



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

Hugo Alves dos Santos

**UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA PARA DIAGNÓSTICO
DE PATOLOGIAS ORTOPÉDICAS DOS MEMBROS INFERIORES**

Palmas

2011

Hugo Alves dos Santos

**UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA PARA DIAGNÓSTICO
DE PATOLOGIAS ORTOPÉDICAS DOS MEMBROS INFERIORES**

Trabalho apresentado como requisito parcial para a aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do curso de Sistemas de Informação do Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP/ULBRA.

Aprovado em Julho de 2011.

BANCA EXAMINADORA

Prof. M.Sc. Fabiano Fagundes
Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. M.Sc. Cristina D'Ornellas Filipakis
Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. M.Sc. Edeilson Milhomem
Centro Universitário Luterano de Palmas

**Palmas
2011**

RESUMO

Este trabalho consiste na construção de um Sistema Especialista, uma técnica de Inteligência Artificial, que auxilie profissionais no diagnóstico de patologias ortopédicas dos membros inferiores. Para tal, foram utilizados os recursos da ferramenta Expert Sinta. A aplicação dessa técnica consiste em análise do domínio, processo de aquisição do conhecimento junto ao especialista, representação do conhecimento na base de dados e testes de validação. Assim, tem-se, a partir de determinadas inferências, a apresentação de determinado resultado, que devem se aproximar do ideal para a resolução do problema proposto. Ao final, após os testes de validação, foi possível concluir que as sugestões emitidas pelo sistema são relevantes e aplicáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Inteligência Artificial, Sistemas especialistas, Expert Sinta.

ABSTRACT

This study is a demonstration of an Artificial Intelligence technique for building a system that assists professionals in the diagnosis of orthopedic pathologies of the lower limbs. To this end, we used the features of the tool Expert Sinta. The application of this technique consists of domain analysis, the process of acquiring knowledge by the expert knowledge, representation in the database and validation testing. Thus, we have, certain inferences from the presentation of a given result, which should approach the ideal for the resolution of the problem. In the end, after the validation tests, it was concluded that the suggestions issued by the system are relevant and applicable.

KEYWORDS: Artificial Intelligence, Expert Systems, Expert Sinta.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Arquitetura básica de um Sistema Especialista..... | 17 |
| Figura 2: Tela gerada a partir do conhecimento armazenado na base do conhecimento..... | 35 |
| Figura 3: Exemplo de regra criada no Expert Sinta..... | 37 |
| Figura 4: Incluindo atributos em uma regra..... | 38 |
| Figura 5: Tela de configuração da máquina de inferência..... | 39 |
| Figura 6: Tela de personalização dos fatores de confiança..... | 40 |
| Figura 7: Tela de configuração de nível de acesso..... | 40 |
| Figura 8: Tela para a criação de variáveis disponibilizada pelo Expert Sinta..... | 44 |
| Figura 9: Janela de gerenciamento de variáveis..... | 45 |
| Figura 10: Tela inicial do sistema de diagnóstico de patologias ortopédicas dos membros inferiores..... | 46 |
| Figura 11: Criação da tela inicial do SE fornecida pelo Expert Sinta..... | 47 |
| Figura 12: Tela de definição de interface do SE..... | 48 |
| Figura 13: Definição da pergunta e opção de explicação apresentada ao usuário..... | 49 |
| Figura 14: Tela de definição das variáveis que serão objetivos..... | 50 |
| Figura 15: Interface para obter informação de onde se localiza a dor..... | 53 |
| Figura 16: Interface para obter informação sobre o local que se encontra a dor. | 53 |
| Figura 17: Tela para escolha da ordem e modelo da regra a ser criada..... | 54 |
| Figura 18: Tela de criação de nova regra..... | 55 |
| Figura 19: Tela de edição de regra..... | 56 |
| Figura 20: Exemplo de uma regra estruturada..... | 56 |
| Figura 21: Opções do motor de inferência..... | 57 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----------|
| Tabela 1 – Comparação entre o conhecimento humano e o conhecimento artificial..... | 06 |
| Tabela 2 - Representando sintoma na forma de variável..... | 51 |
| Tabela 3 - Valores referentes à variável ‘INDICATIVO DE DIAGNÓSTICO’..... | 52 |

LISTA DE ABREVIATURAS

AC – Aquisição de Conhecimento

BC – Base do Conhecimento

IA – Inteligência Artificial

SE – Sistema Especialista

ANEXO

Anexo 1 - Modelo de entrevista realizado

Anexo 2 – Patologias possíveis de serem diagnosticadas pelo SE

SUMÁRIO

| | | |
|------------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 9 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 11 |
| 2.1. | Sistemas especialistas | 14 |
| 2.1.1. | Classificação de sistemas especialistas | 14 |
| 2.1.2. | Arquitetura básica de um SE | 17 |
| 2.1.2.1 | Base do Conhecