcançando os objetivos do ciclo de vida para a GC nesta área. Os processos de AC e RC se tornaram o alicerce para o desenvolvimento de uma base de regras de produção que foram subsídio para o desenvolvimento de diferentes abordagens para o problema do diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica.

Com os resultados alcançados acredita-se que a utilização de sistemas de apoio ao diagnóstico fisioterapêutico seja de grande importância, jamais com o intuito de substituir o profissional, mas com o objetivo de apoiá-lo no processo de diagnóstico e tomada de decisão, assim como tem sido feito na medicina. Cabe salientar que, a informática ainda é pouco utilizada na Fisioterapia, comparando-se com outras áreas da saúde. Sua utilização é escassa não só no ensino, como também no diagnóstico. Porém, nos poucos estudos relatados na

literatura, percebe-se que quando se alia a Informática à Fisioterapia obtêm-se resultados muito promissores e, portanto, existe um potencial a ser explorado.

Esta tese agrega grande contribuição para a quantificação do diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica, alcançando seu objetivo primordial de quantificar os procedimentos qualitativos da avaliação do desenvolvimento motor. As metodologias para a quantificação do diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica ainda são pouco exploradas, sugerindo o ineditismo deste trabalho. Concluiu-se que o modelo determinístico foi o que apresentou maior afinidade com o diagnóstico fornecido pelo fisioterapeuta.

As mensurações objetivas do diagnóstico nesta área também são muito importantes para comparar duas avaliações de um mesmo paciente, inferindo sua melhora, bem como para a estimativa de prognósticos para pacientes com casos semelhantes.

Um aspecto bastante relevante foi a integração de diferentes metodologias de IA: o esquema de LaFrance para o processo de AC, a técnica IBIS para o gerenciamento de conflitos de opiniões, a *Methontology* e a *On-To-Knowledge Methodology* para o desenvolvimento da ontologia, e o desenvolvimento de sistemas *crisp*, *fuzzy* e determinísticos.

Outra importante contribuição da formalização do conhecimento neste domínio foi a possibilidade de se utilizar, com alguns aprimoramentos, a ontologia de Fisioterapia Neuropediátrica como uma ferramenta de apoio ao processo de ensino-aprendizagem deste conteúdo. Através dos resultados atingidos, entende-se que a ontologia pode auxiliar para que ocorra um desempenho melhor do aprendizado através da interação do aprendiz com os seus conceitos, sua hierarquia, suas relações, e também seus exemplos. Como motivação importante para esta parte do trabalho também está a escassez de sistemas direcionados ao ensino na área de Fisioterapia, que se torna maior ao se considerar a possibilidade de uma ferramenta embasada em uma ontologia. Os relatos da literatura sobre a utilização de ontologias para o processo de ensino-aprendizagem em Fisioterapia são raros.

Cabe salientar que o desenvolvimento do modelo formal proposto resultou de processos metodológicos fortemente embasados na literatura, que foram empregados durante as etapas de AC e RC, necessários para o problema de diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica. Enfim, a principal contribuição deste trabalho foi a gestão eficiente do conhecimento nesta área, que possui informações desestruturadas e não-padronizadas. Isto permite que as metodologias propostas também possam ser generalizadas para outros problemas de diagnóstico e para outras áreas da saúde.

Os resultados dos esforços empreendidos neste trabalho foram, até o momento, divulgados em três publicações (Anexos VI, VII e VIII): uma em anais de um congresso

internacional (CASTILHO, LOPES e TACLA, 2009) relatando o desenvolvimento de uma ontologia de domínio para a Fisioterapia Neuropediátrica, outra em um capítulo de livro internacional (CASTILHO e LOPES, 2010) descrevendo a utilização da ontologia desenvolvida para a GC e o processo de ensino-aprendizagem em Fisioterapia Neuropediátrica, e a última em um periódico de circulação nacional (CASTILHO-WEINERT e LOPES, 2010) apresentando um SE *crisp* de apoio ao diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica.

## 7.2 TRABALHOS FUTUROS

Como trabalhos futuros que possam ser embasados nas metodologias para diagnóstico desenvolvidas nesta tese, visualiza-se duas possibilidades. Primeiramente, o desenvolvimento de sistemas *crisp* ou *fuzzy* embasados em um processo de AC que agregue mais conhecimento, não somente sobre o DMN, mas também com diversos exemplos de anormalidade. Outra possibilidade é a continuidade da abordagem por modelos determinísticos. Acredita-se que seria conveniente repetir os experimentos realizados neste trabalho com amostras maiores, diferentes avaliadores e em diferentes instituições. Um outro aspecto importante a ser desenvolvido seria projetar uma interface mais amigável e de fácil acessibilidade, para que a abordagem determinística para quantificação do diagnóstico possa ser difundida a todos os profissionais que desejem utilizá-la, mesmo aqueles com menor afinidade com a informática.

Sobre as possibilidades de continuidade da ontologia para educação. Este trabalho já se inspira em outra pesquisadora do grupo, Gonzaga (2003), que desenvolveu um sistema multimídia para ensino da atividade reflexa do recém-nascido. Nesta tese pretendeu-se ampliar este processo de ensino-aprendizagem com enfoque em uma metodologia multimídia baseada no conceito de ontologias, que englobasse todas as características do DMN, não só os reflexos, e também para os 12 primeiros meses, não apenas o primeiro. Como o modelo desenvolvido foi apenas um protótipo para teste, acredita-se que uma parte importante a ser explorada na continuidade deste trabalho seria o desenvolvimento de um modelo completo, para todas as idades do DMN, com posterior validação através de análises quantitativas do aprendizado de um grupo teste (que utilizasse a ontologia) e de um grupo controle (que utilizasse apenas os livros e as aulas).

A necessidade de objetividade e quantificação nas mensurações também ocorre em outras áreas da Fisioterapia. Portanto, acredita-se que as metodologias para diagnóstico e para ensino propostas nesta tese poderiam ser utilizadas, com resultados promissores, em muitas outras áreas da Fisioterapia.

## REFERÊNCIAS

AHLGREN, P., JARNEVING, B., ROUSSEAU, R. Requirements for a cocitation similarity measure, with special reference to Pearson's correlation coefficient. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, v. 54, n. 6, p. 550-560, 2003.

ÁLVAREZ-ESTÉVEZ, D., MORET-BONILLO, V. Fuzzy reasoning used to detect apneic events in the sleep apnea-hypopnea syndrome. **Expert Systems with Applications**, v. 36, n. 4, p. 7778–7785, 2009.

ASH, J.S., BATES, D.W. Factors and forces affecting EHR system adoption: report of a 2004 ACMI discussion. **Journal of the American Medical Informatics Association**, v. 12, n. 1, p. 8-12, 2005.

ALBERTS, L.K. **YMIR: An Ontology for Engineering Design**. PhD Thesis, University of Twente, 1993.

ALMEIDA, M.B., BAX, M.P. Uma visão geral sobre ontologias: pesquisa sobre definições, tipos, aplicações, métodos de avaliação e de construção. **Ciência da Informação**, v. 32, n. 3, p. 7-20, 2003.

BAADER, F., CALVANESE, D., McGUINNESS, D., NARDI, D., PATEL-SCHNEIDER, P. **The Description Logic Handbook: Theory, Implementation and Applications**. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

BANEYX, A., CHARLET, J., JAULENT, M. Building an ontology of pulmonary diseases with natural language processing tools using textual corpora. **International Journal of Medical Informatics**, v. 76, n. 2-3, p. 208-215, 2007.

BARR, A., FEIGENBAUM, E.A. **The Handbook of Artificial Intelligence**. Los Angeles: Addison-Wesley, 1986.

BATES, D.W., EVANS, R.S., MURFF, H., STETSON, P.D., PIZZIFERRI, L., HRIPCSAK, G. Detecting adverse events using information technology. **Journal of the American Medical Informatics Association**, v. 10, n. 2, p. 115-128, 2003.

BEHRENS, M.A. **O Paradigma Emergente e a Prática Pedagógica**. Curitiba: Champagnat, 1999.

BERNERS-LEE, T., HENDLER, J., LASSILA, O. The semantic web. **Scientific American**, v. 5, n. 284, p. 34-43, 2001.

BERTO, C.C.O. **Criação, Implementação e Avaliação de um Recurso Didático Multimídia como Suporte para o Ensino Presencial de Fisioterapia Respiratória**. São Paulo, 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências da Reabilitação) - Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, 82 f.

BHATT, G.D. Organizing knowledge in the knowledge development cycle. **Journal of Knowledge Management**, v. 4, n. 1, p. 15-26, 2000.

BINI, S.M. **Proposta de Prontuário Eletrônico do Paciente com Protocolo para Avaliação do Desenvolvimento Neuropsicomotor para Fisioterapeutas**. Curitiba, 2008. Dissertação (Mestrado em Tecnologia em Saúde) – Programa de Pós-graduação em Tecnologia em Saúde, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 100 p.

BIRKINSHAW, J., SHEEHAN, T. Managing the knowledge life cycle. **MIT Sloan Management Review**, v. 44, n. 1, p. 75-83, 2002.

BLY, L. **Motor Skills Acquisitions in the First Year**. San Antonio: Therapy Skill Builders, 1994.

BOBATH, B. Motor development, its effects on general development, and application to the treatment of cerebral palsy. **Physiotherapy**, v. 57, n. 1, p. 526, 1971.

BOBATH, K. **A Deficiência Motora em Pacientes com Paralisia Cerebral**. São Paulo: Manole, 1989.

BREITMAN, K. **Curso de Desenvolvimento de Ontologias**. Disponível na internet em: <http://www-di.inf.puc-rio.br/~karin//INF2391/>. Acessado em 18/12/2007.

CAETANO, K.C., PERES, H.H.C., FUGULIN, F.M.T. An expert system prototype for the classification of the complexity of the assistance in nursing. **Online Brazilian Journal of Nursing**, v. 6, n. 1, [s.p.], 2007.

CALIARI, F.M. **DERONTO: Método para Construção de Ontologias a Partir de Diagramas Entidade-Relacionamento**. Curitiba, 2007. Dissertação (Mestrado em Informática Industrial) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 90p.

CARDOSO, J.P., QUEIROZ, R.S., LOPES, C.R.S., ROSA, V.A. Um sistema especialista para apoio à decisão em exames ortopédicos de ombro, cotovelo e punho. In: ANAIS DO IX CONGRESSO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA EM SAÚDE, Ribeirão Preto, [s.p.], 2004. Disponível na internet em: <http://www.sbis.org.br/cbis9/arquivos/648.pdf> Acessado em 05/11/2007.

CARR, J.H., SHEPHERD, R.B. The changing face of neurological rehabilitation. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, v. 10, n. 2, p. 147-156, 2006.

CASTILHO, L.V. **Sistema Multimídia de Apoio ao Aprendizado dos Testes de Força Muscular**. Curitiba, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, 95p.

CASTILHO, L.V., LOPES, H.S. An ontology-based system for knowledge management and learning in neuropediatric physiotherapy. In: SZCZERBICKI, E., NGUYEN, N.T. (Eds.) **Smart Information and Knowledge Management: advances, challenges, and critical issues**. Berlin: Springer-Verlag, v. 260, p. 283-307, 2010.

CASTILHO, L.V., LOPES, H.S., WEINERT, W.R. Informática na fisioterapia: sistema multimídia de apoio ao aprendizado dos testes de força muscular. In: ANAIS DO XVIII CONGRESSO DA SBC - WIM - WORKSHOP DE INFORMÁTICA MÉDICA, Belém, p. 101-110, 2008.

CASTILHO, L.V., LOPES, H.S., TACLA, C.A. Modeling and building an ontology for neuropediatric physiotherapy domain. In: PROCEEDINGS OF HIS 2008 - HYBRID INTELLIGENT SYSTEMS, Barcelona, p. 210-215, 2008.

CASTILHO-WEINERT, L.V., LOPES, H. S. Computers in physical therapy education: interactive multimedia learning with MuStreT. **Informatics in Education**, v. 8, n. 1, p. 157-172, 2009.

CASTILHO-WEINERT, L.V., LOPES, H.S. Sistema de apoio ao diagnóstico em fisioterapia neuropediátrica. **Revista Fisioterapia Ser**, v. 5, n. 1, [s.p.], 2010.

CHARLET, J., BACHIMONT, B., JAULENT, M. Building medical ontologies by terminology extraction from texts: an experiment for the intensive care units. **Computers in Biology and Medicine**, v. 36, n. 7-8, p. 857-870, 2006.

CHI, A., DIAS, J.S. Sistemas de apoio à decisão utilizados em ventilação mecânica. In: ANAIS DO X CONGRESSO BRASILEIRO EM INFORMÁTICA EM SAÚDE - CBIS 2006, Florianópolis, [s.p.], 2006.

CIPRIANO, J.J., JAHN, W.T., WHITE, M.E. **Manual Fotográfico de Testes Ortopédicos e Neurológicos**, 4. ed. São Paulo: Manole, 2005.

COLLAZOS, K.L., BRASIL, L.M., AZEVEDO, F.M. Sistemas Especialistas na Saúde. In: BRASIL, L.M. (Ed.) **Informática em Saúde**. Brasília: Editora Universa - UCB, p. 153-205, 2008.

CONNOLY, K. Desenvolvimento motor: passado, presente e futuro. **Revista Paulista de Educação Física**, v. 3, n. 1, p. 6-15, 2000.

CORCHO, O., FÉRNANDEZ-LÓPEZ, M., GÓMEZ-PÉREZ, A. Methodologies, tools and languages for building ontologies: where is their meeting point? **Data & Knowledge Engineering**, v. 46, n.1, p.41-64, 2003.

CORDINGLEY, E. Knowledge elicitation techniques for knowledge-based systems. In: DIAPER, D. (Ed.) **Knowledge Elicitation: Principles, Techniques and Applications**. Chichester: Ellis Horwood Limited, p. 89-178, 1989.

CUNHA, F.S. **Um Sistema Especialista para Previdência Privada**. Florianópolis, 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Departamento de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, [s.p.]. Disponível na internet em <http://www.eps.ufsc.br/disserta/cunha/indice/index.html>. Acessado em 31/10/2007.

CZERESNIA, D., FREITAS, C.M. **Promoção da Saúde: Conceitos, Reflexões, Tendências**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2003.

DANKELL II, D.D., KRISTMUNDSTOTTIR, M.O. REPS: A rehabilitation expert system for post-stroke patients. . In: PROCEEDINGS OF 10th CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MEDICINE, Aberdeen, v. 3581, n. 1, p. 94-98, 2005.

DAVENPORT, T.H., GLASER J. Just-in-time delivery comes to knowledge management. **Harvard Business Review**, v. 80, n. 7, p. 107-111, 2002.

DAVIS, R., HAMSCHER, W. Model-based reasoning: trouble shooting. In: HAMSCHER, W., CONSOLE, L., DEKLEER, J. (Eds.) **Readings in Model-based Diagnosis**. San Mateo: Morgan Kaufmann, 1992.

DEMSAR, J. Statistical comparisons of classifiers over multiple data sets. **Journal of Machine Learning Research**, v. 7, n. 1, p. 1-30, 2006.

DIAMENT, A. Exame neurológico do lactente. In: DIAMANTE, A., CYPEL, S. **Neurologia Infantil**, 3. ed. São Paulo: Atheneu, p. 33-61, 1998.

DIENG-KUNTZ, R., MINIER, D., RUZICKA, M., CORBY, F., CORBY, O., ALAMARGUY, L. Building and using a medical ontology for knowledge management and cooperative work in a health care network. **Computers in Biology and Medicine**, v. 36, n. 7-8, p. 871-892, 2006.

DRUZDZEL, M.J., FLYNN, R.R. Decision support systems. In: DRUZDZEL, M.J., FLYNN, R.R. (Eds.) **Encyclopedia of Library and Informatic Science**, 2<sup>nd</sup> ed. New York: Marcel Dekker, 2002, [s.p.].

DURIGON, O.F.S., SÁ, C.S.S., SITTA, L.V. Validação de um protocolo de avaliação do tono muscular e atividades funcionais para crianças com paralisia cerebral. **Revista Neurociências**, v. 12, n. 2, p. 87-93, 2004.

FARIAS, R.F., MATTOS, M.C., SIMÕES, P.W.T.A. Ontologia para a gestão do conhecimento em saúde por meio da metodologia Methontology. In: ANAIS DO II CONGRESSO SUL CATARINENSE DE COMPUTAÇÃO, Criciúma, [s.p.], 2006. Disponível na internet em: <http://www.sbis.org.br/cbis/arquivos/857.pdf>. Acessado em: 30/10/2007.

FÁVERO, A.J, SANTOS, N.M. **Sistemas Especialistas**. Disponível na internet em: <http://www.din.uem.br/ia/especialistas/index.html>. Acessado em 20/11/2005.

FENSEL, D. The semantic web and its languages. **IEEE Intelligent Systems**, v. 15, n. 6, p. 67-73, 2000.

FERNANDES, A.M.R., COELHO S.V.L., LOPES, L.B., MOTTA, R., DAZZI,R.L.S. VirtuaFis - ambiente virtual de ensino de fisioterapia. In: ANAIS DO X CONGRESSO BRASILEIRO EM INFORMÁTICA EM SAÚDE - CBIS 2006, Florianópolis, [s.p.], 2006.

FERNÁNDEZ, M., GÓMEZ-PÉREZ, A., JURINO, N. Methontology: from ontological art towards ontological engineering. In: PROCEEDINGS OF AAAI-SPRING SYMPOSIUM ON ONTOLOGICAL ENGINEERING, Stanford, [s.p.], 1997.

FERNÁNDEZ, M., GÓMEZ-PÉREZ, A., PAZOS-SIERRA, A.J. Building a chemical

ontology using Methontology and the ontology design environment. **IEEE Intelligent Systems & Their Applications**, v.4, n.1, p. 37-46, 1999.

FERREIRA, A.B.H. **Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa**. 4 ed. Curitiba: Positivo, 2009.

FINNIE, N.R. **O Manuseio em Casa da Criança com Paralisia Cerebral**, 3. ed. São Paulo: Manole, 2000.

FISCHER, G., OSTWALD, J. Knowledge management: problems, promises, realities, and challenges. **IEEE Intelligent Systems**, v. 16, n. 1, p. 60-72, 2001.

FLEHMIG, I. **Normal Infant Development And Borderline Deviations, Early Diagnosis And Therapy**. England: Thieme Publishing Group, 1992.

FRANCONI, E. **Description Logics. Tutorial Course Information**. Free University of Bozen-Bolzano: Itália, 2006. Disponível na internet em: <http://www.inf.unibz.it/~franconi/dl/course/>. Acessado em: 31/10/2007.

GADARAS, I., MIKHAILOV, L. An interpretable fuzzy rule-based classification methodology for medical diagnosis. **Artificial Intelligence in Medicine**, v. 47, n. 1, p. 25-41, 2009.

GARCÍA-CRESPO, A., RODRÍGUEZ, A., MENCKE, M., GÓMEZ-BERBÍS, J.M., COLOMO-PALACIOS, R. ODDIN: Ontology-driven differential diagnosis based on logical inference and probabilistic refinements. **Expert Systems with Applications**, v. 37, n. 1, p. 2621-2628, 2010.

GELL, G. Expert systems as a support for radiological diagnosis. **European Journal of Radiology**, v. 17, n. 1, p. 8-13, 1993.

GEORGIU, A. Data information and knowledge: the health informatics model and its role in evidence-based medicine. **Journal of Evaluation in Clinical Practice**, v. 8, p. 127-130, 2002.

GHAZAVI, S.N., LIAO, T.W. Medical data mining by fuzzy modeling with selected features. **Artificial Intelligence in Medicine**, v. 43, n. 3, p. 195-206, 2008.

GOMEZ, R.S., GUSMÃO, S., SILVA, J.F., BASTOS, M.P. Interlaminar epidural corticosteroid injection in the treatment of lumbosciatic pain: a retrospective analysis. **Arquivos de Neuropsiquiatria**, v. 65, n. 4, p. 1172-1176, 2007.

GÓMEZ-PÉREZ, A. Ontological engineering: a state of the art. **British Computer Society**, v. 2, n. 3, p. 33-43, 1999.

GONÇALVES, G.A.C., GONÇALVES, A.K., PEROTTI JUNIOR, A. Desenvolvimento motor na teoria dos sistemas dinâmicos. **Motriz: Revista de Educação Física - UNESP**, v.1, n.1, p. 8-14, 1995.

GONTIJO, A.P.B., CURY, V.C.R. Atuação da fisioterapia no tratamento da criança portadora de paralisia Cerebral. In: LIMA, C.L.A., FONSECA, L.F. (Eds.) **Paralisia Cerebral**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.

GONZAGA, C.D.T. **A Informática na Fisioterapia: Uma Aplicação no Ensino da Avaliação da Atividade Reflexa do Recém-Nascido**. Curitiba, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, 86p.

GRUBER, T.R. Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. **International Journal of Human and Computer Studies**, v. 43, n. 5-6, p. 907-928, 1995.

GRUBER, T.R. A translation approach to portable ontology specifications. **Knowledge Acquisition**, v. 5, p. 199-220, 1993.

GRÜNINGER, M., FOX, M. S. Methodology for the design and evaluation of ontologies. In: PROCEEDINGS OF WORKSHOP ON BASIC ONTOLOGICAL ISSUES IN KNOWLEDGE SHARING, Montreal, [s.p.], 1995.

GUARINO, N. Formal ontology in information systems. In: PROCEEDINGS OF FOIS'98,

Trento, p. 3-15, 1998. Disponível na internet em: <http://www.loa-cnr.it/Papers/FOIS98.pdf>. Acessado em 30/10/2007.

GUARINO, N. Understanding, building, and using ontologies. **International Journal of Human and Computer Studies**, v. 46, n. 2-3, p. 293-310, 1997.

GUARINO, N., GIARETTA, P. Ontologies and knowledge bases: towards a terminological clarification. In: MARS, N.J.I. (Ed.) **Towards Very Large Knowledge Bases: Knowledge Building and Knowledge Sharing**. Amsterdam: IOS Press, 1995.

GUIMARÃES, F.J.Z. **Utilização de Ontologias no Domínio B2C**. Rio de Janeiro, 2002. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação em Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 195p.

GUSMAN, S., TORRE, C.A. Fisioterapia. In: DIAMANTE, A., CYPEL, S. (Eds.) **Neurologia Infantil**, 4. ed. São Paulo: Atheneu, p. 1731-1751, 2005.

HAAV, H.M., LUBI, T.L. A survey of concept-based information retrieval tools on the web. In: PROCEEDINGS OF EAST-EUROPEAN CONFERENCE ADBIS, Vilnius, [s.p.], 2001. Disponível na internet em: <http://www.science.mii.lt/adbis/local2/haav.pdf>. Acessado em: 31/10/2007.

HARMON, P., KING, D. **Expert Systems - Artificial Intelligence in Business**. New York: John Wiley & Sons, 1985.

HATIBOGLU, M.A., ALTUNKAYNAK, A., OZGER, M., IPLIKCIOGLU, A.C., COSAR, M., TURGUT, N. A predictive tool by fuzzy logic for outcome of patients with intracranial aneurysm. **Expert Systems with Applications**, v. 37, n. 2, p. 1043-1049, 2010.

HAUX, R. Aims and tasks of medical informatics. **International Journal of Medical Informatics**, v. 44, n. 1, p. 9-20, 1997.

HAUX, R. Health information systems: past, present and future. **International Journal of Medical Informatics**, v. 75, n. 3-4, p. 268-281, 2006.

HENEGAR, C., BOUSQUET, C., LOUËT, A.L., DEGOULET, P., JAULENT, M. Building an ontology of adverse drug reactions for automated signal generation in pharmacovigilance. **Computers in Biology and Medicine**, v. 36, n. 7-8, p. 748-767, 2006.

HONG, X. **Gaussian Membership Functions**. Disponível na internet em: <http://www.personal.rdg.ac.uk/~sis01xh/teaching/ComputerControl/fcslide3.pdf>. Acessado em: 17/12/2009.

HORRIDGE, M., KNUBLAUCH, H., RECTOR, A., STEVENS, R., WROE, C. **A Practical Guide to Building OWL Ontologies Using the Protégé-OWL Plugin and CO-ODE Tools**. Manchester: The University of Manchester, 2004. Disponível na internet em: <http://www.co-ode.org/resources/tutorials/ProtegeOWLTutorial.pdf>. Acessado em: 31/10/2007.

HORROCKS, I. **Applications of Description Logics: State of the Art and Research Challenges**, 2005. Disponível na internet em: <http://web.comlab.ox.ac.uk/oucl/work/ian.horrocks/Publications/download/2005/Horr05a.pdf>. Acessado em: 31/10/2007.

JAMES, G. Diagnosis in physical therapy: insights from medicine and cognitive science. **Physical Therapy Reviews**, v. 7, n. 1, p. 17-31, 2002.

JANFELICE, R.S.M. **Modelagem Fuzzy para Dinâmica de Transferência de Soropositivos para HIV em Doença Plenamente Manifesta**. Campinas, 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia da Computação e Automação Industrial, Universidade Estadual de Campinas, 187p.

JUAREZ, J.M., RIESTRA, T., CAMPOS, M., MORALES, A., PALMA, J., MARIN, R. Medical knowledge management for specific hospital departments. **Expert Systems with Applications**, v. 36, n. 10, p. 12214-12224, 2009.

KEELING, C., LAMBERT, S. Knowledge management in the NHS: positioning the healthcare librarian at the knowledge intersection. **Health Library Review**, n. 17, v. 3, p. 136-143, 2000.

KELES, A., KELES, A. ESTDD: Expert system for thyroid diseases diagnosis. **Expert Systems with Applications**, v. 34, n. 1, p. 242-246, 2008.

KENDALL, F.P., McCREARY, E.K., PROVANCE, P.G., RODGERS, M.M., ROMANI, W.A. **Músculos, Provas e Funções: com postura e dor**, 5. ed. São Paulo: Manole, 2007.

KOLODNER, J. **Case-based Reasoning**. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1993.

KOSKO, B. **Fuzzy Thinking**. New York: Hyperion, 1993.

KREINOVICH, V., QUINTANA, C., REZNIK, L. Gaussian membership functions are most adequate in representing uncertainty in measurements. In: PROCEEDINGS OF NORTH AMERICAN FUZZY INFORMATION PROCESSING SOCIETY CONFERENCE - NAFIPS 1992, Puerto Vallarta, [s.p.], 1992.

LaFRANCE, M. The knowledge-acquisition grid: a method for training knowledge engineers. **Journal of Man-Machine Studies**, v. 26, p. 245-255, 1987.

LEVITT, S. **Treatment of Cerebral Palsy and Motor Delay**, 3<sup>rd</sup> ed. Oxford: Blackwell Science, 1995.

LIGUORI, R. Evaluation of expert systems in electromyography. **Electroencephalography and Clinical Neurophysiology**, v. 103, n. 1, p. 44, 1997.

LOPES, H.S. **Analogia e Aprendizado Evolucionário: Aplicação em Diagnóstico Clínico**. Florianópolis, 1996. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, 159p.

LUGER, G.F. **Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving**, 6<sup>th</sup> ed. Boston: Addison-Wesley Pearson Education, 2009.

MAEDCHE, A. **Ontology Learning for the Semantic Web**. Massachusetts: Kluwer Academic, 2002.

MARTINS, A., FERNEDA, E., COSTA, E.B., SILVA, R.P., BITTENCOURT, I.I.S.P. Raciocínio Baseado em Casos e sua Aplicação em Saúde. In: BRASIL, L.M. (Ed.) **Informática em Saúde**. Brasília: Editora Universa - UCB, p. 113-150, 2008.

McCARTHY, J. **What is Artificial Intelligence?** Stanford: Stanford University, 2007. Disponível na internet em: <http://www-formal.stanford.edu/jmc/whatisai/whatisai.html>. Acessado em: 19/10/2007.

McGOWN, H., FAUST, G.W. Computer-assisted instruction in physical therapy: a pilot program. **Physical Therapy**, v. 51, n. 10, p. 1113-1120, 1971.

**Merriam-Webster's Collegiate Dictionary**. Massachusetts: Merriam Company, 2002.

MILANI-COMPARETTI, A., GIDONI, E.A. Routine developmental examination in normal and retarded children. **Developmental Medicine and Child Neurology**, v. 9, p. 625, 1967.

MILTON, N.R. **Knowledge Acquisition in Practice: a Step-by-step Guide**. New York: Springer, 2007.

MIZOGUCHI, R., VANWELKENHUYSEN, J., IKEDA, M. Task ontology for reuse of problem solving knowledge. In: PROCEEDINGS OF ECAI'94 TOWARDS VERY LARGE KNOWLEDGE BASES, Amsterdam, p. 46-59, 1995.

MOREIRA, K.L.A.F., CASTILHO, L.V. Multimídia e Hiperemídia em Saúde. In: BRASIL, L.M. (Ed.) **Informática em Saúde**. Brasília: Editora Universa - UCB, p. 273-301, 2008.

MOREIRA, K.L.A.F., CAVALCANTI, I.W., BRASIL, L.M., MELO, C.B., SOARES, J.D. Aplicabilidade de um software educativo neurológico. In: ANAIS DO III CONGRESSO LATINO AMERICANO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA, João Pessoa, [s.p.], 2004.

MORTARI, C.A. **Introdução à Lógica**. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 2001.

NEIROTTI, R., OLIVERI, F., BRUNETTO, M.R., BONINO, F. Software and expert system for the management of chronic hepatitis B. **Journal of Clinical Virology**, v. 34, n. 1, p. 29-33, 2005.

NIEVOLA, J.C. **Sistema Inteligente para Auxílio ao Ensino em Traumatologia Crânio-encefálica**. Florianópolis, 1995. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica – Sistemas de Informação) – Grupo de Pesquisas em Engenharia Biomédica, Universidade Federal de Santa Catarina, 168p.

NOGUEIRA, J.H.M., SILVA, R.B.A., ALCÂNTARA, J.F.L., ANDRADE, R.C. Expert SINTA: uma ferramenta visual geradora de sistemas especialistas. In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE SOFTWARE, São Carlos, [s.p.], 1996.

NOY, N. F., McGUINNESS, D.L. **Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology**. Stanford: Stanford University, 2000. Disponível na internet em: <http://www.ksl.stanford.edu/people/dlm/papers/ontology101/ontology101-noy-mcguinness.html>. Acessado em: 31/10/2007.

NOY, N.F., FERGERSON, R.W., MUSEN, M.A. The knowledge model of Protégé-2000: combining interoperability and flexibility. In: PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL CONFERENCE ON KNOWLEDGE ENGINEERING AND KNOWLEDGE MANAGEMENT, EKAW'2000, Juan-les-pins, [s.p.], 2000. Disponível na internet em: <http://www.pms.ifi.lmu.de/mitarbeiter/ohlbach/Ontology/Protege/SMI-2000-0830.pdf>. Acessado em: 31/10/2007.

OBERTO, L.M., AZEVEDO, F.M. Sistema inteligente de auxílio ao tratamento fisioterápico aplicando o princípio da neuroplasticidade em portadores de paralisia cerebral. In: ANAIS DO IV WORKSHOP DE INFORMÁTICA APLICADA À SAÚDE, Itajaí, [s.p.], 2004. Disponível na internet em: [http://www.niee.ufrgs.br/cbcomp/cbcomp2004/html/pdf/Workshop\\_Sa%FAde/Teses\\_Disserta%E7%F5es/t170100223\\_3.pdf](http://www.niee.ufrgs.br/cbcomp/cbcomp2004/html/pdf/Workshop_Sa%FAde/Teses_Disserta%E7%F5es/t170100223_3.pdf). Acessado em 05/11/2007.

OLIVEIRA, K. M., WERNECK, V., ROCHA, A.R. Avaliação da qualidade de sistemas especialistas. In: ANAIS DO WORKSHOP DE QUALIDADE DE SOFTWARE, Curitiba, p. 7-9, 1994.

OSAKU, E.F. **Desenvolvimento de um *Software Didático de Apoio ao Aprendizado de Ventilação Mecânica***. Curitiba, 2005, Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, 116p.

PEDRYCZ, W., GOMIDE, F. **Fuzzy Systems Engineering**. New York: John Wiley & Sons, 2007.

PEIXOTO, L.A., BASTOS, L.C., ISRAEL, V.L. SAD em fisioterapia para auxílio na simulação de exames ortopédicos da coluna vertebral através de regras de produção. In: ANAIS DO X CONGRESSO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA EM SAÚDE, Florianópolis, v. 1, p. 817-822, 2006. Disponível na internet em: <http://www.sbis.org.br/cbis/arquivos/776.pdf>. Acessado em 05/11/2007.

PIAGET, J. **O Nascimento da Inteligência na Criança**. Rio de Janeiro: Zahar, 1970.

PINCIROLI, F., PISANELLI, D.M. The unexpected high practical value of medical ontologies. **Computers in Biology and Medicine**, v. 36, n. 7-8, p. 669-673, 2006.

PODGORELEC, V., GRASIC, B., PAVLIC, L. Medical diagnostic process optimization through the semantic integration of data resources. **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, v. 95, n. 2, p. S55-S67, 2009.

POLANYI, M. **The Tacit Dimension**. Massachusetts: Doubleday & Co, 1983.

QUINLAN, J. R. **C4.5: Programs for Machine Learning**. San Mateo: Morgan Kaufmann Publishers, 1993.

RIELLA, C.L. **Sistema de Apoio à Decisão na Monitoração do Paciente em Assistência Ventilatória Invasiva**. Curitiba, 2007. Dissertação (Mestrado em Tecnologia em Saúde) –

Programa de Pós-graduação em Tecnologia em Saúde, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 81 p.

RITTEL, H., WEBBER, M. Dilemmas in a general theory of planning. **Policy Sciences**, v. 4, p. 155-169, 1973.

RUSSELL, S., NORVIG, P. **Artificial Intelligence: A Modern Approach**, 3<sup>rd</sup> ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2009.

SAARINEN-RAHIIKA, H., BINKLEY, J.M. Problem-based in physical therapy: a review of the literature and over view of the McMaster University experience. **Physical Therapy**, v. 78, n. 2, p.195-209, 1998.

SANCHEZ, E. Solutions in composite fuzzy relation equations: application to medical diagnosis in Brouwerian logic. In: GUPTA, M.M., SARIDIS, G.N., GAINES, B.R. (Eds.) **Fuzzy Automata and Decision Processes**. Amsterdam: Elsevier Science, p. 221-234, 1977.

SANCHEZ, E., BARTOLIN, R. Fuzzy inference and medical diagnosis, a case study. **International Journal of Biomedicine and Fuzzy Systems**, v. 1, p. 4-21, 1990.

SANTOS, E.S. **Uma Proposta de Integração de Sistemas Computacionais Utilizando Ontologias**. Brasília, 2006. Dissertação (Mestrado em Informática) – Departamento de Ciência da Computação, Universidade de Brasília, 106p.

SCHREIBER, G., WIELINGA, B., JANSWEIJER, W. The KAKTUS view on the 'o' word. In: PROCEEDINGS OF IJCAI95 WORKSHOP ON BASIC ONTOLOGICAL ISSUES IN KNOWLEDGE SHARING, Montreal, [s.p.], 1995.

SHADBOLT, N., O'HARA, K., CROW, L. The experimental evaluation of knowledge acquisition techniques and methods: history, problems and new directions. **International Journal of Human-Computer Studies**, v. 51, n. 4, p. 729-755, 1999.

SHORTLIFFE, E.H. **Computer-Based Medical Consultations: MYCIN**. New York: American Elsevier, 1976.

SHORTLIFFE, E.H., PERREAULT, L.E., WIEDERHOLD, G., FAGAN, L.M. **Medical Informatics: Computer Applications in Health Care and Biomedicine**, 2<sup>nd</sup> ed. New York: Springer-Verlag, 2001.

SHUMWAY-COOK, A., WOOLLACOTT, M.H. **Motor Control: Theory and Practical Applications**, 3<sup>rd</sup> ed. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 2007.

SITTIG, D.F., WRIGHT, A., SIMONAITIS, L., CARPENTER, J.D., ALLEN, G.O., DOEBBELING, B.N., SIRAJUDDIN, A.M., ASH, J.S., MIDDLETON, B. The state of the art in clinical knowledge management: an inventory of tools and techniques **International Journal of Medical Informatics**, v. 79, n. 1, p. 44-57, 2010.

SMITH, R.G., FARQUHAR, A. The road ahead for knowledge management. **Artificial Intelligence Magazine**, v. 21, n. 4, p. 17-40, 2000.

SOARES, F.S., MUNZLINGER, E., RIVEROS, L.J.M. Validação de um sistema especialista para o pré-diagnóstico da dislexia. In: ANAIS DO V ENCONTRO NACIONAL DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL – ENIA 2005, São Leopoldo, [s.p.], 2005.

SOWA, J.F. **Knowledge Representation: Logical, Philosophical, and Computational Foundations**. Pacific Grove: Brooks/Cole, 2000.

STAAB, S., STUDER, R., SCHNURR, H., SURE, Y. Knowledge processes and ontologies. **IEEE Intelligent Systems**, v. 16, n. 1, p. 26-34, 2001.

STEFANELLI, M. Knowledge management to support performance-based medicine. **Methods of Information in Medicine**, v. 41, n. 1, p. 36-43, 2002.

STERN, C.R., LUGER, G.F. **Abduction and Abstraction in Diagnosis: a Schema-based Account**. Cambridge: MIT Press, 1997.

SURE, Y., STUDER, R. On-To-Knowledge methodology: final version. **Technical Report**, Institute AIFB, University of Karlsruhe, v. 18, 2002.

USCHOLD, M., GRUNINGER, M. Ontologies: principles, methods and applications. **Knowledge Engineering Review**, v. 11, n. 2, p. 93-155, 1996.

USCHOLD, M., KING, M. Building ontologies: towards a unified methodology. In: PROCEEDINGS OF 16th ANNUAL CONFERENCE OF THE BRITISH COMPUTER SOCIETY SPECIALIST GROUP ON EXPERT SYSTEMS, Cambridge, [s.p.], 1995.

VAN BEMMEL, J.H., MUSEN, M.A. **Handbook of Medical Informatics**. Disponível na internet em: [http://www.mieur.nl/mihandbook/r\\_3\\_3/handbook/home.htm](http://www.mieur.nl/mihandbook/r_3_3/handbook/home.htm). Acessado em 13/10/2009.

VAN DIJK, F.J.H., HUGENHOLTZ, N., A-TJAK, M., SCHREINEMAKERS, J. Knowledge management in occupational health, consequences for structures and functions. **International Congress Series**, v. 1294, p. 23-26, 2006.

VAN HEIJST, G., SCHREIBER, A.T., WIELINGA, B.J. Using explicit ontologies in KBS development. **International Journal of Human-Computer Studies**, v. 46, n. 2-3, p. 183-192, 1997.

VERNE, J. Cancer registries: their contribution to knowledge management. **Surgery**, v. 21, n. 6, p. 3-6, 2003.

WALTER, E.G., SILVEIRA, F.C., MORALES, A.B.T. SEAN – Sistema especialista em anemia. In: ANAIS DO XXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DA PRODUÇÃO – ENEGEP 2001, Salvador, [s.p.], 2001.

WANG, X., QU, H., LIU, P., CHENG, Y. A self-learning expert system for diagnosis in traditional chinese medicine. **Expert Systems with Applications**, v. 26, n. 4, p. 557-566, 2004.

WASHINGTON, N., PARNIANPOUR, M. Using CAI to accommodate a variety of learning styles in a biomechanics course. **Biomedical Science Instruments**, v. 33, p. 41-46, 1997.

WATERMAN, D. **A Guide to Expert Systems**. Los Angeles: Addison-Wesley, 1986.

WIELINGA, B.J., SCHREIBER, A.T. Reusable and sharable knowledge bases: a European perspective. In: PROCEEDINGS OF FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON BUILDING AND SHARING OF VERY LARGE-SCALED KNOWLEDGE BASES, Tokyo, [s.p.], 1993. Disponível na internet em: [hcs.science.uva.nl/usr/wielinga/postscript/Wielinga:93e.ps](http://hcs.science.uva.nl/usr/wielinga/postscript/Wielinga:93e.ps). Acessado em: 30/10/2007.

WILKINSON, S.G. **Computerized Ontology Methods for Teaching Musculoskeletal Topics to Physical Therapy Students**. Utah, 2007. PhD Thesis, Department of Biomedical Informatics, The University of Utah, 146p.

WILSON, R. **The Role of Ontologies in Teaching and Learning**. Bristol: Joint Information Systems Committee, 2004. Disponível na internet em: <http://www.jisc.ac.uk/media/documents/techwatch/acfl1ac.pdf>. Acessado em: 20/12/2009.

WORLD CONFEDERATION FOR PHYSICAL THERAPY. **The nature of the physical therapy process**. Londres, 2009. Disponível na internet em: <http://www.wcpt.org/node/29599>. Acessado em: 04/03/2010.

YAKEMOVIC, K.C.B., CONKLIN, E.J. Report on a development project use of an issue-based information system. In: PROCEEDINGS OF THE 1990 ACM CONFERENCE ON COMPUTER-SUPPORTED COOPERATIVE WORK, Los Angeles, p. 105-118, 1990.

YOKAICHIYA, D.K., FRACETO, L.F., MIRANDA, M.A., GALEMBECK, E., TORRES, B.B. AMPc - sinalização intracelular: um *software* educacional. **Química Nova**, v. 27, n. 3, p. 489-491, 2004.

ZADEH, L.A. Fuzzy sets. **Information and Control**, v. 8, n. 1, p. 338-353, 1965.

ZDRAHAL, Z., MULHOLLAND, P., DOMINGUE, J., HATALA, M. Sharing engineering design knowledge in a distributed environment. **Behavior and Information Technology**, v. 19, n. 3, p. 189-200, 2000.

ZHOU, X., WU, Z., YIN, A., WU, L., FAN, W., ZHANG, R. Ontology development for unified traditional chinese medical language system. **Artificial Intelligence in Medicine**, v. 32, n. 1, p. 15-27, 2004.

ZOTELLI, L. M., MORO, C.M.C., DIAS, J.S., MARTINS, C. Adoção de padrões de informação em saúde: estudo de caso de diagnóstico nutricional proposto pelo ADA. In: ANAIS DO XI CONGRESSO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA EM SAÚDE – CBIS 2008, Campos do Jordão, [s.p.], 2008.



## ANEXO I

## APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISAS

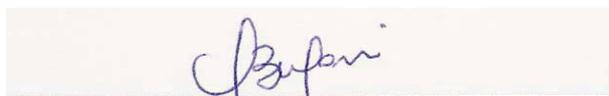
## OF. CEP 072/09 - Aprovação do Projeto de Pesquisa

Prezada Dr.<sup>a</sup> Luciana Vieira Castilho-Weinert

Comunicamos a V.Sa. que o projeto protocolado sob nº 0132/2009, intitulado “**Ontologias e Técnicas de Inteligência Artificial Aplicadas ao Diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica**” foi analisado e aprovado por este comitê.

A Legislação prevê que toda documentação do projeto poderá, a qualquer momento ser solicitada para análise por parte dos órgãos oficiais. O Comitê manterá arquivo detalhado de cada projeto, devendo arquivar também os relatórios de acompanhamento.

Solicitamos que V.Sa. e colaboradores apresentem relatório dentro de 6 meses e posteriormente em 12 meses, como consta em nosso Regimento.



Prof.<sup>a</sup>. Claudia Diehl Forti Bellani, MSc.  
Coordenadora do Comitê de Ética em Pesquisas – IBRATE



## ANEXO II

### TERMO DE CONSENTIMENTO PARA AC COM OS ESPECIALISTAS

TCLE - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Estas informações estão sendo fornecidas para sua participação voluntária no projeto intitulado: ONTOLOGIAS E TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADAS AO DIAGNÓSTICO EM FISIOTERAPIA NEUROPEDIÁTRICA

Pesquisador Responsável: Luciana Vieira Castilho-Weinert

RG: 6023183-4

CPF: 007075259-18

Crefito: 8 / 49150 - F

Endereço: Rua Lucio Costa, 114, apartamento 5, Balneário de Ipanema

Caixa Postal 55296 - CEP 83255-972 – Pontal do Paraná - Paraná

Telefone: 41-34571943

### INFORMAÇÕES AO VOLUNTÁRIO

#### **Objetivos e Justificativa do Estudo:**

Este estudo tem como objetivo desenvolver uma metodologia formal para aquisição e representação do conhecimento referente ao diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica utilizando uma ontologia (que é uma estrutura para organização do conhecimento de forma hierárquica), e, após a criação desta base de conhecimento, desenvolver uma metodologia baseada em técnicas de Inteligência Artificial (através de um sistema informatizado) que possibilite o estabelecimento de diagnósticos quantitativos na área de Fisioterapia Neuropediátrica.

Características da amostra: participação da pesquisa 3 Especialistas na área de Fisioterapia Neuropediátrica, graduados em Fisioterapia, com grau de mestre, e todos com experiência clínica e docente nesta área.

**Metodologia a ser utilizada:**

O projeto utilizará como metodologia o processo de Aquisição do Conhecimento, que deverá ocorrer através de entrevistas aplicadas aos especialistas. Estas entrevistas são estruturadas, isto é, previamente planejadas e agendadas.

O conhecimento oriundo destas entrevistas possibilitará a criação de uma base de conhecimento composta por 12 regras, cada uma referente a um dos meses do desenvolvimento motor normal.

1. As entrevistas serão realizadas de acordo com a disponibilidade de cada participante.
2. As informações coletadas via questionário ou perguntas orais serão analisadas em conjunto com aquelas obtidas de outros voluntários, sendo garantido o direito de confidencialidade – sigilo. Os dados serão utilizados para este estudo e publicação dos resultados desta avaliação, sendo preservada a identificação do voluntário.
3. Fica garantido, também, o direito de ser mantido informado sobre os resultados parciais e finais da pesquisa.
4. Antes, durante e após a participação no projeto, ficou claro para mim que não haverá nenhuma forma de pagamento (compensação financeira) relacionada à participação e às informações fornecidas.
5. Estou ciente de que poderei retirar o meu consentimento a qualquer momento, antes ou mesmo durante a realização do trabalho, sem necessidade de apresentar justificativas e, também, sem prejuízo ou perda de qualquer benefício que possa ter adquirido.
6. Desconforto e riscos:
  - O desconforto poderá ser causado pela demora da entrevista que poderá durar de 1 a 3 horas.
  - Os riscos aos voluntários serão o incomodo causado ao dispender tempo participando da entrevista.
  - Se necessário, a responsabilidade por ressarcimentos ou indenizações ficam à cargo do pesquisador responsável.
7. Benefícios esperados e acesso às informações obtidas:
  - O benefício deste trabalho está relacionado à perspectiva de se estabelecer diagnósticos quantitativos ao pacientes neuropediátricos, e assim, podem

informar com embasamento científico a sua evolução após a intervenção terapêutica.

- Fica garantido, também o direito de ser mantido informado sobre os resultados parciais e finais.

8. Critérios de inclusão e de exclusão:

- Para inclusão cada especialista na área de Fisioterapia Neuropediátrica deverá ser graduado em Fisioterapia, com grau de mestre, e possuir experiência clínica e docente na área.
- Serão excluídos os profissionais que não se enquadrarem a este perfil, ou que não possuírem disponibilidade de tempo para repasse de seu conhecimento.

Discuti com o pesquisador sobre minha participação neste estudo. Ficaram claros para mim os objetivos, que participarei de uma entrevista, as garantias de confidencialidade, e a possibilidade de esclarecimentos permanentes.

Eu,.....declaro que recebi informações sobre o projeto e ficou claro qual a finalidade do estudo e que participarei espontaneamente da entrevista.

-----

data ...../...../.....

Voluntário

-----

data ...../...../.....

Luciana Vieira Castilho-Weinert

Fisioterapeuta – CREFITO 8 / 49.150-F

Pesquisador Responsável



## ANEXO III

### TERMO DE CONSENTIMENTO PARA COLETA DE CASOS DE PACIENTES

#### TCLE - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Estas informações estão sendo fornecidas para sua participação voluntária no projeto intitulado: ONTOLOGIAS E TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADAS AO DIAGNÓSTICO EM FISIOTERAPIA NEUROPEDIÁTRICA

Pesquisador Responsável: Luciana Vieira Castilho-Weinert

RG: 6023183-4

CPF: 007075259-18

Crefito: 8 / 49150 - F

Endereço: Rua Lucio Costa, 114, apartamento 5, Balneário de Ipanema

Caixa Postal 55296 - CEP 83255-972 – Pontal do Paraná - Paraná

Telefone: 41-34571943

#### INFORMAÇÕES AO VOLUNTÁRIO

##### Objetivos e Justificativa do Estudo:

Este estudo tem como objetivo desenvolver uma metodologia formal para aquisição e representação do conhecimento referente ao diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica utilizando uma ontologia (que é uma estrutura para organização do conhecimento de forma hierárquica), e, após a criação desta base de conhecimento, desenvolver uma metodologia baseada em técnicas de Inteligência Artificial (através de um sistema informatizado) que possibilite o estabelecimento de diagnósticos quantitativos na área de Fisioterapia Neuropediátrica.

Características da amostra: serão coletados os dados da avaliação neurológica de 30 pacientes que possuam atraso no desenvolvimento motor, e cuja idade motora seja inferior a 12 meses.

**Metodologia a ser utilizada:**

A metodologia consistirá na coleta de dados de avaliação dos pacientes. A informante destes dados será a fisioterapeuta que avalia e atende as crianças semanalmente, isto é, não será realizado nenhum tipo de intervenção com estas crianças, apenas serão coletados dados já existentes, de sua avaliação.

A fisioterapeuta receberá um questionário e o preencherá de acordo com os dados de cada paciente. Após o preenchimento dos dados do desenvolvimento motor de cada paciente, a fisioterapeuta receberá uma escala visual analógica, e descreverá em quais meses do desenvolvimento motor normal este paciente se enquadra.

Uma vez coletados estes dados dos 30 casos reais, eles serão inseridos no sistema para quantificação do diagnóstico do paciente, embasando-se na idade motora. A metodologia para cálculo da quantificação do diagnóstico ocorrerá pela comparação do conhecimento do sistema desenvolvido (oriundo da aquisição do conhecimento com especialistas na área) com o conhecimento oriundo da avaliação de um novo paciente (dados da avaliação de um paciente real).

1. O questionário será aplicado de acordo com a disponibilidade da instituição.
2. As informações coletadas via questionário ou perguntas orais serão analisadas em conjunto com aquelas obtidas de outros voluntários, sendo garantido o direito de confidencialidade – sigilo. Os dados serão utilizados para este estudo e publicação dos resultados desta avaliação, sendo preservada a identificação dos voluntários.
3. Fica garantido, também, o direito de ser mantido informado sobre os resultados parciais e finais da pesquisa.
4. Antes, durante e após a participação no projeto, ficou claro para mim que não haverá nenhuma forma de pagamento (compensação financeira) relacionada à participação e às informações fornecidas.
5. Estou ciente de que poderei retirar o meu consentimento a qualquer momento, antes ou mesmo durante a realização do trabalho, sem necessidade de apresentar justificativas e, também, sem prejuízo ou perda de qualquer benefício que possa ter adquirido.
6. Desconforto e riscos:
  - O desconforto poderá ser causado pela demora da coleta dos dados das avaliações.

- Os riscos serão o incomodo causado ao dispendir tempo informando os dados dos pacientes.
- Se necessário, a responsabilidade por ressarcimentos ou indenizações ficam à cargo do pesquisador responsável.

7. Benefícios esperados e acesso às informações obtidas:

- O benefício deste trabalho está relacionado à perspectiva de se estabelecer diagnósticos quantitativos ao pacientes neuropediátricos, e assim, podem informar com embasamento científico a sua evolução após a intervenção terapêutica.
- Fica garantido, também o direito de ser mantido informado sobre os resultados parciais e finais.

8. Critérios de inclusão e de exclusão:

- Para inclusão serão consideradas as avaliações dos pacientes que possuem atraso psicomotor, freqüentarem o setor de Fisioterapia da instituição, e possuem idade motora inferior a 12 meses.
- Serão excluídas as avaliações de pacientes com idade motora superior a 12 meses, ou que possuem atraso que curse apenas com prejuízos cognitivos.

Discuti com o pesquisador sobre minha participação neste estudo. Ficaram claros para mim os objetivos, as garantias de confidencialidade, e a possibilidade de esclarecimentos permanentes.

Eu,.....declaro que recebi informações sobre o projeto e ficou claro qual a finalidade do estudo e que participarei espontaneamente da entrevista.

-----

data ...../...../.....

Voluntário

-----

data ...../...../.....

Luciana Vieira Castilho-Weinert

Fisioterapeuta – CREFITO 8 / 49.150-F

Pesquisador Responsável



## ANEXO IV

### **TERMO DE CONSENTIMENTO PARA APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIOS DE OPINIÃO A PROFISSIONAIS, SOBRE O USO DE ONTOLOGIAS NA EDUCAÇÃO**

#### **TCLE - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido**

Estas informações estão sendo fornecidas para sua participação voluntária no projeto intitulado: ONTOLOGIAS E TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADAS AO DIAGNÓSTICO EM FISIOTERAPIA NEUROPEDIÁTRICA

Pesquisador Responsável: Luciana Vieira Castilho-Weinert

RG: 6023183-4

CPF: 007075259-18

Crefito: 8 / 49150 - F

Endereço: Rua Lucio Costa, 114, apartamento 5, Balneário de Ipanema

Caixa Postal 55296 - CEP 83255-972 – Pontal do Paraná - Paraná

Telefone: 41-34571943

#### **INFORMAÇÕES AO VOLUNTÁRIO**

##### **Objetivos e Justificativa do Estudo:**

Este estudo tem como objetivo desenvolver uma metodologia formal para aquisição e representação do conhecimento referente ao diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica utilizando uma ontologia (que é uma estrutura para organização do conhecimento de forma hierárquica). Após a criação desta base de conhecimento, pretende-se desenvolver uma metodologia para a utilização da ontologia como recurso didático no processo de ensino-aprendizagem.

Características da amostra: participarão da pesquisa 30 profissionais graduados em Fisioterapia.

**Metodologia a ser utilizada:**

Serão aplicados questionários de opinião, sobre o impacto da utilização de ontologias para o ensino em Fisioterapia Neuropediátrica. Em um primeiro momento ocorrerá a demonstração do potencial da ontologia como recurso didático-pedagógico voltado para o ensino do diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica, e na seqüência os profissionais responderão a uma pesquisa de opinião.

1. A pesquisa será realizada de acordo com a disponibilidade dos participantes.
2. As informações coletadas via questionário serão analisadas em conjunto com aquelas obtidas de outros voluntários, sendo garantido o direito de confidencialidade – sigilo. Os dados serão utilizados para este estudo e publicação dos resultados desta avaliação, sendo preservada a identificação do voluntário.
3. Fica garantido, também, o direito de ser mantido informado sobre os resultados parciais e finais da pesquisa.
4. Antes, durante e após a participação no projeto, ficou claro para mim que não haverá nenhuma forma de pagamento (compensação financeira) relacionada à participação e às informações fornecidas.
5. Estou ciente de que poderei retirar o meu consentimento a qualquer momento, antes ou mesmo durante a realização do trabalho, sem necessidade de apresentar justificativas e, também, sem prejuízo ou perda de qualquer benefício que possa ter adquirido.
6. Desconforto e riscos:
  - O desconforto poderá ser causado por tomar tempo do participante durante a o preenchimento da pesquisa.
  - Os riscos aos voluntários serão o incomodo causado ao dispender tempo participando da pesquisa.
  - Se necessário, a responsabilidade por ressarcimentos ou indenizações ficam à cargo do pesquisador responsável.
7. Benefícios esperados e acesso às informações obtidas:
  - O benefício deste trabalho está relacionado à perspectiva de se desenvolver uma ferramenta voltada para o ensino, que possa facilitar, através de recursos multimídia, o processo de ensino-aprendizagem dos conteúdos de diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica.

- Fica garantido, também o direito de ser mantido informado sobre os resultados parciais e finais.

8. Critérios de inclusão e de exclusão:

- Serão incluídos os profissionais graduados em Fisioterapia, e, preferencialmente que atuem na área docente.
- Serão excluídos os graduados em outras áreas do conhecimento.

Discuti com o pesquisador sobre minha participação neste estudo. Ficaram claros para mim os objetivos, as garantias de confidencialidade, e a possibilidade de esclarecimentos permanentes.

Eu,.....declaro que recebi informações sobre o projeto e ficou claro qual a finalidade do estudo e que participarei espontaneamente da entrevista.

-----

data ...../...../.....

Voluntário

-----

data ...../...../.....

Luciana Vieira Castilho-Weinert

Fisioterapeuta – CREFITO 8 / 49.150-F

Pesquisador Responsável



## ANEXO V

### **TERMO DE CONSENTIMENTO PARA APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIOS DE OPINIÃO A ALUNOS, SOBRE O USO DE ONTOLOGIAS NA EDUCAÇÃO**

#### **TCLE - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido**

Estas informações estão sendo fornecidas para sua participação voluntária no projeto intitulado: ONTOLOGIAS E TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADAS AO DIAGNÓSTICO EM FISIOTERAPIA NEUROPEDIÁTRICA

Pesquisador Responsável: Luciana Vieira Castilho-Weinert

RG: 6023183-4

CPF: 007075259-18

Crefito: 8 / 49150 - F

Endereço: Rua Lucio Costa, 114, apartamento 5, Balneário de Ipanema

Caixa Postal 55296 - CEP 83255-972 – Pontal do Paraná - Paraná

Telefone: 41-34571943

#### **INFORMAÇÕES AO VOLUNTÁRIO**

##### **Objetivos e Justificativa do Estudo:**

Este estudo tem como objetivo desenvolver uma metodologia formal para aquisição e representação do conhecimento referente ao diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica utilizando uma ontologia (que é uma estrutura para organização do conhecimento de forma hierárquica). Após a criação desta base de conhecimento, pretende-se desenvolver uma metodologia para a utilização da ontologia como recurso didático no processo de ensino-aprendizagem.

Características da amostra: participação da pesquisa 20 alunos que estejam cursando a Pós-graduação em Neurologia com ênfase em Neuropediatria do IBRATE.

**Metodologia a ser utilizada:**

Serão aplicados questionários de opinião, sobre o impacto da utilização de ontologias para o ensino em Fisioterapia Neuropediátrica. Em um primeiro momento ocorrerá a demonstração do potencial da ontologia como recurso didático-pedagógico voltado para o ensino do diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica, e na sequência os alunos responderão a uma pesquisa de opinião.

1. A pesquisa será realizada de acordo com a disponibilidade dos participantes.
2. As informações coletadas via questionário serão analisadas em conjunto com aquelas obtidas de outros voluntários, sendo garantido o direito de confidencialidade – sigilo. Os dados serão utilizados para este estudo e publicação dos resultados desta avaliação, sendo preservada a identificação do voluntário.
3. Fica garantido, também, o direito de ser mantido informado sobre os resultados parciais e finais da pesquisa.
4. Antes, durante e após a participação no projeto, ficou claro para mim que não haverá nenhuma forma de pagamento (compensação financeira) relacionada à participação e às informações fornecidas.
5. Estou ciente de que poderei retirar o meu consentimento a qualquer momento, antes ou mesmo durante a realização do trabalho, sem necessidade de apresentar justificativas e, também, sem prejuízo ou perda de qualquer benefício que possa ter adquirido.
6. Desconforto e riscos:
  - O desconforto poderá ser causado por tomar tempo do participante durante a o preenchimento da pesquisa.
  - Os riscos aos voluntários serão o incomodo causado ao dispender tempo participando da pesquisa.
  - Se necessário, a responsabilidade por ressarcimentos ou indenizações ficam à cargo do pesquisador responsável.
7. Benefícios esperados e acesso às informações obtidas:
  - O benefício deste trabalho está relacionado à perspectiva de se desenvolver uma ferramenta voltada para o ensino, que possa facilitar, através de recursos

multimídia, o processo de ensino-aprendizagem dos conteúdos de diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica.

- Fica garantido, também o direito de ser mantido informado sobre os resultados parciais e finais.

8. Critérios de inclusão e de exclusão:

- Serão incluídos alunos que estiverem cursando a Pós-graduação em Neurologia com ênfase em Neuropediatria e forem graduados em Fisioterapia.
- Serão excluídos aqueles que forem graduados em outras áreas do conhecimento.

Discuti com o pesquisador sobre minha participação neste estudo. Ficaram claros para mim os objetivos, as garantias de confidencialidade, e a possibilidade de esclarecimentos permanentes.

Eu,.....declaro que recebi informações sobre o projeto e ficou claro qual a finalidade do estudo e que participarei espontaneamente da entrevista.

-----

data ...../...../.....

Voluntário

-----

data ...../...../.....

Luciana Vieira Castilho-Weinert

Fisioterapeuta – CREFITO 8 / 49.150-F

Pesquisador Responsável



**ANEXO VI**

**PUBLICAÇÃO EM CONGRESSO INTERNACIONAL**



## Modeling and Building an Ontology for Neuropediatric Physiotherapy Domain

Luciana V. Castilho  
Federal University of  
Technology – Paraná,  
Av. 7 de setembro, 3165,  
Curitiba, Brazil  
luciana.neurologia@gmail.com

Heitor S. Lopes<sup>1</sup>  
Federal University of  
Technology – Paraná,  
Av. 7 de setembro, 3165,  
Curitiba, Brazil  
hslopes@pesquisador.cnpq.br

César A. Tacla  
Federal University of  
Technology – Paraná,  
Av. 7 de setembro, 3165,  
Curitiba, Brazil  
tacla@cpgei.cefetpr.br

### Abstract

*This paper presents a methodology for modeling and building an ontology for the domain of Neuropediatric Physiotherapy. This is an area of great importance for health sciences and includes diagnosis, treatment and evaluation of patients with neurological injuries. The domain knowledge is, by nature, complex, ambiguous and non-standardized. We present formal methods for knowledge acquisition and representation, and building an ontology for the domain. The completeness and consistency of formal model was verified. The resulting knowledge-base yielded production rules employed in an expert system used by physiotherapists as a decision support aid in diagnosis. Overall, the main contribution of the work is a domain ontology based on consensus vocabulary for an important area of health sciences.*

### 1. Introduction

In Physiotherapy, as well as in Medicine, there are different areas of specialization. One of them is Neuropediatric Physiotherapy that includes diagnosis, technical procedures and evaluation of patients that have motor or postural diseases due to lesions in the central nervous system [1].

There are many reference publications focusing all aspects of the diagnostic procedures in this area, as well as the clinical treatment in Neuropediatric Physiotherapy. However, not all physiotherapists (and

related health professionals) have extensive knowledge of such domain.

Recent developments of information technology and the widespread availability of the internet have lead to huge amounts of data in all segments of human knowledge, including those related with health [2]. Physiotherapy in general, and, more specifically, Neuropediatric Physiotherapy, is a domain where knowledge is subjective by nature and concepts are poorly systematized. This is the main drawback for creating a consensus vocabulary and, consequently, sharing and reuse of data, information and knowledge.

Therefore, we believe that modeling and developing a formal structure for representing knowledge in the domain of Neuropediatric Physiotherapy can be of great interest not only for Physiotherapy, but also, for other health-related areas, where subjectiveness and non-standardized information is present.

The objectives of this work are: (1) Apply formal procedures for modeling knowledge in the Neuropediatric Physiotherapy domain; (2) Develop a reusable and extensible ontology for representing knowledge in that domain; (3) Create a knowledge base capable of allowing inferences about diagnosis of real patients; (4) Develop an expert system for decision support in the domain area, based on the rules from the knowledge base.

### 2. Neuropediatric Physiotherapy

As mentioned before, Neuropediatric Physiotherapy is an area that includes diagnosis, treatment and evaluation of patients. Such patients, usually babies or young children, have to be frequently evaluated by the physiotherapist in order to observe the progress of treatment [1,3].

<sup>1</sup> This work was partially supported by the Brazilian National Research Council - CNPq, under research grant no. 309262/2007-0 to H.S. Lopes.

When a child with neurological lesion is under diagnosis by a physiotherapist, its motricity and movement functionality is evaluated, regarding to the normal motor development. For instance, a normal child of 8 months old of *chronological age* is expected to have also 8 months old of *motor age*. On the other hand, a child affected by a neurological lesion can have 8 months old of chronological age, but 2 months old of motor age. This discrepancy is considered as a motor delay or abnormal condition. Starting from this presupposition, the physiotherapist is in charge of analyzing all the complex components of the normal motor development to be stimulated during the treatment of the patient. The objective is to foster motor development in such a way to make motor and chronological ages to match.

To treat children with neurological lesions, the physiotherapist must know the normal motor development (NMD) of a child, with all its peculiarities, so as to be able to recognize what would be abnormal. Therefore, the several steps of NMD are used as reference in the diagnosis procedure, as well as during treatment [4].

Understanding the underlying complexity, the extension, and non-standardization of terms in Neuropediatric Physiotherapy, it becomes clear the importance of correctly diagnosing to be able to carry out an effective treatment. It is in this scenery where the building an ontology takes place, establishing clear and definite concepts and relationships.

### 3. Knowledge acquisition & representation and ontologies

Knowledge acquisition or knowledge elicitation can be defined as the extraction, representation and transference of information from a knowledge source, usually a human expert, to a computer program. The objective is to obtain the detailed knowledge used by the expert to solve a given problem. Amongst the several techniques for knowledge acquisition it is worth to mention: text analysis, behavior analysis and interviews (directed, structured and semi-structured) [5].

Knowledge representation is a way to create a formal model of the expert's knowledge in a given area, such that it can be properly used in a computer program. Many different structures can be used for formalizing and organizing knowledge. Particularly, in recent years, ontologies have received great attention. Ontologies are formal descriptions of a domain knowledge based on concepts and their relationships [6]. They are efficient for creating a common

vocabulary between experts in order to share and reuse knowledge, using an accurate semantic.

Gruber [7] defined ontology as a formal and explicit specification of a shared conceptualization. According to Fensel [8], in this definition it is important to understand the meaning of some words: "conceptualization" refers to an abstract model of a given phenomenon; "explicit" means that concepts and their limits have to be clearly and defined; "formal" denotes that the ontology have to be processed by a computer; finally, "shared" indicates that knowledge have to be consensual between experts. Therefore, in this work, the development of an ontology for Neuropediatric Physiotherapy aims at creating a consistent terminology that can be shared and reused and supports a knowledge-based system.

Guarino [9] argues that ontology is a logical theory that considers the aimed meaning of a formal vocabulary. Consequently, the structure of an ontology is formed by: a set of concepts or classes, a hierarchy or taxonomy between those concepts, a set of functions or properties, and a set of axioms [6].

Ontologies are important tools for the development of knowledge-based systems. Knowledge-based models need an ontological commitment because it considers the semantics of a conceptualization [10]. Ontologies are the base of very large projects of knowledge representation, such as CYC [11] and KACTUS [12], and those related to health and medicine, e.g., SNOMED-CT [13].

### 4. Methodology

The development of ontologies requires an ontology engineer (or ontologist) who has some knowledge about the domain and familiarity with the several approaches for knowledge representation [2]. Building an ontology is a labor-intensive activity and becomes even more complex due to the absence of a standard vocabulary in the Neuropediatric Physiotherapy domain.

Ushold [14] emphasizes that there is no unified methodology capable of fulfilling all requirements for modeling any domain. In this work we followed the two steps associated with the development of an ontology, as proposed by Zhou et al. [2]: (i) knowledge acquisition and management of the concepts between different sources of information (management of conflicting opinions), and (ii) implementation of the ontology itself using the represented knowledge.

To ensure the quality of the ontology, the development was based on the following principles:

1. Progressive refinement. We started with the construction of a small prototype, and then extending the terminology progressively by

incorporating more and more concepts and axioms.

2. Consistence evaluation. Evaluating consistency is essential in the building of any ontology, because it may avoid ambiguity and fosters standardization of the vocabulary.
3. Consensus vocabulary. Since multiple sources of knowledge are needed to build an ontology (human experts and updated literature), it is always necessary to establish consensus and manage conflicts of opinion.

#### 4.1 Knowledge acquisition

The classical artificial intelligence suggests that the knowledge engineer should use a single knowledge source (expert) [5]. However, in this work we use an ontology for representing knowledge. The main authors in this area recommend that ontologies should be based by a consensus of a group of experts [7, 9]. Therefore, to cope with such contradiction, we decided to engage three expert physiotherapists. All of them had extensive expertise in Neuropediatric Physiotherapy, including educational (theoretical) and therapeutic (practical) experience.

Experts took part of several individual interviews. First, previously planned semi-structured interviews were used, and then, structured interviews for deepening specific subjects. To meet the requirements of the domain, on those interviews we adopted a six-phase questioning system proposed by LaFrance [15]:

1. Broad overview: a semi-structured interview was applied to the experts aiming at to understand the reasoning used during both diagnosis and therapy.
2. Categories cataloguing: all the classes (concepts) and subclasses relative to the domain were clearly defined.
3. Attribute detailing: structured interviews were carried out for analyzing how frequent was the use of each concept for different types of diagnostic outcomes.
4. Weight determination: weighting factors for each diagnostic class and subclass were obtained
5. Cross correlation: a consistency check was done after experts have exanimate all the information stored necessary for creating the ontology for Neuropediatric Physiotherapy.

Another important issue in the knowledge acquisition process is managing conflicts and divergence of opinions between experts. We used the methodology known as IBIS (Issue-Based Information

System) [16] to manage conflicts between experts. This methodology helps to evolve a divergence of opinions to a convergence, thus emerging a consensus. When the knowledge engineer comes upon a question with different answers from the experts, he/she decides in favor of the one with better arguments. That is, the answer that is better supported by approval or justification. When two answers have justifications, one should choose the one with the large number of supporting arguments.

When finished the knowledge acquisition process with the experts, all information collected was checked against the main textbooks in Neuropediatric Physiotherapy [1, 3, 17].

As result of the knowledge acquisition process, the relevant information for diagnosis was grouped into five main classes: reflexes, reactions, movement plans, movement patterns and motor skills. The divisions of these classes were also defined, as well as all relationships between the classes of the ontology.

#### 4.2 Knowledge representation in the ontology

Acquired knowledge was represented in a hierarchical structure of an ontology.

First, a taxonomy of terms was created with the main concepts (classes): *MotorAge* (corresponding to the diagnosis), *NormalMotorDevelopment* (NMD – set of characteristics belonging to a given diagnosis) and *Patients* (representing specific cases). This hierarchy was refined by creating subclasses from derived concepts: *MotorAge* included the 12 first months of life; *NormalMotorDevelopment* included the main components analyzed by the physiotherapist (reflexes, reactions, movement plans, movement patterns, motor skills and values); and *Patients* included some case-studies of real patients. Subclasses of *NormalMotorDevelopment* were later refined.

Next, the properties pertaining to each motor age (diagnosis) were represented, including their respective components of the NMD. An example is the property *hasReflex* that connects individuals of the *Reflex* class with individuals of *MotorAge* class. For the full description of the domain, the definition axioms of each subclass of *MotorAge* were declared, thus fulfilling the components of NMD necessary to accomplish the diagnosis.

The tool chosen for knowledge representation was an ontology because it allows the formal representation of tacit knowledge (kept in mind of the experts, but not concretely expressed) usually found in the domain area.

During the development of the ontology, two methodologies were used: Methontology [18] and On-

To-Knowledge Methodology [19]. To model the ontology, the following steps of the life-cycle of Methontology were done: development, managing and support. In the development process the following activities were done: specification, conceptualization, formalization, implementation and maintenance. In the management process, the control and quality assurance activities were done. The support process was done in parallel to the previous mentioned processes, accomplishing knowledge acquisition, evaluation (analysis of competencies issues and coherence of the taxonomy) and documentation activities. It is important to note that in the specification activity, the principles of On-To-Knowledge Methodology were extensively used.

The implementation of the ontology was done using a computational tool for editing, Protégé<sup>2</sup>, version 3.3.1. This tool has extensible architecture, allows good level of details, and its interface is user-friendly. The formal language for representation chosen was OWL-DL (Web Ontology Language – Description Logic), which is recommended by World Wide Web Consortium (W3C).

### 4.3 Consistency checking

Inference mechanisms are not explicitly defined in an ontology, although it is possible to reason about the properties of the domain represented by the ontology. Such inference mechanisms can be used to check the logical structure of the model and make inferences about the domain. Therefore, they can be used to crosscheck the consistency of the model and its generalization capability, as well as its relationships and instantiations.

Ontologies allow the distinction between intentional knowledge (general knowledge about the problem domain) and extensional knowledge (specific knowledge about a particular problem). Typically, in an ontology-based knowledge base, the Description Logic (DL) is composed by two components: a *TBox* and an *ABox* [20]. The *TBox* contains the intentional knowledge in the form of a terminology and it is constructed by declarations that describe general properties of concepts. The basic form of a declaration in a *TBox* is a concept definition. That is, the definition of a new concept based on other previously defined.

For checking the consistency of the developed ontology, we used a tool, named RACER (*Renamed ABox and Concept Expression Reasoner Professional*), together with the other tools

<sup>2</sup> <http://protege.stanford.edu/>

available in the Protégé system. RACER implements the *Tableau* algorithm, with which the following checking were done in a *TBox*:

- Subordination or subclassification: starting from the declared constraints in each class, try to infer if a class is subclass of another one;
- Satisfiability or concept consistence: analyze if there is some interpretation capable of satisfying the axiom such that the concept denotes a non-empty set in the interpretation;
- Equivalence: verify if two concepts are equivalent;
- Disjunction: determine if two disjoint concepts share the same instance;

### 4.4 Expert system development

Representing knowledge using an ontology and the creation of definition axioms in this ontology allowed the thorough description of concepts related to the intended domain of Neuropediatric Physiotherapy. Those axioms made possible to build a knowledge base of 12 rules, each one capable of classifying a patient in a *motor age* between 1 to 12 months old.

Those rules were implemented in a shell for developing expert systems, named SINTA<sup>3</sup>. An expert system using this shell enquires the user for information and checks the rule base. Through forward chaining, it first tries to construct, by deduction, a proof for rule 1. If there is a match between the provided information and the antecedents of the rule, the case is classified as belonging to “month 1” of motor age. Otherwise, it turns to the next rule, trying to prove it, and so on until one of the 12 rules is proved. This simple expert system can be useful for decision-support in the diagnosis of Neuropediatric Physiotherapy.

## 5. Results and Discussion

This section presents the main results and acquired experience during the development of the ontology.

In the knowledge acquisition phase, during the structured interviews with the three domain experts, 12 questionnaires were requested to be filled in by them. These questionnaires had 49 items each, making up a total of 588 items evaluated.

It is important to note that, in Neuropediatric

<sup>3</sup> <http://www.lia.ufc.br>

Physiotherapy, as well as in many health sciences, there are different schools of thought that direct the professional practice, giving different approaches to the diagnosis problem. Due to the difference of approaches between schools of thought, it could be quite difficult to establish consensual knowledge, thus making it impracticable to build an ontology. As a consequence of the lack of consensus, the created knowledge base could be inconsistent, thus making it useless for decision-support. Therefore, this work is directed towards the most widely spread school, created by Karel and Bertha Bobath [1, 3, 4], usually referred to as Neurodevelopment Treatment. As mentioned in section 4.1, knowledge acquisition was carried out with three expert physiotherapists. All of them belonged to the same school of thought, thus taking more consistency and reliability to the resulting ontology and the knowledge-base. Even so, considering the large number of items to be evaluated by the experts, some divergences of opinions occurred. The occurrence of conflicts was relatively low, corresponding to only 7% of the items (that is, 41 out of 588). Such level of divergence between experts of the same school is promptly manageable and the IBIS methodology was adequate and efficient for this task.

Knowledge representation was carried out using Protégé. Figure 1 shows the high-level class hierarchy of the developed ontology. The classes mentioned in the figure are those defined in section 4.2. Notice that class *NormalMotorDevelopment* includes all components of the NMD (not expanded in the figure) necessary for the diagnosis of the patient in each class of *MotorAge*. Class *Values* includes the (relative) intensities of each component of the NMD.

This hierarchical structure gives as result the full organization and formalization of diagnostic knowledge in Neuropediatric Physiotherapy. The current version of the developed ontology is composed by 100 classes and subclasses, 30 properties and 200 axioms. This ontology allowed the creation of vast consensus vocabulary for the domain, including concepts with full definitions through their relationships and axioms.

The detailed definitions of the concepts and their relationships allow the creation of a production rule base. Therefore, the terminology and the structured knowledge obtained through the ontology was the base for an expert system used for decision-support. This system helps and guides the user in the diagnosis process, by means of a user-friendly interface. Besides, it can be useful for teaching the decision pathway, since the Expert SINTA shell has debug and explanation tools. It can provide explanation of the results obtained during the inference procedure, in the

form of a decision tree with all steps of the diagnosis.

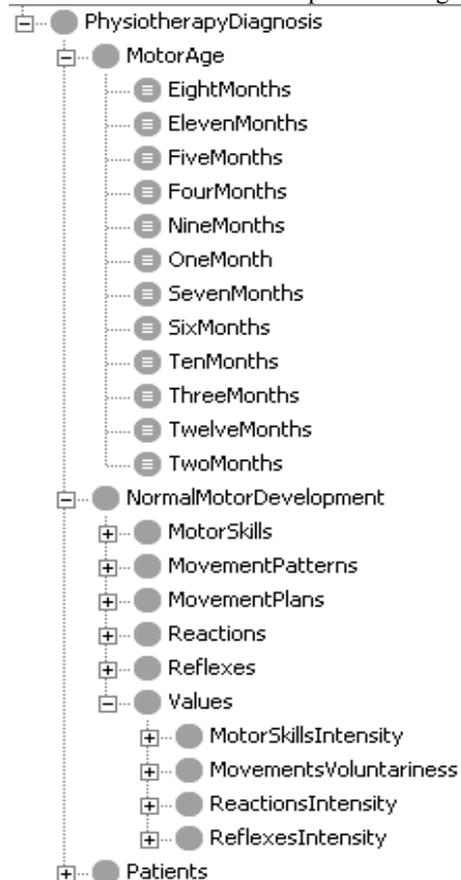


Figure 1. High-level class hierarchy.

## 6. Conclusions and future work

In this work knowledge was elicited from domain experts and complemented from reference textbooks. Knowledge was represented formally as an ontology, using well-defined methodological procedures. The formalism inherent to the methodology allowed the development of a knowledge-base which completeness and consistency were verified. Such ontology represents a consensus vocabulary in the domain of Neuropediatric Physiotherapy diagnosis, allowing knowledge reuse and sharing. It is important to recall the integration of different artificial intelligence-based methodologies, such as the LaFrance's questioning technique, the IBIS methodology for managing opinion conflicts, the Methontology and On-To-Knowledge Methodology for developing the ontology.

Overall, the use of an ontology for structuring knowledge was helpful not only for categorizing the collected information into hierarchies of concepts, but also, to comprehend the relationships between

concepts, and, mainly, allowed full definition of concepts using axioms. These axioms supplied the necessary knowledge for creating production rules for an expert system. According to Russel and Norvig [5], testing an expert system is a complex task, and requests expert-supplied instances of the problem (different from those used to build the system). Usually, it may include other experts to whom the expert system performance will be compared. Although a reasonable level of completeness and consistency is assured by the formal methodology used in the development, extensive testing of the expert system is outside the scope of this work and is left for future work. Another future application of the ontology and the expert system will be in the instructional area. It is believed that the developments described can have great applicability as computer-assisted instructional tools for the Physiotherapy area.

## 7. References

- [1] Bly, L, *Motor Skills Acquisitions in the First Year*, Therapy Skill Builders, USA, 1994.
- [2] X. Zhou, Z. Wu, A. Yin, L. Wu, W. Fan and R. Zhang, "Ontology Development for Unified Traditional Chinese Medical Language System", *Artificial Intelligence in Medicine*, vol. 32, no. 1, 2004, pp. 15-27.
- [3] Levitt, S, *Treatment of Cerebral Palsy and Motor Delay*, Blackwell Science, Oxford, 1995.
- [4] C.A. Torre, "Follow up and Purpose of Physiotherapy Treatment for Teenagers and Young Adults With Cerebral Palsy", *Brain & Development*, vol. 23, no. 3, pp. 170-178, 2001.
- [5] Russel, S.J. and P. Norvig, *Artificial Intelligence: a Modern Approach*, 2<sup>nd</sup>. Edition, Prentice-Hall, New Jersey, 2003.
- [6] A. Gómez-Pérez, "Ontological Engineering: a State of the Art", *Expert Update*, vol. 2, no. 3, 1999, pp. 33-43.
- [7] T.R. Gruber, "A Translation Approach to Portable Ontology Specifications", *Knowledge Acquisition*, vol. 5, no. 2, 1993, pp. 199-220.
- [8] D. Fensel, "The Semantic Web and its Languages", *IEEE Intelligent Systems*, vol. 15, no. 6, 2000, pp. 67-73.
- [9] Guarino, N. *Formal Ontology and Information Systems*, IOS Press, Amsterdam, 1998.
- [10] N.F. Noy and C.D. Hafner. "The State of the Art in Ontology Design: a Survey and Comparative Review", *AI Magazine*, vol. 18, no. 3, 1997, pp. 53-74.
- [11] D.B. Lenat, "CYC: a Large-scale Investment in Knowledge Infrastructure", *Communications of the ACM*, vol. 38, no. 1, 1995, pp. 33-38.
- [12] G. Schreiber, B. Wielinga and W. Jansweijer, "The Kactus View on the 'o' Word", *Proceedings of the Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing*, AAAI Press, Montreal, 1995.
- [13] K.A. Spackman, K.E. Campbell and R.A. Cote. "SNOMED-RT: a reference terminology for health care", *Proceedings of the American Medical Informatics Association Fall Symposium*, 1997.
- [14] M. Uschold, "Building Ontologies: towards a unified methodology", *Proceedings of the 16<sup>th</sup> Annual Conference of the British Computer Society Specialist Group on Expert Systems*, Cambridge, 1996.
- [15] M. LaFrance, "The Knowledge-acquisition Grid: a Method for Training Knowledge Engineers", *Journal of Man-Machine Studies*, vol. 26, no. 2, 1987, pp. 245-255.
- [16] H.W.J. Rittel, and M. Webber, "Dilemmas in a General Theory of Planning", Elsevier, Amsterdam, *Policy Sciences*, vol. 4, no. 2, 1973, pp. 155 – 169.
- [17] Flehmig, I. *Normal Infant Development And Borderline Deviations, Early Diagnosis And Therapy*, Thieme Medical Pub, Switzerland, 1992.
- [18] M. Fernández, A. Gómez-Pérez, and N. Jurino, "Methontology: From Ontological art Towards Ontological Engineering", In: *Proceedings of the AAAI-Spring Symposium on Ontological Engineering*, AAAI Press, Stanford, 1997.
- [19] Sure, Y. and R. Studer, *On-To-Knowledge Methodology: Final Version*, Institute of Applied Informatics and Formal Description Methods, University of Karlsruhe, 2002.
- [20] Baader, F., D. Calvanese, D. McGuinness, D. Nardi and P. Patel-Schneider, *The Description Logic Handbook: Theory, Implementation and Applications*, 2<sup>nd</sup>. Edition, Cambridge University Press, Cambridge, 2007.

**ANEXO VII**

**PUBLICAÇÃO EM CAPÍTULO DE LIVRO INTERNACIONAL**



# An Ontology-Based System for Knowledge Management and Learning in Neuropediatric Physiotherapy

Luciana V. Castilho and Heitor S. Lopes

Federal University of Technology - Paraná,  
Bioinformatics Laboratory / CPGEI  
Av. 7 de setembro, 3165, Curitiba, Brazil  
luciana.neurologia@gmail.com, hslopes@utfpr.edu.br

**Abstract.** This chapter first presents an extensive review of the current state of art in knowledge management and ontologies. Next, we propose a methodology for modeling and building an ontology-based system for knowledge management in the domain of Neuropediatric Physiotherapy and its application to supporting learning. This area of Physiotherapy includes diagnosis, treatment and evaluation of patients with neurological injuries. The domain knowledge in Physiotherapy is, by nature, complex, ambiguous and non-standardized. In this work knowledge was elicited from domain experts and complemented with information from reference textbooks. The acquired knowledge was represented as an ontology. The formal procedures allowed the development of a knowledge-base for further use in an educational tool. The completeness and consistency of formal model was verified. Overall, the main contribution of the work are a domain ontology based on consensus vocabulary for an important area of health sciences, and the possibility of using it as a tool for supporting the learning of undergraduate students. In particular, the application of the ontology for learning in Physiotherapy is of great importance, since it includes multimedia resources as well as active learning concepts, together with traditional instructional methods.

**Keywords:** ontology, knowledge management, neuropediatric physiotherapy, learning.

## 1 Introduction

Similarly to Medicine, Physiotherapy also has different areas of specialization. One of them is the Neuropediatric Physiotherapy that includes diagnosis, technical procedures and continuous evaluation of patients that have motor or postural diseases due to lesions in the central nervous system [1].

There are many reference publications focusing all aspects of diagnosis and clinical treatment in Neuropediatric Physiotherapy. However, not all physiotherapists have extensive knowledge of such domain [1].

Recent developments of information technology and the widespread availability of the internet have lead to huge amounts of data in all segments of human knowledge, including those related with health sciences [2]. Physiotherapy in general, and, more

specifically, Neuropediatric Physiotherapy, is a domain where knowledge is subjective by nature and concepts are poorly systematized. This has been the main drawback for creating a consensus vocabulary and, consequently, sharing and reuse of data, information and knowledge. Efforts towards this issue would allow efficient management of technical knowledge in this area, by organizing, validating, maintaining and spreading the available expert knowledge. As side effect, both teaching and learning could be enhanced, by introducing formalized concepts and vocabulary.

Modeling and developing a formal structure for representing knowledge in the domain of Neuropediatric Physiotherapy can be of great interest and an important contribution not only for Physiotherapy, but also, for other health-related areas. Such areas are frequently characterized by subjectiveness and the use of non-standardized information. Therefore, they could benefit from the use of knowledge management methodologies.

An ontology is a formal description of a given knowledge domain based on concepts and relationships. Recent literature has demonstrated that such approach is an efficient way to structure knowledge in many areas. This is the formal approach used in this work, which methodology can be extended to other similar areas.

Besides the importance of ontologies for knowledge management, we will show that a developed ontology can be also useful for the teaching-learning process in the related area. Ontologies are frequently used for the development of consensus vocabulary. However, the use of ontologies for learning is poorly explored, especially in the health-related areas.

The objectives of this work are: (1) apply formal procedures for knowledge management in the specific domain of Neuropediatric Physiotherapy; (2) develop a reusable and extensible ontology for representing knowledge in that domain; (3) propose a methodology for using the developed ontology as an educational tool in Neuropediatric Physiotherapy.

## 2 Knowledge Acquisition and Representation

In the Artificial Intelligence (AI) area, the word “knowledge” means the information that a computer program needs to solve problems in such a way considered intelligent [3].

Knowledge is made up of data and information [4] Data are raw, isolated facts. Information is a set of organized facts. The term information is defined in a more generic sense as knowledge obtained from investigation, study, or instruction. Finally, knowledge is information within a context [5]. Knowledge leverages experience and interpretation to make sense out of information and data. In other words, knowledge is a set (information) of facts (data) and relationships (context) used or needed to obtain insight or to solve a problem [6].

Knowledge can be of two types: explicit and tacit (or implicit) [7]. Explicit knowledge is the one that is available in concrete media (such as books or CD-ROMs) and can be easily shared among people. The tacit knowledge refers to the individual knowledge that aggregates the experience and intuition of each one. Tacit knowledge is implied or understood from the context without being actually stated. It is accepted that people knows much more than they can speak about or transmit [8]. Therefore,

the knowledge acquisition process from a given expert domain may be quite difficult, if tacit knowledge is wanted to acquire.

Overall, the knowledge acquisition and representations can be considered as a linear and hierarchical progression, in which data are converted into information, and information is converted into knowledge [4].

## 2.1 Knowledge Acquisition

The Knowledge Acquisition (KA) process includes elicitation, transformation and transfer of information from a knowledge source to a computer program. The objective of KA is to obtain specialized knowledge from an expert to solve problems [9].

The KA process is usually divided into two stages: initial analysis, when it is decided which knowledge is necessary; and knowledge elicitation and interpretation, when the knowledge itself is acquired from the expert [3].

The main potential knowledge sources are the human experts. Also, other sources of explicit knowledge are considered as complimentary, such as textbooks, data bases, experimental reports, as well the personal experience of the knowledge engineer [10].

There are several techniques for KA, such as text analysis, behavioral analysis, analysis of scenarios and interviews.

In the text analysis, knowledge is extracted by means of a careful analysis of textbooks accepted as reference in the corresponding area. This is an indirect way by which the knowledge engineer tries to assimilate knowledge from the expert (who wrote the textbook). This method has the advantage of being possible without the need of a human expert. However, this is also its main drawback, since the direct contact with the expert is much more efficient for explaining terminology and clarifying possible doubts.

Behavioral analysis is a technique that consists in a systematic observation of the tasks that an expert executes during his/her professional activity. The observer, although passive most time, is allowed to interrupt the expert requesting further explanations of specific points not understood. Obviously, questioning has to be done with parsimony so as to avoid excessive disturbance.

In the analysis of scenarios, the knowledge engineer submits selected cases (tasks), either real or hypothetical, to the expert and observes their resolution. The selection of cases should be based on the premise that they reflect relevant problems that cover a considerable portion of the domain, as well as problems that include different levels of uncertainty. This technique emphasizes the case-based reasoning, where a solution of the problem is based on the adaptation of a known solution for a similar problem.

Interview is an interactive activity between the knowledge engineer and expert. It is based on an answer-reply strategy and, usually, several sessions are necessary according to the depth and complexity of the knowledge to be elicited. Interviews can be directed, structured and semi-structured, as follows:

- A direct interview is similar to a habitual conversation in which the expert talks with the knowledge engineer about specific subjects of his/her domain. The interview usually follows a predefined agenda, focusing selected topics of

the domain. Such agenda is previously sent to the expert to allow the familiarization with the subjects. The main objective of the interview is to acquire a broad overview of the area of expertise as well as the tasks involved.

- The semi-structured interview is similar to a questioning. The information required is more specific and at a deeper level than that focused in the directed interview. The objective here is to acquire a better understanding of the issues involved in the solution of a given problem. The strategy is to divide the most general tasks into subtasks. The order of questioning is changeable so as to allow the knowledge engineer to adopt a terminology according to the progress of the interview and the appropriation of knowledge. This kind of interview combines open and closed questions.
- Structured interviews have some characteristics that make them useful in KA. They require a careful previous planning of the questions to be done and the order of questioning, besides the actions expected from the knowledge engineer. This kind of interview should take place after the interviewer has already acquired enough knowledge about the domain, so as to explore specific issues. The interview is based on closed questions, previously elaborated with the objective of extracting information that was missing in previous semi-structured interviews.

There are many obstacles to be considered during the KA process, for instance: experts have extensive and specialized knowledge, usually tacit (that is, they are not aware of all they know, but use such knowledge to solve problems); frequently, experts are very busy and difficult to approach; due to the level of specialization, experts do not know everything about the domain. Consequently, to achieve success in the KA process, it is necessary to devise ways to circumvent the obstacles previously mentioned.

To illustrate in a general sense the KA process, it is presented an example proposed by Milton [11]. This method starts with a simple approach and then proceeds with more elaborated techniques, as follows:

- The first step is to conduct an initial interview with the expert, aiming at establishing the objectives and the scope of the knowledge to be acquired. Also, it is important to make clear how and for what purposes the knowledge will be used. Establishing a communication channel with the expert, allows the basic terminology of the area to be acquired, as well as facilitate further approaches. This interview (as well as all remaining ones) should be recorded to preserve information.
- Next, the initial interview should be transcribed and the resulting document analyzed. From this analysis, a hierarchy of concepts about the knowledge is constructed, thus obtaining a general overview of the domain. The hierarchy can be further used for producing a set of questions about the main topics of the domain, as well as serving as guide for the KA process.
- In the third step, a semi-structured interview with the expert is conducted, using the questions previously planned. The objective here is to enhance structure and improve focus.

- The expected result of the previous step is a documented protocol with the main concepts of the domain, their attributes, typical and limit values, relationships and explicit rules.
- In the fifth step it is suggested the representation of the knowledge acquired to date using appropriate analytical models (rules, diagrams, hypertexts and others).
- Based on the previous models, a questionnaire is elaborated for a structured interview, so as to complement and extend the information modeled.

The steps described above should be repeated until the formal model generated meets the expectations of both expert and knowledge engineer. After finishing the KA process with an expert, it is desirable to validate the knowledge with other experts, who may require changes. In this stage, the knowledge engineer must have a strategy for managing possible conflicts.

## 2.2 Knowledge Representation

One of the main concerns of AI researchers is how to represent knowledge. The question is how to capture, in a formal language suitable for being processed by a computer, knowledge in its full extension, so as to enable its use to simulate intelligent behavior [9].

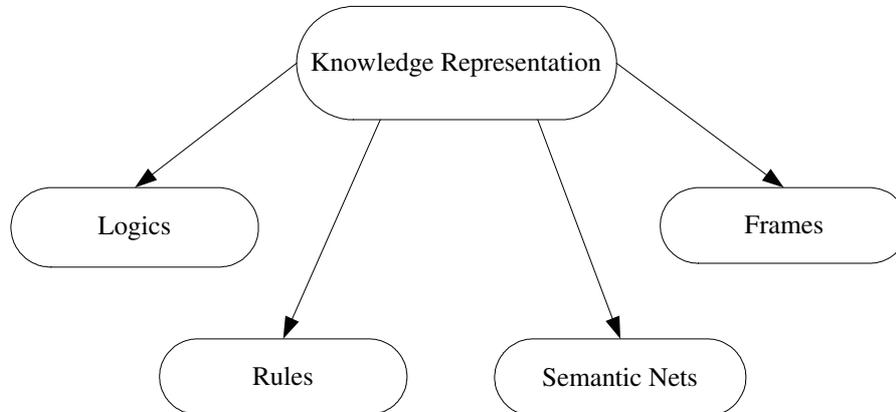
Therefore, Knowledge Representation – KR, is the method used by the knowledge engineer to model expert knowledge in a given domain. The representation should be efficient enough for using by a computer, thus, it may include a combination of data structures and interpretative procedures. KR is always related with the ways by which humans express information. Although there is much research towards the development of general languages and systems for KR, still different types of knowledge require different representation methods.

Sowa [3] points that KR is the application of logics in the task of constructing computational models in a given domain. Frequently, KR is referred as “knowledge representation and reasoning” because KR formalisms are useless without the possibility of reasoning and inference with them.

KR is closely related to the KA process. Actually, as the knowledge engineer conducts the KA process he/she has to record the acquired knowledge using formalism and so, KR takes place. This is the way by which real-world facts and events, human convictions and expertise are computationally modeled and used [10].

Amongst the many methods for KR proposed in the literature, possibly the most frequently used are logics, rules, semantic nets and frames [9]. Fig. 1 shows the methods for knowledge representation.

- Logics: the logical representations are based on Mathematics and Philosophy, trying to characterize the principles of correct reasoning. It concerns about the development of formal representation languages with consistent and complete deduction inference rules (deduction).
- Rules: production rules consist of propositions, usually in the form “IF *A* THEN *C*”. The antecedent (*A*) is a logical conjunction of conditions, and the consequent (*C*) is a given class. The conditions of the antecedent are *t*-uplets



**Fig. 1.** Main methods for Knowledge Representation

in the form  $\langle A_i Op V_{ij} \rangle$ , where  $A_i$  is the  $i$ -th attribute,  $Op$  is a relational operator, and  $V_{ij}$  is the  $j$ -th possible value of the corresponding  $i$ -th attribute. The combination of several conditions in the antecedent is accomplished by means of the logical operators. The consequent of the rule consists of a simple condition in the form  $\langle M_i = V_{ij} \rangle$ , where  $M_i$  is one of the possible target attributes and  $V_{ij}$  is the same as above.

- Semantic nets: represents knowledge explicitly as a graph, where vertices correspond to facts or concepts and edges correspond to relationships or associations between concepts.
- Frames: are data structures that group elements into classes, subclasses, down to instances. Each frame is composed by slots that contain features and properties of a class or instance. Frames connect each other to build a complete idea.

Therefore, a knowledge base can be defined as a mapping between objects and relationships of a given domain, and the computational objects and structures within a computer program. Results of inferences in the knowledge base should correspond to results of actions or observations of real-world facts. The objects, the relationships and the inferences are all mediated by the knowledge representation language.

### 3 Knowledge Management

Knowledge Management (KM) includes the procedures for creating, maintaining, applying, sharing and updating of knowledge, aiming at to increase the organizational performance and aggregate value to the established knowledge [12]. According to Keeling [13], the main objective of KM is to use the experience and comprehension of people in an organized way so as to enrich the intellectual property. A more significant definition of KM is an innovative practice that allows collaboration and communication between knowledge developers of the same or different domains [5].

Smith and Farquhar [14] summarize KM as a procedure that improves the organizational performance, because allows capture, sharing and application of the collective knowledge to take correct decisions. To accomplish this, organizational knowledge has to be constantly updated and reviewed.

KM, in its basic form, exists since long ago, and can be identified in many professions and areas, such as, philosophy, religion, education, and politics. However, the concept of KM, as a subject or specific branch of knowledge, has developed only from a decade ago. KM has become more technical and formal as the necessity and value of knowledge has increased in large organizations, to be competitive with the growing technological advancements.

### 3.1 Knowledge Life Cycle

According to the Merriam-Webster dictionary [15], life cycle is a series of stages by which something (such as individual, a culture or a manufactured product) undergoes during its lifetime. Many researchers describe the life cycle of knowledge. For instance, Birkinshaw and Sheehan [16] described four stages: creation, mobilization, diffusion and commoditization. Staab et al [17] described the knowledge life cycle as a circular process that includes: creation and/or importation, capture, access and use. Also, Bhatt [18] described a cycle composed by four stages: creation, revision, distribution and adoption. However, independently of the terms describing the life cycle of knowledge, attention should be paid to each stage of Knowledge Management, otherwise, knowledge can become invalid, outdated and unreliable.

### 3.2 Knowledge Management in Healthcare

The widespread use of informatics in health areas has fostered the need for information systems, diagnosis support systems, and teaching/learning support systems. Consequently, an underlying problem that emerges is the acquisition, representation and management of knowledge in such systems [13]. Knowledge Management (KM), in particular, is essential for supporting and improving the efficiency of health professionals in their daily activities [7].

Davenport and Glaser [19] report that KM helps health professionals to avoid errors, to learn with other colleague's experience, and to access updated and specialized information, when necessary. There are, also, other circumstances that contribute to popularize KM in this area: the health professional can give support to the system so as to create, extend or improve the knowledge-base and, more importantly, he/she still will have control over the situation, being the only responsible for the final decision about a diagnosis or treatment.

During decades, health professionals have seen the exponential growth of knowledge in their areas of expertise, and the growing difficulty in accessing, manipulating and sharing information. Nowadays, the access to information is essential to provide a satisfactory clinical and therapeutic support to patients. It is a matter of fact that, in the near future, health professionals will need complimentary education to deal with the ubiquitous information technology and manage knowledge in the respective area [20]. Information technology is a critical issue that establishes a clear division between past and future for health professionals and the way they manage patients.

## 4 Ontologies

Several data structures can be used for organizing and formalizing knowledge, as mentioned before. Recently, an emerging approach that has drawn the attention of researchers is the ontologies. Based on a set of concepts and their relationships, an ontology establishes concisely a formal descriptions of a given knowledge domain.

The origin of the word “ontology” relies in the Philosophy, and was introduced by Aristotle. In this context, philosophers try to answer the questions: “What is a being?” and “What are the common characteristics of all beings?” [21]. More recently, both the AI and KM communities have adopted this term to express concepts that can be used to describe a given area of knowledge or, else, to construct a representation of it.

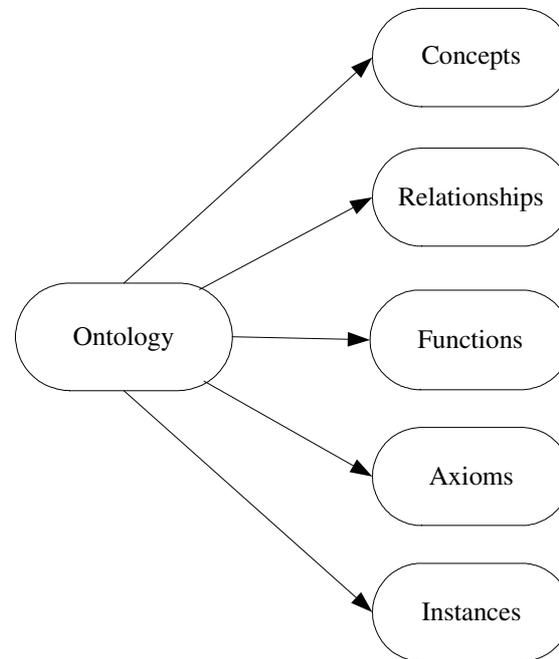
A frequently used definition of ontology is provided by Gruber [22], who asserts that it is a formal and explicit specification of a conceptualization. Such definition requests further explanation of the meaning of words used [23]:

- Conceptualization is referred to an abstract model of a given phenomenon that identifies relevant concepts of such phenomenon;
- Explicit means that the type of concepts used and the limitations of their use must be clearly defined;
- Formal indicates that the ontology must be capable of being processed by a machine.

In fact, the literature about ontologies presents several different definitions, some of them are complimentary each other. Fig. 2 shows an schema with the main components of an ontology.

For instance, Guarino [24] presents a extensive discussion about the meaning of the term within the scope of Computer Science, as follows:

- In AI, an ontology is a theory about which entities can exist in the mind of a knowledge agent [25];
- From the point of view of a knowledge about a particular task or a domain, an ontology describes a taxonomy of concepts that define the semantic interpretation of the knowledge [26];
- Ontologies are consensus about shared conceptualizations. Shared reflects the notion that the ontology captures consensual knowledge. That is, this knowledge should not be restricted to a few number of individuals but, instead, accepted by a group of experts in the domain of the ontology [27];
- An ontology is an explicit, but partial conceptualization, a logic theory that restricts models into a logic language [28];
- An ontology is an explicit and partial specification of a conceptualization that is expressible, from the meta-level point of view, in a set of possible domain theories, with the objective of modular design, redesign and reuse of intensive knowledge [29];
- Ontology is an explicit specification of knowledge level of a conceptualization, which can be affected by a particular domain or task, for which it has been created [30].



**Fig. 2.** Main components of an ontology

Another complimentary definition of ontology is proposed by Gómez-Pérez [31] who includes information about its structure: an ontology is a set of hierarchically ordered terms aimed at describing a domain that can be used as skeleton for a knowledge base. According to such description, an ontology groups a set of terms organized with a hierarchy or associated taxonomy. An important detail of this description is to present one of the main utilities of an ontology, which is to serve as the starting point of a knowledge base.

This definition makes an important distinction between ontology and knowledge base. Ontology creates the structure over which it is possible to construct a knowledge base. It provides a set of concepts and terms to describe knowledge in a given domain. On the other hand, the knowledge base uses those terms and concepts to describe a given reality. If this reality is modified, the knowledge base will be modified as well to reflect it, but, even so, the ontology remains unchanged, provided the domain is the same.

In general, there are some important benefits in using ontologies, as follows. Ontologies can provide a common vocabulary for representing knowledge among a group of professionals, thus decreasing ambiguities and interpretation errors. By using ontologies a formal representation of knowledge can be constructed, thus allowing information sharing. Differently from natural language, where words are subject to contextual semantics, ontologies offer an exact description of knowledge. Finally, the same conceptualization represented in an ontology can be expressed in several different languages and its reuse may extend a generic ontology to be suitable for specific domains.

#### 4.1 Structure and Classification of Ontologies

According to Gómez-Pérez [31] and Maedche [21], ontologies are structured over several components:

- A set of concepts (also known as classes) and a hierarchy among concepts, that is, a taxonomy. A simple example of taxonomy is the concept of “man” being a sub-concept of “people”;
- A set of relationships between concepts. An example of relationship between concepts “people” and “car” is “the owner of”;
- A set of functions (also known as properties). A function is a special case of relationship in which a set of elements has a unique relationship with another element. An example of function is “to be parent”, where the concepts “man” and “woman” are related to another concept “people”;
- A set of axioms, that is, rules that are always valid. An example of axiom is the assertion “every people has a mother”;
- A set of instances, or specialization of concepts. Gómez-Pérez [31] considers instances as part of the ontology, in opposition to the definition proposed by Maedche [21], where instances belong to the knowledge base.

There are several classifications of ontologies, provided by different authors. Mizoguchi, Vanwelkenhuysen and Ikeda [32] classify ontologies according to the function: domain ontologies, task ontologies and general ontologies. Uschold and Gruninger [33] classify ontologies according to their degree of formalism: highly informal, semi-formal and rigorously formal ontologies. Jasper and Uschold [34] classify ontologies according to their application: neutral authorship, as specification and common access to information. Haav and Lubi [35] classify ontologies according to the structure: high-level, domain, and task ontologies. Van-Heijst, Schreiber & Wielinga [30] classify ontologies according to their contents: terminological, information-based, knowledge modeling, application, domain, generic and representation ontologies.

Guarino [36], on the other hand, classifies ontologies in a simple and intuitive way, according to their level of generality, therefore having some overlapping with other previously mentioned classifications:

- High-level ontologies: they describe general concepts, such as space, time, event, and other. These concepts are usually independent of a given problem or domain;
- Domain ontologies: they describe a particular vocabulary related to a given domain, and can be a specialization of a high-level ontology;
- Task ontologies: they describe the vocabulary for a given task or generic activity;
- Application ontologies: they are more specific and particularize concepts from both the domain and the task ontologies.

In general, the high-level ontologies are those that have the largest capacity of reuse, and application ontologies, the smallest one. This is because high-level ontologies define generic concepts, and application ontologies define concepts regarding a specific application.

## 4.2 Applicability of Ontologies

Currently, there are many areas in which ontologies have been successfully applied, for instance: knowledge management, electronic commerce, natural language processing, web information retrieval, education, and other.

There are KM-related projects that include acquisition, representation, maintenance and access to knowledge within the scope of an organization. Ontologies can help to provide the basic structure over which enterprise knowledge bases are constructed.

In projects related to electronic commerce, it is possible to develop automated transaction systems. They require a formal description of products, beyond syntactic exchange formats. An ontology can provide a common description and understanding of terms, thus allowing interoperability and ways to accomplish an intelligent integration of information [21].

In natural language processing, domain knowledge is essential for a coherent comprehension of the text. Ontologies can play an important role for elucidating the ambiguities inherent to text interpretation, and to establish a dictionary of concepts within the text domain.

Due to the exponential expansion of the information available in the internet, much attention has been given to web information retrieval (or semantic web). The search engines available are not able to improve search and obtain precise results without discovering the precise meaning of the web pages searched. To circumvent this problem, Tim Berners-Lee [37] proposed the semantic web that includes semantics to the web pages by using three technologies: Extensible Markup Language (XML), Resource Description Framework (RDF), and ontologies. Basically, the role of ontologies is to provide a semantic structure in the annotations of web pages.

Ontologies are essential for the development of knowledge-based systems. Every knowledge-based model is, explicitly or implicitly, committed to some kind of conceptualization, which, in turn, is the basis for ontological models [38].

The most important KR projects are based on ontologies, such as CYC [39] and TOVE [33]. Specifically in the health sciences, there are important research projects that include ontologies and knowledge-base construction, for instance, SNOMED-CT [40] and GO [41].

In education-related projects, ontologies can become learning environments that describe a physical domain with rich details and standardization of terminology. Consequently, the formal representation of knowledge is accomplished with educational purposes [42].

## 4.3 Methodologies for the Development of Ontologies

It is important to adopt a methodology for modeling an ontology in order to avoid jumping from the KA process directly to the implementation phase. Such procedure may cause problems such as: difficulty or impossibility of reuse, since the ontology is implicit in the code, and difficulty in communication, because the domain expert usually does not understand computer languages in which the ontology was implemented.

Some methodologies for the systematic development and manipulation of ontologies are available [43]. Currently, the most widely known and cited in the literature are:

- Methodology of Uschold and King [44]: it is based on the construction of the Enterprise Ontology and comprehends four development stages: identification of the purpose of the ontology, construction, evaluation and documentation. However, this methodology does not describe in details the techniques for executing those activities. Data for the construction of the ontology are obtained by means of interviews with the domain experts, and also reusing existing ontologies;
- Methodology of Grüninger and Fox [45]: it is based on the experience of the authors in developing ontologies for small enterprises. The methodology has a formal procedure for identifying scenarios for using the ontology and includes questioning in natural language for establishing the scope of the ontology and for extracting the main concepts, properties, relationships and axioms. The methodology comprehends six steps: definition of motivational scenarios (problems demanding a new ontology and a set of possible solutions); informal definition of competencies (set of questions that require an ontology to be answered); specification of the terminology of the domain (using first-order logic); verification of completeness (matching of the ontology with the competence issues previously defined). Differently from the previous methodology, this one provides more than general principles. After KA, at the second step, a formal language is immediately required in the subsequent steps;
- Methodology of Fernández, Gómez-Péres and Jurino [46]: it is also known as Methontology and describes more deeply the steps to be followed and the artifacts to be generated for creating the conceptual model. It also proposes a life cycle based on the evolution of prototypes. The development process is divided in ten steps, as follows:
  - ✓ Identify the tasks of the ontology and plan the use of available resources;
  - ✓ Specify the purpose of the development and their potential users;
  - ✓ Acquire knowledge about the domain of the ontology;
  - ✓ Create a conceptual model that describes both the problem and the solution;
  - ✓ Create a formalization for transforming the conceptual model into a formal model;
  - ✓ Integrate, as far as possible, other existing ontologies to the new ontology;
  - ✓ Implement the ontology in a formal and computable language;
  - ✓ Evaluate the ontology;
  - ✓ Document the ontology so as to facilitate its reuse and maintenance;
  - ✓ Update the ontology, whenever necessary.
- Methodology of Noy and McGuinness [47]: it includes an interactive development through successive refinements. The development process is divided into six steps: define the domain and scope of the ontology; reuse existing ontologies; list terminology; define classes (concepts) and their hierarchy; define the priorities of classes or concepts, create instances of the concepts within the hierarchy;

- Methodology of Sure and Studer [48]: it is also known as On-To-Knowledge Methodology and is useful for the management of knowledge in organizations. This methodology is divided into five steps: Kick-off (identification of requirements and competence issues); refinement (from the scratch to an application-oriented mature ontology); evaluation (focused on the technology, the user and the ontology); and maintenance (evolution and corrections, if necessary).

#### 4.4 Software Tools for Developing Ontologies

In recent years, the number of computational tools for constructing ontologies has grown significantly. These tools aim at helping the knowledge engineer not only in building an ontology itself, but also, in reusing knowledge. Possibly, the most relevant tools available to date are [49]:

- Ontolingua Server, Ontosaurus and WebOnto: they were the first editors for ontologies.
- Protégé, WebODE and OntoEdit: they represent a new generation of development environments for ontologies.
- OILED and DUET: tools especially suited for developing ontologies for semantic web.

In particular, Protégé was developed by the Medical Informatics group at Stanford University (USA) and is constantly updated. Its core is an ontology editor and has a large library of plug-ins that adds more functionality to the environment. Currently, there are plug-ins that allow to import/export contents in the format of ontology languages (such as FLogic, Jess, OIL, XML and Prolog), flexible access and manipulation of data bases, creation of restrictions and fusion of ontologies [38]. Besides, Protégé is open source and has a Graphic User Interface (GUI) that allows easy access to its resources. With Protégé it is possible to make explicit consensual knowledge, separate the knowledge domain from the operational knowledge, and analyze the domain at a high level [47]. All these features contribute to make Protégé an outstanding tool for KM, widely used by knowledge engineers, facilitating the development, sharing of structure and information, and reuse of knowledge.

## 5 The Use of Ontologies for Learning

Frequently, “seeing the big picture” is a key element in learning. Ontologies could play an important role in showing the big picture of a subject, allowing students to view knowledge in any sequence they wish and taking the time they need. Using ontologies, students are not forced to follow the order of the instructor; they may start at any location and follow the relationships in any order that is most beneficial to each individual student [50].

Ontologies have been used in colleges and universities for teaching. Milam [51] has described some uses: marketing to future students, describing academic disciplines, documenting data, providing metadata about learning management systems, describing the nature of higher education enterprise, and delineating online resources.

Wilson [52] provided a list of reasons why ontologies might be useful in a learning environment:

1. Students are provided with advanced browsing and searching support in their quest for relevant material on the Web. Especially where their understanding of a topic is low, students can be directed intelligently towards resources of relevance.
2. Syntactically different but semantically similar resources can more easily be located.
3. Information can be shared across educational applications, enabling reuse.
4. Distance learners can be provided with the intelligent and personalized support.

However, ontologies have been sparsely used for learning, although in the current applications very promising results can be observed. Examples are provided by Macris and Georgakellos [53] who developed an ontology for learning environmental education. Also, Hausmanns [54] created an ontology for illustrating contents of dynamical systems. Finally, a relevant reference is Wilkinson [50], who proposed an ontology for Physiotherapy undergraduate students learn anatomy. The work reported here is also focused on Physiotherapy.

## 6 A Case Study in Neuropediatric Physiotherapy

As mentioned before, Neuropediatric Physiotherapy is an area that includes diagnosis, treatment and evaluation of patients. Such patients, usually babies or young children, have to be frequently evaluated by the physiotherapist in order to observe the progress of treatment [1] [55].

When a child with neurological lesion is under diagnosis by a physiotherapist, its motricity and movement functionality is evaluated, regarding to the normal motor development. For instance, a normal child of 8 months old of *chronological age* is expected to have also 8 months old of *motor age*. On the other hand, a child affected by a neurological lesion can have 8 months old of chronological age, but 2 months old of motor age. This discrepancy is considered as a motor delay or abnormal condition. Starting from this presupposition, the physiotherapist is in charge of analyzing all the complex components of the normal motor development to be stimulated during the treatment of the patient. The objective is to foster motor development in such a way to make motor and chronological ages to match.

To treat children with neurological lesions, the physiotherapist must know the normal motor development (NMD) of a child, with all its peculiarities, so as to be able to recognize what would be abnormal. Therefore, the several steps of NMD are used as reference in the diagnosis procedure, as well as during treatment [56].

Understanding the underlying complexity, the extension, and non-standardization of terms in Neuropediatric Physiotherapy, it becomes clear the importance of correctly content learning and diagnosing to be able to carry out an effective treatment. It is in this scenery where the building an ontology takes place, establishing clear and definite concepts and relationships.

## 6.1 Knowledge Acquisition Procedure

Building an ontology is a labor-intensive activity and it becomes even more complex due to the absence of a standard vocabulary in the Neuropediatric Physiotherapy domain.

Uschold [57] emphasizes that there is no unified methodology capable of fulfilling all requirements for modeling any domain. In this work we followed the two steps associated with the development of an ontology, as proposed by Zhou et al [2]: (i) knowledge acquisition and management of the concepts between different sources of information (management of conflicting opinions), and (ii) implementation of the ontology itself using the represented knowledge.

The classical artificial intelligence suggests that the knowledge engineer should use a single knowledge source (expert) [10]. However, in this work we use an ontology for representing knowledge. The main authors in this area recommend that ontologies should be based by a consensus of a group of experts [22] [36]. Therefore, to cope with such contradiction, we decided to engage three expert physiotherapists. All of them had extensive expertise in Neuropediatric Physiotherapy, including educational (theoretical) and therapeutic (practical) experience.

Experts took part of several individual interviews. First, previously planned semi-structured interviews were used, and then, structured interviews for deepening specific subjects. To meet the requirements of the domain, on those interviews we adopted a six-phase questioning system proposed by LaFrance [58]:

1. Broad overview: a semi-structured interview was applied to the experts aiming at to understand the reasoning used during both diagnosis and therapy.
2. Categories cataloguing: all the classes (concepts) and subclasses relative to the domain were clearly defined.
3. Attribute detailing: structured interviews were carried out for analyzing how frequent was the use of each concept for different types of diagnostic outcomes.
4. Weight determination: weighting factors for each diagnostic class and subclass were obtained
5. Cross correlation: a consistency check was done after experts have exanimate all the information stored necessary for creating the ontology for Neuropediatric Physiotherapy.

Another important issue in the knowledge acquisition process is managing conflicts and divergence of opinions between experts. We used the methodology known as IBIS (Issue-Based Information System) [59] to manage conflicts between experts. This methodology helps to evolve a divergence of opinions to a convergence, thus emerging a consensus. When the knowledge engineer comes upon a question with different answers from the experts, he/she decides in favor of the one with better arguments. That is, the answer that is better supported by approval or justification. When two answers have justifications, one should choose the one with the large number of supporting arguments.

When finished the knowledge acquisition process with the experts, all information collected was checked against the main textbooks in Neuropediatric Physiotherapy [1] [55] [60].

As result of the knowledge acquisition process, the relevant information for diagnosis and learning was grouped into five main classes: reflexes, reactions, movement plans, movement patterns and motor skills. The divisions of these classes were also defined, as well as all relationships between the classes of the ontology.

## 6.2 Knowledge Representation in the Ontology

Acquired knowledge was represented in a hierarchical structure of an ontology. First, a taxonomy of terms was created with the main concepts (classes): *MotorAge* (corresponding to the diagnosis), *NormalMotorDevelopment* (NMD – set of characteristics belonging to a given diagnosis) and *Patients* (representing specific cases). This hierarchy was refined by creating subclasses from derived concepts: *MotorAge* included the 12 first months of life; *NormalMotorDevelopment* included the main components analyzed by the physiotherapist (reflexes, reactions, movement plans, movement patterns, motor skills and values); and *Patients* included some case-studies of real patients. Subclasses of *NormalMotorDevelopment* were later refined.

Next, the properties pertaining to each motor age (diagnosis) were represented, including their respective components of the NMD. An example is the property *has-Reflex* that connects individuals of the *Reflex* class with individuals of *MotorAge* class. For the full description of the domain, the definition axioms of each subclass of *MotorAge* were declared, thus fulfilling the components of NMD necessary to accomplish the diagnosis.

The tool chosen for knowledge representation was an ontology because it allows the formal representation of tacit knowledge (kept in mind of the experts, but not concretely expressed) usually found in the domain area.

During the development of the ontology, two methodologies were used: Methontology [46] and On-To-Knowledge Methodology [48]. To model the ontology, the following steps of the life cycle of Methontology were done: development, managing and support. In the development process the following activities were done: specification, conceptualization, formalization, implementation and maintenance. In the management process, the control and quality assurance activities were done. The support process was done in parallel to the previous mentioned processes, accomplishing knowledge acquisition, evaluation (analysis of competencies issues and coherence of the taxonomy) and documentation activities. It is important to note that in the specification activity, the principles of On-To-Knowledge Methodology were extensively used.

The implementation of the ontology was done using a computational tool for editing, Protégé<sup>1</sup>, version 3.3.1. This tool has extensible architecture, allows good level of details, and its interface is user-friendly. The formal language for representation chosen was OWL-DL (Web Ontology Language – Description Logic), which is recommended by World Wide Web Consortium (W3C). Fig. 3 shows the high-level class hierarchy of the developed ontology.

The classes mentioned in the figure are those defined above. Notice that class *NormalMotorDevelopment* includes all components of the NMD (not expanded in the

---

<sup>1</sup> <http://protege.stanford.edu/>

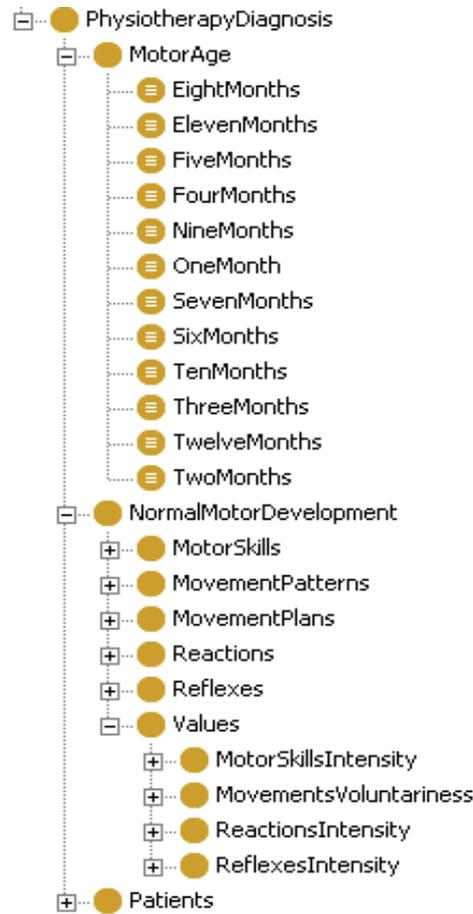


Fig. 3. High-level class hierarchy.

figure) necessary for the diagnosis of the patient in each class of *MotorAge*. Class Values includes the (relative) intensities of each component of the NMD.

### 6.3 Ontology Instantiation as a Learning Activity

The next step is the use of the ontology in the learning environment. This work explores the use of a computational tool for knowledge management for the education of Physiotherapy undergraduate students. These students are expected to use the ontology for developing and improving their own learning abilities. Therefore, using the ontology for studying includes the creation of specific instances, as an active learning process. Students use the preexisting class hierarchies to add contents to the ontology. They are instructed by the teacher to add a given patient profile and their associated features: reflexes, reactions, movement plans, movement patterns and motor skills.

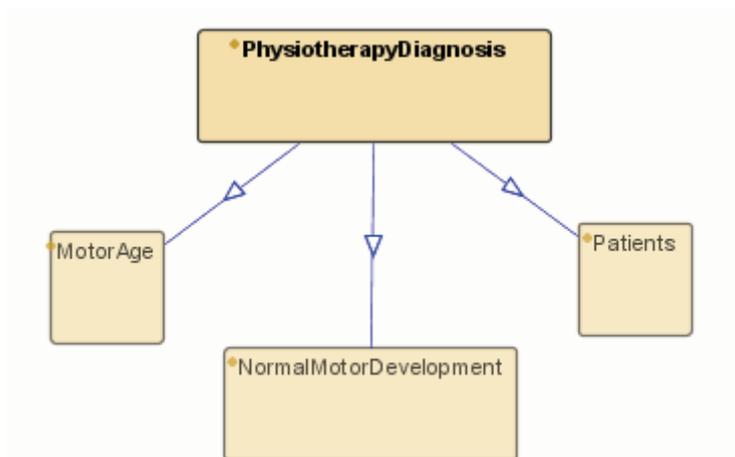


Fig. 4. SHriMP interface - arcs representing relationships

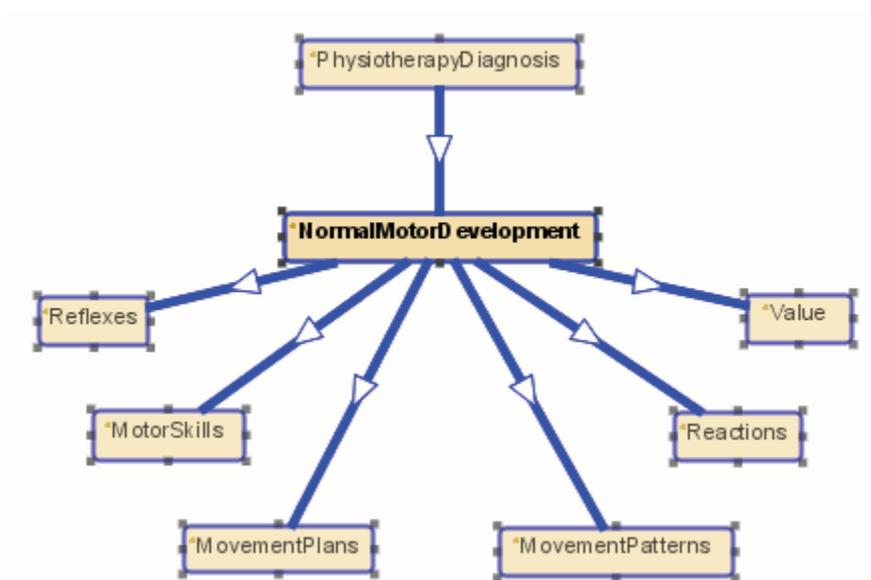


Fig. 5. SHriMP interface and navigation – class hierarchy notions.

The ontology for learning is presented to the student by means of a software known as Simple Hierarchical Multi-Perspective (SHriMP)<sup>2</sup>. Shrimp is both an application and a technique, designed for visualizing and exploring any information space. SHriMP is a domain-independent visualization technique designed to enhance how students browse, explore and understand complex knowledge-bases.

<sup>2</sup> <http://www.thechiselgroup.com/shrimp>

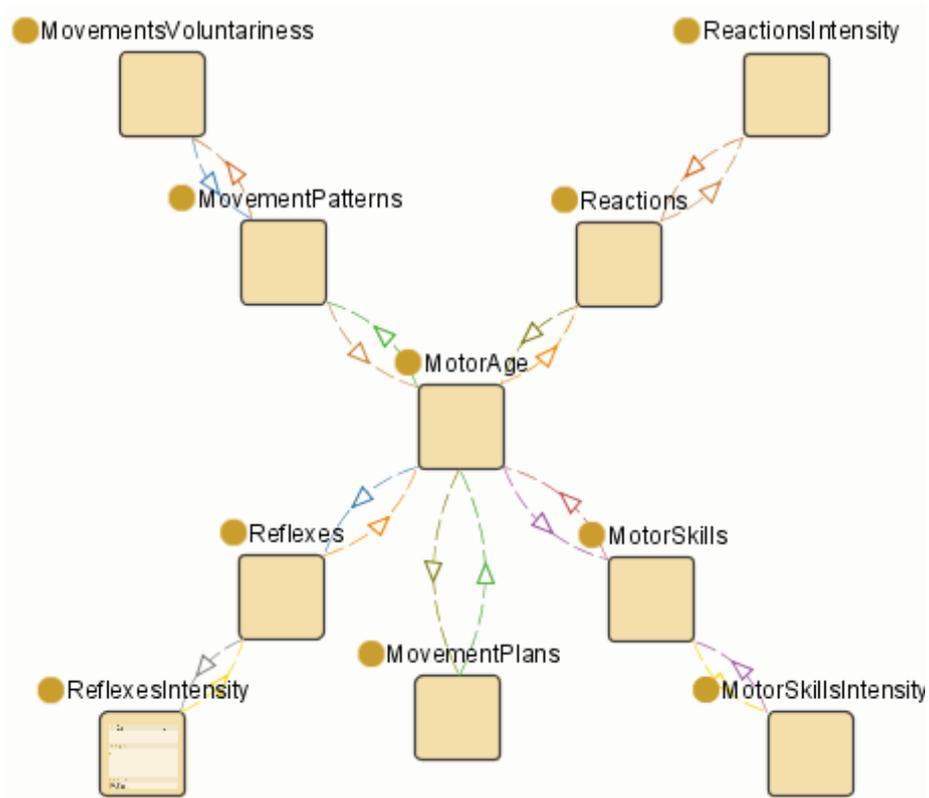


Fig. 6. SHriMP learning environment - edges represent domain and range between existing classes.

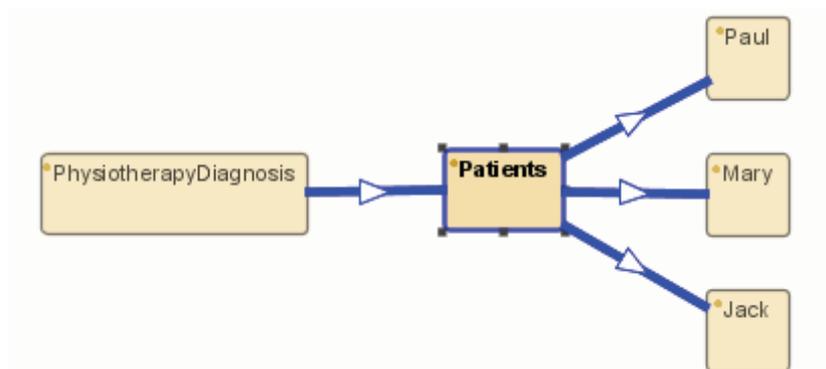


Fig. 7. SHriMP showing individuals (patients).

SHriMP allows a visual representation of the ontology, including edges that represent the relationships between existing classes (Fig. 4, Fig. 5 and Fig. 6) and given instances (Fig. 7). Each class and each instance are presented by a diagram shown in a separated square. Hierarchies, in turn, are fully included in a large square. Its content is represented by smaller squares. For instance, the generic class “patients” is represented by a large square that includes several squares concerning individual patients (Fig. 7). When clicking in each square, the student can visualize several other useful information, such as available subclasses, definition of concepts, and properties.

The ontology also has Uniform Resource Locators (URLs) capable of providing additional information to be available in the Internet. Such supplementary material can be web pages, Portable Document Format (PDF) files, video clips, pictures or drawings. Internet pages present specific subjects about the area of study. Pictures and drawings help to highlight anatomical points of interest or positions. Video clips demonstrate the normal motor development as well as cases of real-world patients.

#### 6.4 Consistency Checking

Inference mechanisms are not explicitly defined in an ontology, although it is possible to reason about the properties of the domain represented by the ontology. Such inference mechanisms can be used to check the logical structure of the model and make inferences about the domain. Therefore, they can be used to crosscheck the consistency of the model and its generalization capability, as well as its relationships and instantiations.

Ontologies allow the distinction between intentional knowledge (general knowledge about the problem domain) and extensional knowledge (specific knowledge about a particular problem). Typically, in an ontology-based knowledge base, the Description Logic (DL) is composed by two components: a *TBox* and an *ABox* [61]. The *TBox* contains the intentional knowledge in the form of a terminology and it is constructed by declarations that describe general properties of concepts. The basic form of a declaration in a *TBox* is a concept definition. That is, the definition of a new concept based on other previously defined.

For checking the consistency of the developed ontology, we used a tool, named RACER (*Renamed ABox and Concept Expression Reasoner Professional*<sup>3</sup>), together with the other tools available in the Protégé system. RACER implements the *Tableau* algorithm, with which the following checking were done in a *TBox*:

- Subordination or subclassification: starting from the declared constraints in each class, try to infer if a class is subclass of another one;
- Satisfiability or concept consistence: analyze if there is some interpretation capable of satisfying the axiom such that the concept denotes a non-empty set in the interpretation;
- Equivalence: verify if two concepts are equivalent;
- Disjunction: determine if two disjoint concepts share the same instance;

---

<sup>3</sup> <http://www.racer-systems.com/>

## 6.5 Results of the Case Study and Discussion

This section presents the main results and acquired experience during the development of the ontology for the Physiotherapy domain.

In the knowledge acquisition phase, during the structured interviews with the three domain experts, 12 questionnaires were requested to be filled in by them. These questionnaires had 49 items each, making up a total of 588 items evaluated.

It is important to note that, in Neuropediatric Physiotherapy, as well as in many health sciences, there are different schools of thought that directs the professional practice, giving different approaches to the diagnosis problem. Due to the difference of approaches between schools of thought, it could be quite difficult to establish consensual knowledge, thus making impracticable to build an ontology. As consequence of the lack of consensus, the created knowledge base could be inconsistent, thus making it useless for decision-support. Therefore, this work is directed towards the most widely spread school, created by Karel and Bertha Bobath [1] [55] [60], usually referred to as Neurodevelopment Treatment. As mentioned in section 4.1, knowledge acquisition was carried out with three expert physiotherapists. All of them belonged to the same school of thought, thus taking more consistency and reliability to the resulting ontology and the knowledge-base. Even so, considering the large number of items to be evaluated by the experts, some divergences of opinions occurred. The occurrence of conflicts was relatively low, corresponding to only 7% of the items (that is, 41 out of 588). Such level of divergence between experts of the same school is promptly manageable and the IBIS methodology was adequate and efficient for this task.

Knowledge representation was carried out using Protégé. This hierarchical structure gives as result the full organization and formalization of diagnostic knowledge in Neuropediatric Physiotherapy. The current version of the developed ontology is composed by 100 classes and subclasses, 30 properties and 200 axioms. This ontology allowed the creation of vast consensus vocabulary for the domain, including concepts with full definitions through their relationships and axioms.

We believe that the application of the created ontology for supporting learning in Physiotherapy is of great importance, since it includes multimedia resources as well as active learning concepts, together with traditional instructional methods. Consequently, with this complimentary and illustrated resource, the learning of students can be more effective. Also, it promotes the approximation of health sciences with informatics.

## 7 Conclusions

In this work knowledge was elicited from domain experts and complemented from reference textbooks. Knowledge was formally represented as an ontology, using well-defined methodological procedures, thus enabling efficient management of knowledge during the whole process.

The formalism inherent to the methodology allowed the development of a knowledge-base which completeness and consistency were verified. Such ontology represents a consensus vocabulary in the domain of Neuropediatric Physiotherapy

diagnosis, allowing knowledge reuse, sharing and maintenance, accomplishing the Knowledge Management life cycle.

It is important to recall the integration of different artificial intelligence-based methodologies, such as the LaFrance's questioning technique, the IBIS methodology for managing opinion conflicts, the Methontology and On-To-Knowledge Methodology for developing the ontology.

The use of an ontology for structuring knowledge was helpful not only for categorizing the collected information into hierarchies of concepts, but also, to comprehend the relationships between concepts, and, mainly, allowed full definition of concepts using axioms.

The use of this ontology for learning, by means of SHriMP, makes concepts more clearly defined to the student. Also, it facilitates the understanding of the hierarchy of concepts in Neuropediatric Physiotherapy, mainly the dependency relationship between them. Overall, the proposed approach gives the necessary broad view to the students, giving them a solid starting point to deepen the study.

Overall, the main contribution of this work is establishing a complete and effective methodology for knowledge management in the area of Neuropediatric Physiotherapy, an area with many unstructured and non-standardized information that lacks computational approaches for support. Also, the proposed methodology can be extended to other areas of health sciences.

## Acknowledgements

Authors would like to thank the Brazilian National Research Council (CNPq) for the research grant to H.S.Lopes; as well as to CAPES for the PhD scholarship to L.V. Castilho.

## References

1. Bly, L.: *Motor Skills Acquisitions in the First Year. Therapy Skill Builders*, USA (1994)
2. Zhou, X., Wu, Z., Yin, A., Wu, L., Fan, W., Zhang, R.: *Ontology Development for Unified Traditional Chinese Medical Language System*. *Artif. Intell. Med.* 32, 15–27 (2004)
3. Sowa, J.F.: *Knowledge Representation: Logical, Philosophical, and Computational Foundations* Pacific Grove. Brooks/Cole, California (2000)
4. Georgiou, A.: *Data Information and Knowledge: The Health Informatics Model and its Role in Evidence-based Medicine*. *J. Eval. Clin. Pract.* 8, 127–130 (2002)
5. Fischer, G., Ostwald, J.: *Knowledge Management: Problems, Promises, Realities, and Challenges*. *IEEE Intell. Syst.* 16, 60–72 (2001)
6. Van Bommel, J.H., Musen, M.A.: *Handbook of Medical Informatics*, [http://www.mieur.nl/mihandbook/r\\_3\\_3/handbook/home.htm](http://www.mieur.nl/mihandbook/r_3_3/handbook/home.htm)
7. Stefanelli, M.: *Knowledge Management to Support Performance-based Medicine*. *Methods Inf. Med.* 41, 36–43 (2002)
8. Polanyi, M.: *The Tacit Dimension*. Doubleday & Co, Massachusetts (1983)
9. Luger, G.F.: *Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving*. Addison-Wesley, Pearson Education, Boston (2009)

10. Russel, S.J., Norvig, P.: *Artificial Intelligence: a Modern Approach*. Prentice-Hall, New Jersey (2003)
11. Milton, N.: *Knowledge Acquisition*, <http://www.epistemics.co.uk/Notes/63-0-0.htm>
12. Bates, D.W., Evans, R.S., Murff, H., Stetson, P.D., Pizziferri, L., Hripcsak, G.: Detecting Adverse Events Using Information Technology. *J. Am. Med. Inform. Assoc.* 10, 115–128 (2003)
13. Keeling, C., Lambert, S.: Knowledge Management in the NHS: Positioning the Healthcare Librarian at the Knowledge Intersection. *Health Libr. Rev.* 17, 136–143 (2000)
14. Smith, R.G., Farquhar, A.: The Road Ahead for Knowledge Management. *AI Magazine* 1, 17–40 (2000)
15. Merriam-Webster's Collegiate Dictionary. Merriam Company, Massachusetts (2002)
16. Staab, S., Studer, R., Schnurr, H., Sure, Y.: Knowledge Processes and Ontologies. *IEEE Intell. Syst.* 1, 26–34 (2001)
17. Birkinshaw, J., Sheehan, T.: Managing the Knowledge Life Cycle. *MIT SMR* 44, 75–83 (2002)
18. Bhatt, G.D.: Organizing Knowledge in the Knowledge Development Cycle. *J. Knowl. Manag.* 4, 15–26 (2000)
19. Davenport, T.H., Glaser, J.: Just-in-time Delivery Comes to Knowledge Management. *Harv. Bus. Rev.* 80, 107–111 (2002)
20. Ash, J.S., Bates, D.W.: Factors and Forces Affecting EHR System Adoption: Report of a 2004 ACMI discussion. *J. Am. Med. Inform. Assoc.* 12, 8–12 (2005)
21. Maedche, A.: *Ontology Learning for the Semantic Web*. Kluwer Academic, Massachusetts (2002)
22. Gruber, T.R.: A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. *Knowl. Acquis.* 5, 199–220 (1993)
23. Fensel, D.: The Semantic Web and its Languages. *IEEE Intell. Syst.* 15, 67–73 (2000)
24. Guarino, N.: Understanding, Building, and Using Ontologies. *Int. J. Hum. Comp. Stud.* 46, 293–310 (1997)
25. Wielinga, B.J., Schreiber, A.T.: Reusable and Sharable Knowledge Bases: a European Perspective. In: *Proceedings of First International Conference on Building and Sharing of Very Large-Scaled Knowledge Bases*, Tokyo, pp. 103–115 (1993)
26. Alberts, L.K.: *YMIR: An Ontology for Engineering Design*. PhD Thesis. University of Twente, Enschede (1993)
27. Gruber, T.R.: Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing. *Int. J. Hum. Comp. Stud.* 43, 907–928 (1995)
28. Guarino, N., Giaretta, P.: Ontologies and Knowledge Bases: Towards a Terminological Clarification. In: Mars, N.J.I. (ed.) *Towards Very Large Knowledge Bases: Knowledge Building and Knowledge Sharing*, pp. 25–32. IOS Press, Amsterdam (1995)
29. Schreiber, G., Wielinga, B., Jansweijer, W.: The Kactus View on the 'o' Word. In: *Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing*, AAAI Press, Montreal (1995)
30. Van Heijst, G., Schreiber, A.T., Wielinga, B.J.: Using Explicit Ontologies in KBS Development. *Int. J. Hum. Comp. Stud.* 46, 183–192 (1997)
31. Gómez-Pérez, A.: Ontological Engineering: a State of the Art. *Exp. Upd.* 2, 33–43 (1999)
32. Mizoguchi, R., Vanwelkenhuysen, J., Ikeda, M.: Task Ontology for Reuse of Problem Solving Knowledge. In: *Proceedings of ECAI 1994 Towards Very Large Knowledge Bases*, Amsterdam, pp. 46–59 (1995)
33. Uschold, M., Gruninger, M.: *Ontologies: Principles, Methods and Applications*. *Knowl. Eng. Rev.* 11, 93–155 (1996)

34. Jasper, R., Uschold, M.: A Framework for Understanding and Classifying Ontology Applications. In: Proceedings of IJCAI 1999 Ontology Workshop, Stockholm (1999)
35. Haav, H.M., Lubi, T.L.: A Survey of Concept-based Information Retrieval Tools on the Web. In: Proceedings of East-European Conference ADBIS, Vilnius (2001)
36. Guarino, N.: Formal Ontology and Information Systems. IOS Press, Amsterdam (1998)
37. Berners-Lee, T., Hendler, J., Lassila, O.: The Semantic Web. *Scient. Amer.* 5, 34–43 (2001)
38. Noy, N.F., Hafner, C.D.: The State of the Art in Ontology Design: a Survey and Comparative Review. *AI Mag.* 18, 53–74 (1997)
39. Lenat, D.B.: CYC: a Large-scale Investment in Knowledge Infrastructure. *Commun. ACM.* 38, 33–38 (1995)
40. Spackman, K.A., Campbell, K.E., Cote, R.A.: SNOMED-RT: A Reference Terminology for Health Care. In: Proceedings of American Medical Informatics Association Fall Symposium, pp. 640–644 (1997)
41. Consortium, T.O.: Gene Ontology: Tool for the Unification of Biology. *Nat. Gen.* 1, 25–29 (2000)
42. Zdrahal, Z., Mulholland, P., Domingue, J., Hatala, M.: Sharing Engineering Design Knowledge in a Distributed Environment. *Behav. Inf. Tech.* 19, 189–200 (2000)
43. Fernández, M., Gómez-Pérez, A., Jurino, N.: Methontology: From Ontological art Towards Ontological Engineering. In: Proceedings of AAAI-Spring Symposium on Ontological Engineering, AAAI Press, Stanford (1997)
44. Uschold, M., King, M.: Building Ontologies: Towards a Unified Methodology. In: Proceedings of 16th Annual Conference of the British Computer Society Specialist Group on Expert Systems, Cambridge (1995)
45. Grüninger, M., Fox, M.S.: Methodology for the Design and Evaluation of Ontologies. In: Proceedings of Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, Montreal (1995)
46. Fernández, M., Gómez-Pérez, A., Jurino, N.: Methontology: From Ontological Art Towards Ontological Engineering. In: Proceedings of AAAI-Spring Symposium on Ontological Engineering, California (1997)
47. Noy, N.F., McGuinness, D.L.: *Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology*. Stanford University, Stanford (2000)
48. Sure, Y., Studer, R.: On-To-Knowledge Methodology: Final Version. In: Institute of Applied Informatics and Formal Description Methods, Karlsruhe (2002)
49. Corcho, O., Fernández-López, M., Gómez-Pérez, A.: Methodologies, Tools and Languages for Building Ontologies: Where is their Meeting Point. *Data Knowl. Eng.* 46, 41–64 (2003)
50. Wilkinson, S.G.: *Computerized Ontology Methods for Teaching Musculoskeletal Topics to Physical Therapy Students*. PhD Thesis. The University of Utah, Utah (2007)
51. Milam, J.: *Ontologies in Higher Education*, <http://highered.org/docs/milam-ontology.pdf>
52. Wilson, R.: *The Role of Ontologies in Teaching and Learning*, <http://www.jisc.ac.uk/media/documents/techwatch/acf11ac.pdf>
53. Macris, A.M., Georgakellos, D.A.: A New Teaching Tool in Education for Sustainable Development: Ontology-based Knowledge Networks for Environmental Training. *J. Clean Prod.* 14, 855–867 (2006)
54. Hausmanns, C., Zerry, R., Goers, B., Urbas, L., Gauss, B., Wozny, G.: Multimedia-Supported Teaching of Process System Dynamics Using an Ontology-Based Semantic Network. *Comput. Aided Chem. Eng.* 15, 1453–1459 (2003)

55. Levitt, S.: *Treatment of Cerebral Palsy and Motor Delay*. Blackwell Science, Oxford (1995)
56. Torre, C.A.: Follow up and Purpose of Physiotherapy Treatment for Teenagers and Young Adults With Cerebral Palsy. *Brain Dev* 23, 170–178 (2001)
57. Uschold, M.: Building Ontologies: Towards a Unified Methodology. In: 16th Annual Conference of the British Computer Society Specialist Group on Expert Systems, University of Edinburgh (1996)
58. LaFrance, M.: The Knowledge-acquisition Grid: A Method for Training Knowledge Engineers. *Int. J. Man Mach. Stud.* 26, 245–255 (1987)
59. Rittel, H.W.J., Webber, M.: Dilemmas in a General Theory of Planning. *Pol. Sci.* 4, 155–169 (1973)
60. Flehmig, I.: *Normal Infant Development And Borderline Deviations, Early Diagnosis And Therapy*. Thieme Medical Pub., Switzerland (1992)
61. Baader, F., Calvanese, D., McGuinness, D., Nardi, D., Patel-Schneider, P.: *The Description Logic Handbook: Theory, Implementation and Applications*. Cambridge University Press, Cambridge (2007)



**ANEXO VIII**

**PUBLICAÇÃO EM PERIÓDICO NACIONAL**



**REVISTA FISIOTERAPIA SER****SISTEMA DE APOIO AO DIAGNÓSTICO EM FISIOTERAPIA  
NEUROPEDIÁTRICA****NEUROPEDIATRIC PHYSIOTHERAPY DECISION SUPPORT SYSTEM**

LUCIANA VIEIRA CASTILHO-WEINERT \*, HEITOR SILVÉRIO LOPES \*\*

\* Fisioterapeuta (PUC-PR), Especialista em Fisiologia Humana e da Nutrição (PUC-PR), Mestre em Ciências (UTFPR), Doutoranda em Ciências pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

\*\* Engenheiro Eletricista (UTFPR), Especialista em Informática Industrial (PUC-PR), Mestre em Ciências (UTFPR), Doutor em Engenharia (UFSC), Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Nome e endereço completo para correspondência:

Luciana Vieira Castilho-Weinert

Av. Visconde de Guarapuava, 3067, ap. 202 – Centro - Curitiba – Paraná - CEP: 80010-100

E-mail: [lucianaweinert@gmail.com](mailto:lucianaweinert@gmail.com)

Telefones: (41)9122-2122 / (41) 3457-1943

Título abreviado do artigo:

Sist. Apoio Diagn. Fisioterap. Neurop.

## RESUMO

*Introdução:* Os sistemas de apoio ao diagnóstico têm muito valor em situações onde existe grande quantidade de informações disponíveis para serem analisadas pela inteligência humana. Motivando-se pela complexidade do processo de diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica, pela quase inexistência de sistemas para apoio ao processo de diagnóstico em Fisioterapia e pelo potencial da informática em simular comportamentos inteligentes que podem auxiliar na conclusão diagnóstica, desenvolveu-se o NePhyDS (Neuropediatric Physical Therapy Diagnosis System). *Métodos:* Através de protocolos de entrevista fortemente embasados na literatura, realizou-se a aquisição do conhecimento com especialistas na área. As divergências de opiniões foram dirimidas com métodos formais para gerenciamento de conflitos. Então este conhecimento foi representado na forma de regras para que um sistema computacional conseguisse interpretá-lo e realizasse inferências (retirasse conclusões). *Resultados:* As regras foram implementadas em um sistema especialista, um *software* capaz de criar uma interface com o usuário, lançando perguntas e obtendo respostas do usuário, até chegar a uma conclusão (diagnóstico). *Conclusões:* O sistema desenvolvido tem grande potencial para auxiliar no diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica e uma de suas principais vantagens está em também poder ser utilizado para ensino do processo de diagnóstico.

*Palavras-chave:* Diagnóstico; Fisioterapia Neuropediátrica; Informática.

## ABSTRACT

*Introduction:* Diagnosis support systems have great value in situations with significant information amount to be analyzed by humans. Motivated by complexity in Neuropediatric Physical Therapy diagnosis, by almost inexistence of diagnosis support systems in Physical Therapy and by informatics potential to simulate intelligent behaviors to help diagnosis, we developed NePhyDS (Neuropediatric Physical Therapy Diagnosis System). *Methods:* We realized knowledge acquisition with specialists trough interview protocols strongly based in literature. The opinion divergences were treated with formal methods to manage conflicts. Therefore this knowledge was represented in the form of rules. This rules enabled a computational system to understand the acquired knowledge and realize inferences (generate conclusions). *Results:* Rules were implemented in an expert system that is a software able to create an interface. It generates questions that are answered by user until the system achieve a conclusion (diagnosis). *Conclusões:* The developed system has great potential to support Neuropediatric Physical Therapy diagnosis. One of its main advantages is to help in diagnosis teaching.

*Key-words:* Diagnosis, Neuropediatric Physical Therapy, Informatics.

## INTRODUÇÃO

A informática em saúde é a utilização da tecnologia da informação em diversas áreas de saúde para o desenvolvimento de pesquisas, para a educação, e para auxílio no processo de tomada de decisão<sup>1,2,3</sup>. Os sistemas de apoio ao diagnóstico têm muito valor em situações onde existe grande quantidade de informações disponíveis para serem analisadas pela inteligência humana, e nas quais a precisão é importante<sup>4</sup>.

Neste contexto, as áreas de saúde podem se beneficiar muito da Inteligência Artificial, uma área específica da informática que fornece métodos e técnicas para o desenvolvimento de sistemas computacionais que objetivam simular comportamentos inteligentes<sup>5</sup>. Os sistemas especialistas são sistemas baseados em Inteligência Artificial frequentemente utilizados para auxiliar no processo de diagnóstico. Estes sistemas são aplicados a quase todos os tipos de situações em que se requer raciocínios formais para se obter uma solução, como é o caso do processo de diagnóstico<sup>6</sup>.

Na medicina o diagnóstico é um importante estágio que embasa o planejamento e a implementação dos programas de tratamento dos pacientes<sup>7,8</sup>. Desta forma é freqüente o relato de vários trabalhos em que diagnósticos são metodologicamente formalizados e se embasam em sistemas especialistas. Alguns exemplos de aplicação em diagnóstico podem ser citados nas áreas de: medicina tradicional chinesa<sup>9</sup>, patologias hepáticas<sup>10</sup>, patologias da tireóide<sup>11</sup>, oncologia<sup>12</sup>, cardiologia<sup>13</sup>, entre outras.

Entretanto, na área da Fisioterapia, percebe-se menos ênfase na sistematização do processo de diagnóstico<sup>7,8</sup>. As metodologias de Inteligência Artificial para apoio ao diagnóstico nesta área são praticamente inexistentes. Conseqüentemente, a literatura relata um escasso desenvolvimento e utilização de sistemas inteligentes para apoio ao diagnóstico em Fisioterapia. Poucos exemplos podem ser citados: um sistema para Fisioterapia neurológica no adulto<sup>14</sup> e um sistema para Fisioterapia traumato-ortopédica<sup>15</sup>.

Para Carr e Shepherd<sup>16</sup> os fisioterapeutas precisam adquirir a responsabilidade de utilizar práticas baseadas em evidências e métodos objetivos de intervenção e mensuração da evolução de seus pacientes.

Motivando-se pela complexidade do processo de diagnóstico, pela quase inexistência de sistemas para apoio ao processo de diagnóstico em Fisioterapia e pelo potencial da informática em simular comportamentos inteligentes que podem auxiliar na conclusão diagnóstica, acredita-se que o desenvolvimento de uma metodologia formal para embasar um sistema especialista de apoio ao diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica tenha grande relevância, não apenas para a Fisioterapia, mas também para as outras áreas da saúde que ainda se beneficiam pouco do suporte da Inteligência Artificial nos processos de diagnóstico.

Este artigo tem como objetivos principais: (1) Adquirir o conhecimento sobre Fisioterapia Neuropediátrica através de entrevistas com especialistas na área e validação em livros texto; (2) Representar este conhecimento de maneira formal para que um sistema computacional possa interpretá-lo e realize inferências (conclusões que podem ser o diagnóstico); (3) Desenvolver um sistema, chamado de NePhyDS (Neuropediatric Physical Therapy Diagnosis System), para apoio ao diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica.

### *Diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica*

O diagnóstico fisioterapêutico preciso é o instrumento que estabelece as diretrizes para o tratamento adequado a cada paciente<sup>17</sup>. Quando ocorre uma lesão neurológica em uma criança o fisioterapeuta avalia qual a defasagem existente entre sua idade motora e sua idade cronológica<sup>18, 19, 20</sup>. Por exemplo, em uma criança normal com 8 meses de *idade cronológica*, pela análise de seu Desenvolvimento Motor Normal (DMN), remete-se a aproximadamente 8 meses de *idade motora*. Por outro lado, uma criança com lesão neurológica pode-se ter uma *idade cronológica* de 8 meses, mas uma *idade motora* inferior. O DMN, descrito por vários

autores<sup>18, 19, 20, 21, 22,23, 24, 25</sup> serve como guia e parâmetro para que se avalie a alteração e a disfunção que a criança com distúrbio neurológico pode apresentar no funcionamento do sistema nervoso central e do sistema musculoesquelético.

### *MATERIAL E MÉTODOS*

Esta seção apresenta o processo metodológico desenvolvido para a criação do NePhyDS, um sistema especialista para apoio ao diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica.

Em Inteligência Artificial, o termo “conhecimento” significa a informação que um programa de computador necessita para que possa simular o raciocínio humano. O processo de aquisição e representação do conhecimento pode ser definido como a extração, a transformação e a transferência de informação de uma fonte de conhecimento (em geral um especialista humano) para um programa de computador. A meta deste processo é obter o conhecimento para solucionar problemas<sup>6</sup>.

Uma vez representado formalmente, o conhecimento precisa ser manipulado. Para melhorar o processo de decisão pode-se realizar inferências ou deduções através dos sistemas especialistas. Estes sistemas são criados para resolver problemas em uma determinada área cujo conhecimento representado é fornecido por pessoas que são especialistas nesta área<sup>26</sup>.

#### *Metodologia para Aquisição de Conhecimento para o Sistema Especialista*

Como fonte para a aquisição do conhecimento foram selecionados três fisioterapeutas especialistas em Fisioterapia Neuropediátrica, com experiência docente (teórica) e terapêutica (prática) neste domínio (Tabela 1). Estes profissionais participaram de diferentes tipos de entrevistas objetivando a extração de seu conhecimento.

Tabela I: Perfil dos especialistas entrevistados.

<b>Dados</b>	<b>Especialista A</b>	<b>Especialista B</b>	<b>Especialista C</b>
Anos desde a graduação	18	8	6
Anos de experiência clínica na área	18	8	6
Anos de docência na área	11	7	5
Número de cursos complementares na área	7	2	2
Mestrado Concluído	sim	sim	sim

Para garantir a imparcialidade cada especialista foi entrevistado separadamente. De maneira similar, o entrevistador não influenciou o processo de obtenção de informação.

As técnicas de entrevista utilizadas foram a semi-estruturada, previamente planejada antes de cada seção, seguida da estruturada. A entrevista semi-estruturada é aquela que combina perguntas fechadas e abertas, e que permite ao entrevistado discorrer sobre o tema sugerido sem que o entrevistador fixe determinadas respostas ou condições. A entrevista estruturada ocorre depois que o entrevistador tem algum domínio do assunto, pois requer um roteiro de perguntas fechadas previamente elaboradas com o objetivo de extrair as informações que faltaram na entrevista semi-estruturada. Para a realização das entrevistas utilizou-se as fases do esquema de questionamento proposto por LaFrance<sup>27</sup>, para que o mesmo atendesse às necessidades do domínio em questão:

- Questionamento amplo (*grand-tour*): Nesta primeira fase realizou-se uma entrevista semi-estruturada, através de questionamentos generalistas e introdutórios, para definir os parâmetros a serem explorados nas etapas seguintes. Nesta fase foi possível compreender que, durante o diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica estes especialistas sempre buscam estabelecer a idade motora do paciente para verificar se há atraso em relação à sua idade cronológica.

- Catologação das categorias: Na segunda fase prosseguiu-se com a entrevista semi-estruturada e realizou-se a catalogação das categorias, principais conceitos envolvidos no processo de diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica. Nesta etapa, através das respostas obtidas compreendeu-se os quesitos analisados pelos especialistas para a classificação da motricidade de um paciente. Portanto foram definidos os cinco grandes grupos de informações relevantes para o diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica, pelos quais tais especialistas determinam a idade motora: reflexos, reações, planos de movimento, padrões de movimento e habilidades motoras voluntárias. Na segunda fase houve, ainda, a determinação dos itens (atributos) que compõem cada categoria mencionada, por exemplo, os nomes dos reflexos analisados no DMN. Estes itens são apresentados na Figura 1;
- Detalhamento dos atributos: Os atributos são os itens que compõe cada categoria. Para a obtenção das informações referentes a esta fase utilizou-se a entrevista estruturada. Nesta fase elaborou-se 12 questionários iguais, cada um referente a um dos meses do DMN, questionando em cada mês do DMN a presença ou ausência dos itens levantados na segunda fase da etapa de catalogação das categorias. Desta forma, cada especialista respondeu quais atributos (itens) são analisados para a classificação dos pacientes nos diversos meses;
- Determinação das ponderações: Na quarta fase os atributos receberam um peso, de acordo com sua importância, em cada mês do DMN. Solicitou-se aos especialistas que, ao preencherem os 12 questionários mencionados anteriormente, também determinassem a importância de cada atributo (item) em cada mês do DMN. Por exemplo, na categoria dos reflexos, ao assinalar a presença de um reflexo em determinado mês, o especialista também apontou se o mesmo ocorreria de maneira fraca, normal ou intensa. Estas intensidades surgiram de acordo com o relato dos próprios especialistas sobre como avaliavam as diferenças na apresentação de um reflexo nos diferentes meses do DMN, e são mais bem representadas na Figura 2. Estas ponderações conseguiram amenizar a subjetividade que é uma questão bastante presente nos diagnósticos fisioterapêuticos e que muitas vezes torna-se um obstáculo para a validação de metodologias formais na área;
- Verificação cruzada: Na quinta e última fase realizou-se a revisão das informações dos questionários pelos especialistas. Esta etapa possibilitou ajustes e refinamentos nas informações adquiridas na segunda, terceira e quarta fases.

#### *Gerenciamento de Conflitos entre Especialistas*

Uma parte bastante importante do processo de Aquisição de Conhecimento é o gerenciamento de conflitos e divergências oriundos das opiniões dos especialistas. Neste trabalho optou-se pela aquisição de conhecimento de 3 especialistas no domínio, na tentativa de se promover um consenso sem ser displicente com o processo de divergência de opiniões. Assim, criou-se 3 conjuntos de informações que, após tratadas suas divergências, foram fundidos em um só.

O tratamento das divergências ocorreu através da metodologia IBIS (*Issue-Based Information System*) desenvolvida por Rittel e colaboradores na década de 70<sup>28</sup>. Por se embasar em questões, qualquer divergência em uma questão gera possibilidades de resposta que são as idéias, e estas idéias devem ser suportadas por argumentos que são as justificativas<sup>29</sup>. Conforme a Figura 3 este sistema pode incorrer em diferentes ciclos de vida de acordo com o desenvolvimento do diálogo com os especialistas.

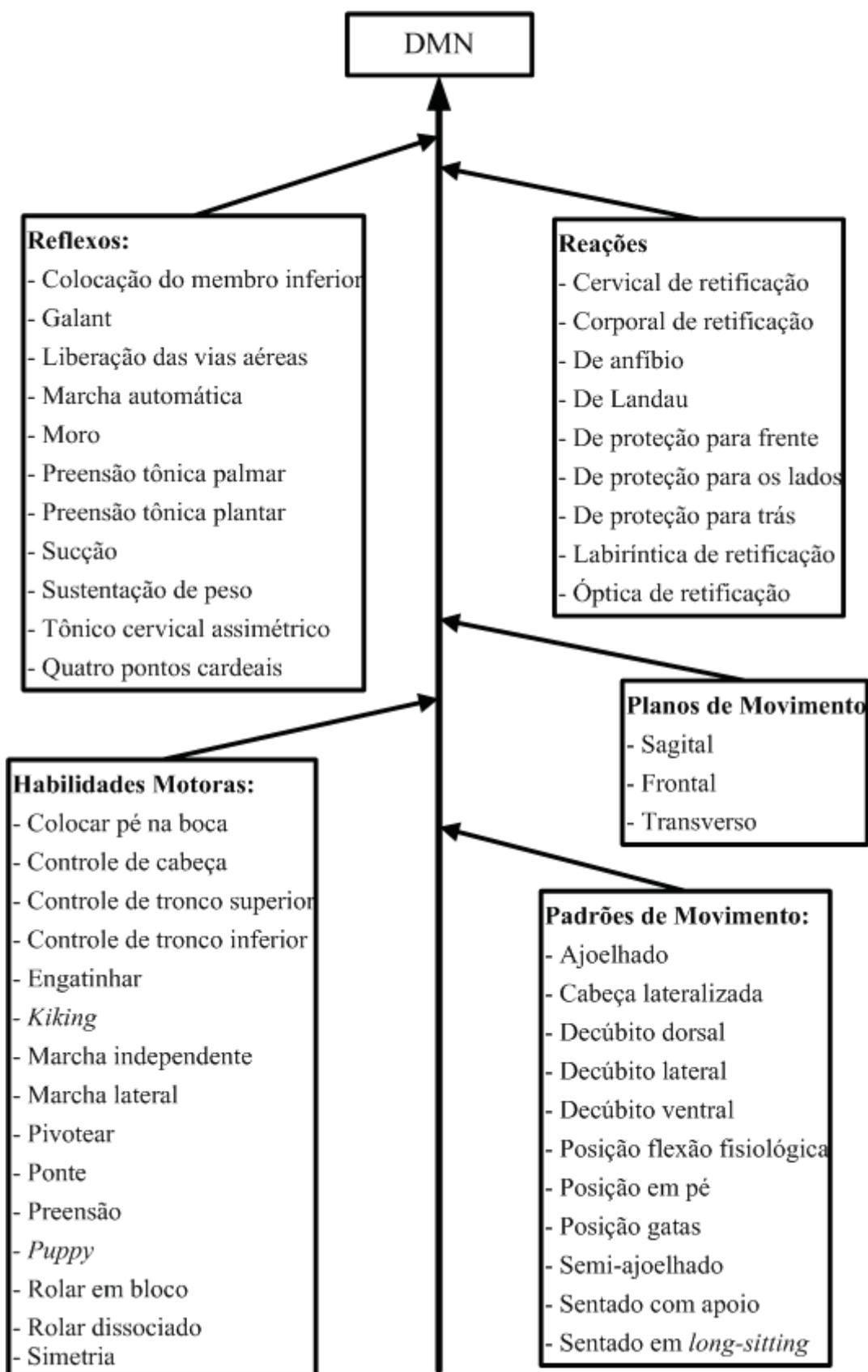


Figura 1: Determinação dos itens que os especialistas analisam no DMN.

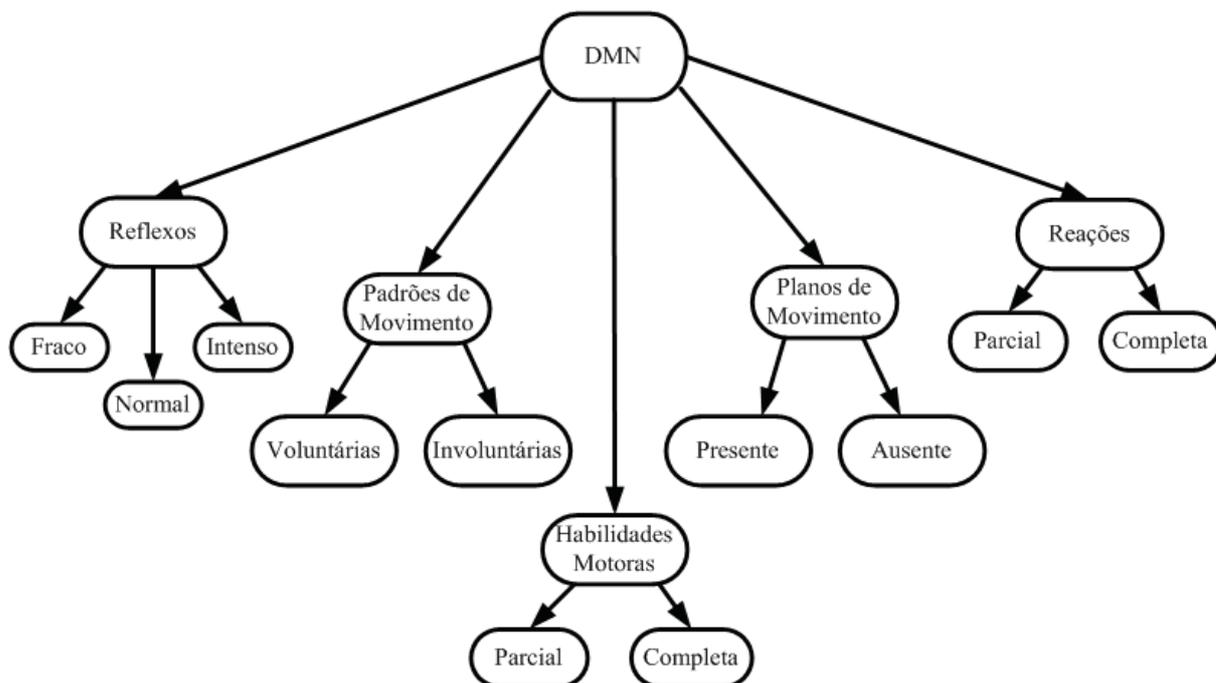


Figura 2: Determinação das ponderações pelos especialistas.

A Figura 3 permite a observação dos seguintes ciclos: Ciclo com a seqüência básica (1-2): uma pergunta, uma resposta e uma justificativa; Ciclo que se inicia com uma pergunta, seguida de uma resposta que gera uma nova pergunta e então sua resposta e uma justificativa (1-2-3-1-2); Ciclo em que ao final da seqüência básica pergunta, resposta, justificativa retorna-se ao início de uma nova seqüência básica (1-2-4-1-2).

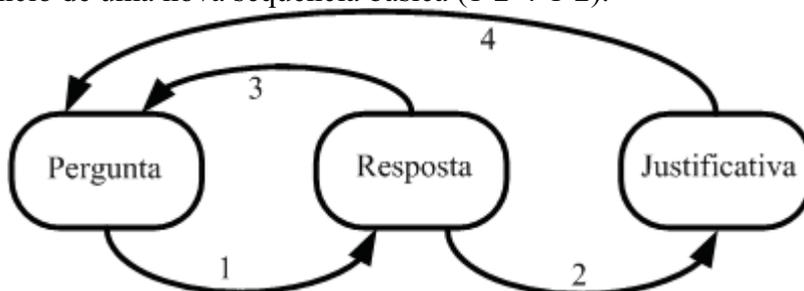


Figura 3: Possibilidades de ciclos de vida previstos na metodologia IBIS.

Assim, esta metodologia propõe que, ao se deparar com uma questão que possui respostas discrepantes sempre se deve optar pela resposta com melhor argumentação. Se as duas respostas possuírem justificativas, deve-se escolher aquela com o maior número de argumentações. A Figura 4 exemplifica o tratamento de um conflito. Neste exemplo, a resposta do primeiro especialista não recebeu justificativa. Portanto, considerou-se a segunda resposta como o conhecimento válido para a base de conhecimento.

Durante o processo de Aquisição de Conhecimento foram aplicados e analisados 12 questionários, cada um com 49 itens, totalizando 588 itens avaliados. Destes, houve apenas 41 conflitos (7%). Utilizando a metodologia IBIS todos os conflitos foram resolvidos, e para ampliar a confiabilidade das informações o conhecimento foi analisado e comparado com as informações disponíveis na literatura clássica sobre desenvolvimento motor normal<sup>18,19,22,23,24,30</sup>.

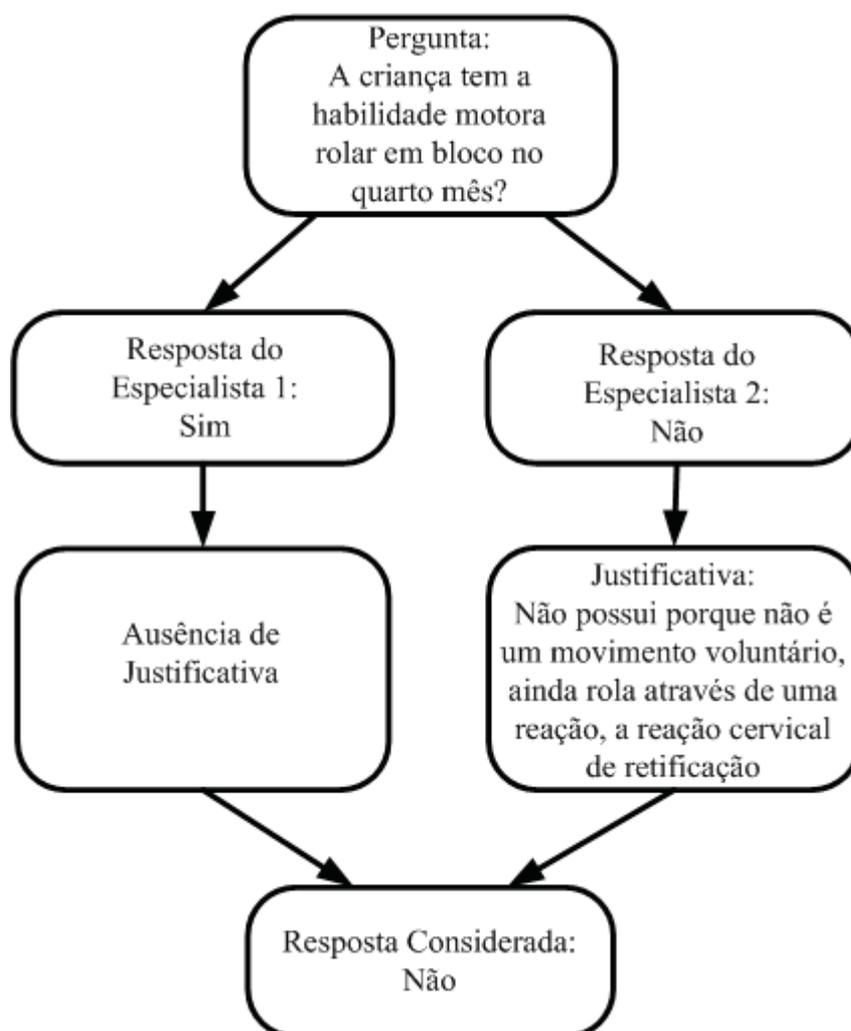


Figura 4: Gerenciamento de um conflito durante o processo de entrevistas.

#### *Representação do Conhecimento e Desenvolvimento do Sistema Especialista*

Uma vez adquirido o conhecimento dos especialistas, este conhecimento precisa ser formalmente representado para que o sistema computacional consiga interpretá-lo e realizar inferências (retirar conclusões) sobre ele. Como metodologia para representação do conhecimento escolheu-se o desenvolvimento de uma base (conjunto) de regras de produção.

As regras de produção são expressas na forma “SE *A* ENTÃO *C*”. O antecedente “*A*” pode ser formado por um conjunto de condições e “*C*” representa o conseqüente da regra. Por exemplo, apresenta-se uma regra de produção para a sentença hipotética: “Se um paciente possui reflexo tônico cervical assimétrico intenso e reflexo tônico plantar intenso então sua idade motora será de 2 meses. Representando simbolicamente como uma regra de produção: SE [(reflexo tônico cervical assimétrico = intenso) E (reflexo tônico plantar = intenso)] ENTÃO (classe = 2 meses)

Esta metodologia permite a representação formal de conhecimento tácito (aquele disponível com pessoas e que não se encontra formalizado em meios concretos), como o conhecimento existente na área de Fisioterapia Neuropediátrica.

As regras de produção embasaram o desenvolvimento de um sistema especialista para auxílio ao diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica, o NePhyDS. Este sistema foi implementado no *Shell Expert* SINTA<sup>9</sup>, desenvolvido pelo Laboratório de Inteligência

<sup>9</sup> <http://www.di.ufpe.br/~fab/expert-sinta/?C=S;O=A>

Artificial (LIA) da Universidade Federal do Ceará (Figura 5). Um *Shell* é um programa utilizado para desenvolver outros programas, neste caso, para gerar sistemas especialistas.

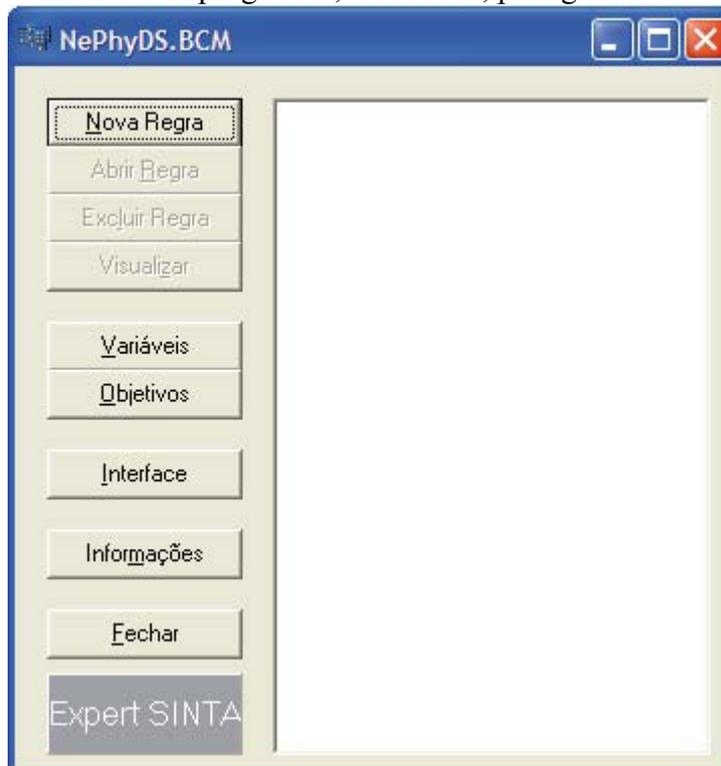


Figura 5: Apresentação do SINTA – interface inicial

As Figuras 6 e 7 apresentam os passos da implementação do sistema no SINTA:

- Passo 1: inserção das variáveis (itens ou atributos levantados durante a entrevista estruturada) e dos seus respectivos valores (Figura 6). A variável “Mês” é a única que pode assumir valores entre 01 e 12, pois ela classificará o paciente em uma das idades motoras entre 1 e 12 meses. Todas as demais podem assumir ou o valor “ausente” ou o valor “presente”. Estas variáveis são univaloradas porque podem assumir um único valor na execução do sistema;
- Passo 2: definição das variáveis-objetivo. A conclusão do sistema especialista se embasa nas variáveis-objetivo que são as respostas ou diagnósticos. Neste trabalho busca-se como resposta um valor para a variável “Mes”, ou seja, a qual mês do DMN pertencem o conjunto de características de um dado paciente.
- Passo 3: definição das regras (Figura 7). A base possui doze regras, cada uma responsável pela classificação em um dos primeiros doze meses do DMN. A Figura 7 apresenta um exemplo simplificado, contemplando somente 2 atributos. A regra real para o mês 2 é mais complexa e possui 15 atributos.

**Após esta implementação o sistema especialista já se encontra pronto para ser utilizado com o usuário.**

## RESULTADOS

Para ilustrar o funcionamento do NePhyDS apresenta-se o exemplo de consulta de um paciente hipotético. Como o SINTA inicia sua execução examinando sua base de regras e tentando provar a regra de ordem 1 (correspondente ao 1º mês do DMN), então é necessário realizar questionamentos ao usuário (Figura 8). Se todas as respostas forem condizentes com a

definição da regra 1 o sistema retorna o valor estabelecido (Mes 1), caso contrário tenta provar a próxima regra, de ordem 2, realizando outros questionamentos ao usuário. Segue-se neste processo até que uma das 12 regras seja provada e retorna-se o resultado ao usuário.

A Figura 8 exemplifica um questionamento ao usuário. Os questionamentos sempre aparecem um de cada vez e conforme o número de atributos que compõe a regra, será o número de questionamentos feitos pelo sistema. Por exemplo, como descrito anteriormente, a regra correspondente à classificação de um paciente com 2 meses de idade motora possui 15 atributos, e, portanto, em um caso real haveria uma seqüência de 15 questionamentos.

Variáveis	Valores
Mes	01
MovimentoPlanoSagital	02
MovimentoPlanoFrontal	03
MovimentoPlanoTransverso	04
ReacaoDeProtecaoParaOsLados	05
ReflexoDePreensaoTonicaPalmar	06
ReflexoDePreensaoTonicaPlantar	07
ReflexoTonicoCervicalAssimetrico	08
ReacaoCervicalDeRetificacao	09
ReacaoCorporalDeRetificacao	10
MarchaIndependente	11
ControleDeTroncoSuperior	12

Variável:

Valor:

Numérica  
 Multivalorada  
 Single-valued

Figura 6: Inserção das variáveis e de seus valores no *Expert SINTA*.

Nome da regra:  Ordem:

```
SE
    ReflexoTonicoCervicalAssimetrico = Intenso.
E
    ReflexoDePreensaoTonicaPlantar = Intenso
ENTÃO
    Mes = 02
```

Figura 7: Implementação de uma regra – exemplo simplificado.

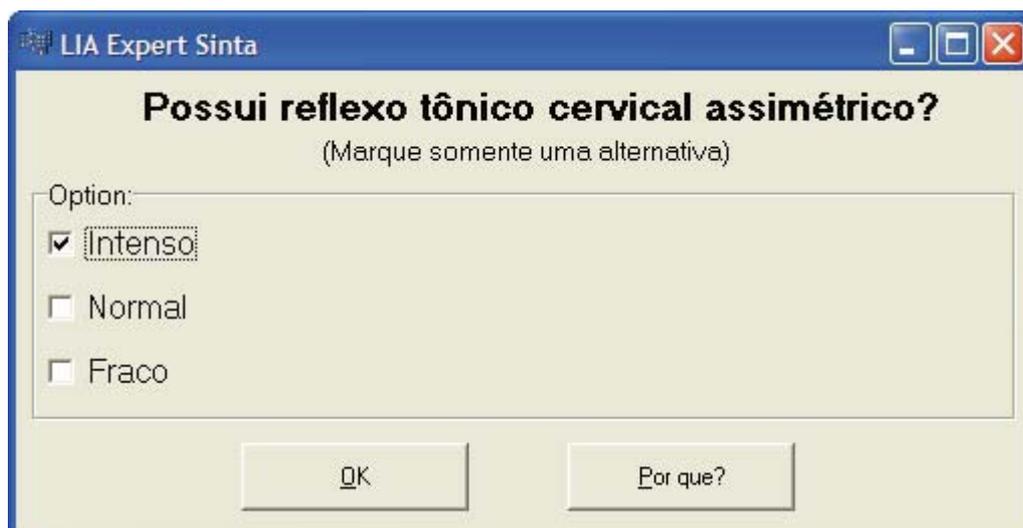


Figura 8: Exemplo de interface – tela apresentada ao usuário durante uma consulta.

O SINTA dispõe de um mecanismo de explicação dos resultados obtidos durante uma consulta, gerando o caminho que representa todos os passos efetuados até a conclusão de determinado objetivo (Figura 9). Assim, além de auxiliar o usuário no processo de diagnóstico também ensina o caminho necessário à tomada de decisão. Nesta figura mostra-se a verificação e a rejeição da primeira regra (correspondente ao mês 1). Em seguida prossegue-se para a verificação da segunda regra e assim por diante até que seja encontrada uma regra compatível com as respostas do usuário do sistema.

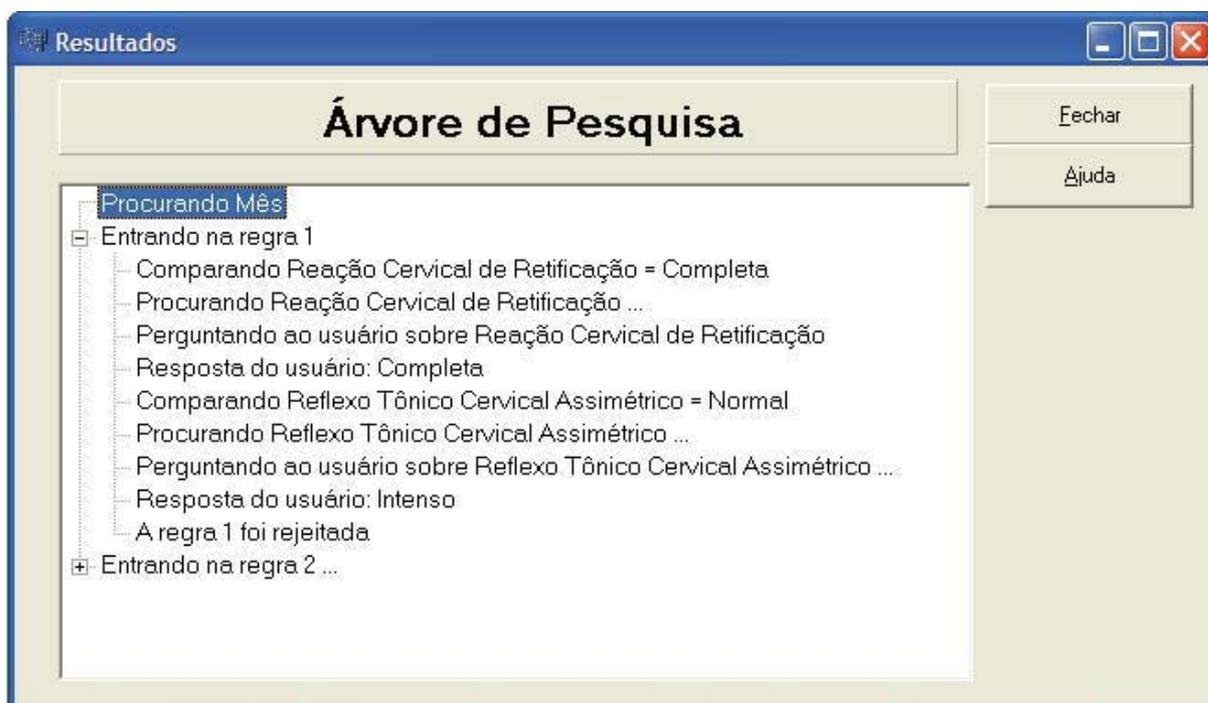


Figura 9: Apresentação de como o SINTA chega a conclusão através do motor de inferência.

## CONCLUSÕES

Um sistema especialista é aquele que lida com problemas complexos do mundo real, que requeiram a interpretação de um especialista humano e soluciona tais problemas através do uso de um modelo computacional abstraído do raciocínio do especialista, objetivando chegar às mesmas conclusões que este especialista humano chegaria.

Acredita-se que a utilização de sistemas especialistas no diagnóstico fisioterapêutico seja de grande importância, jamais com o intuito de substituir o profissional, mas com o objetivo de apoiá-lo no processo de diagnóstico e tomada de decisão, assim como tem sido feito na medicina. Cabe salientar que, comparando-se com outras áreas da saúde, a informática ainda é pouco utilizada na Fisioterapia. Sua utilização é escassa não só no ensino, como também no diagnóstico. Porém, nos poucos estudos relatados na literatura percebe-se que quando se alia à Informática a Fisioterapia obtém-se resultados muito promissores, e, portanto, existe um potencial a ser explorado.

Embora com algumas limitações, o sistema desenvolvido tem grande potencial para auxiliar no diagnóstico em Fisioterapia Neuropediátrica e uma de suas principais vantagens está em também poder ser utilizado para ensino do processo de diagnóstico. O NePhyDS pode ser interessante como recurso instrucional, uma vez que sempre apresenta todos os passos que percorreu até chegar a conclusão. Esta realimentação ao usuário se torna um aspecto didático-pedagógico bastante interessante, tanto para profissionais, quanto para alunos. Além disto, a metodologia formal utilizada nos processos de Aquisição e Representação de Conhecimento pode ser utilizada no desenvolvimento de sistemas em outras áreas da Fisioterapia.

Como trabalhos futuros pretende-se aperfeiçoar o NePhyDS de tal maneira que seja capaz de classificar um paciente como pertencente a mais de uma idade motora ao mesmo tempo. Sabe-se que isto refletiria melhor a realidade, pois geralmente um paciente pertence a uma idade motora “X” com lacunas (possui características de mais de 1 mês do DMN).

#### *AGRADECIMENTOS*

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de doutorado concedida a Luciana Vieira Castilho-Weinert e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade em pesquisa número 309262/2007-0 concedida a Heitor Silvério Lopes.

#### *BIBLIOGRAFIA*

1. Haux R. Aims and tasks of medical informatics. *Int J Med Inform* 1997;44(1):9-20.
2. Shortliffe EH, Perreault LE, Wiederhold G, Fagan LM. *Medical Informatics: Computer Applications in Health Care and Biomedicine*. 2<sup>nd</sup>ed. New York: Springer-Verlag; 2001.
3. Haux R. Health information systems: past, present and future. *Int J Med Inform* 2006;75(3-4):268-281.
4. Druzdzal MJ, FLYNN RR. *Encyclopedia of library and informatic science*. 2<sup>nd</sup>ed. New York: Marcel Dekker; 2002.
5. Barr A, Feigenbaum EA. *The handbook of artificial intelligence*. Los Angeles: Addison-Wesley; 1986.
6. Russel S, Norvig P. *Artificial intelligence: a modern approach*. 2<sup>nd</sup>ed. New Jersey: Prentice-Hall; 2003.
7. James G. Diagnosis in physical therapy: insights from medicine and cognitive science. *Phys Ther Rev* 2002;7(1):17-31.
8. Castilho LV, Lopes, HS, Tacla, CA. Modeling and building an ontology for neuropediatric physiotherapy domain. In: *Proceedings of the 8th International Conference on Hybrid Intelligent Systems*; 2008.
9. Wang X, Qu H, Liu P, Cheng Y. A self-learning expert system for diagnosis in traditional chinese medicine. *Expert Systems with Applications* 2004;26(4):557-566.
10. Neirotti, R., Oliveiri, F., Brunetto, M.R., Bonino, F. Software and expert system for the management of chronic hepatitis B. *J Clin Virol* 2005;34(1):29-33.
11. Keles A, Keles A. ESTDD: Expert system for thyroid diseases diagnosis. *Expert Systems with Applications* 2008;34(1):242-246.

12. Karabatak M, Inca MC. An expert system for detection of breast cancer based on association rules and neural network. *Expert Systems* 2009;36(2): 3465-3469.
13. Hanbay D. An expert system based on least square support vector machines for diagnosis of the valvular heart disease. *Expert Systems with Applications* 2009;36(3):4232-4238.
14. Dankel II DD, Kristmundstottir MO. REPS: A Rehabilitation Expert System for Post-stroke Patients. *Artif Intell Med* 2005;3581(1):94-98.
15. Peixoto LA, Bastos LC, Israel, VL SAD em fisioterapia para auxílio na simulação de exames ortopédicos da coluna vertebral através de regras de produção. In: X Congresso Brasileiro de Informática em Saúde, Florianópolis. 2006;1:817-822.
16. Carr JH, Sheperd RB. The changing face of neurological rehabilitation. *Rev Bras Fisioter* 2006;10(2):147-156.
17. Kendall, F.P., McCreary, E.K., Provance, P.G., Rodgers, M.M., Romani, W.A. *Muscles: testing and function with posture and pain*. 5<sup>th</sup>ed. Philadelphia: Lippincott Williams; 2005.
18. Bly L. *Motor skills acquisitions in the first year: an illustrated guide to normal development*. USA: Therapy Skill Builders; 1994.
19. Levitt S. *Treatment of cerebral palsy and motor delay*. 3<sup>rd</sup>ed. Oxford: Blackwell; 1995.
20. Gusman S, Torre CA. Fisioterapia. In: Diament A, Cypel S. *Neurologia Infantil*. 4.ed. São Paulo: Atheneu; 2005. p.1731-1751.
21. Diament A. Exame neurológico do lactente. In: Diament A, Cypel S. *Neurologia Infantil*. 3.ed. São Paulo: Atheneu; 1998. p. 33-61,
22. Finnie NR. *Handling the young child with cerebral palsy at home*. 3<sup>rd</sup>ed. England: Butterworth-Heinemann; 1997.
23. Flehmig I. *Normal infant development and borderline deviations: early diagnosis and therapy*. England: Thieme Publishing Group; 1992.
24. Bobath B. Motor development its effects on general development and application to the treatment of cerebral palsy. *Physiotherapy* 1971;57(1):526.
25. Milani-Comparetti A, Gidoni EA. Routine developmental examination in normal and retarded children. *Dev Med Child Neurol* 1967;9(1):625.
26. Luger GF. *Artificial intelligence: structures and strategies for complex problem solving*. Boston: Addison-Wesley Pearson; 2009.
27. LaFrance M. The knowledge-acquisition grid: a method for training knowledge engineers. *Int J Man Mach Stud* 1987;26(1):245-255.
28. Rittel H, Webber M. Dilemmas in a general theory of planning. *Policy Sci* 1973;4(1):155-169.
29. Yakemovic KCB, Conklin EJ. Report on a development project use of an issue-based information system. In: *Proceedings of the 1990 ACM conference on computer-supported cooperative work*; 1990.
30. Piper MC, Darrah J. *Motor assessment of the developing infant*. Philadelphia: W.B. Saunders Company; 1994.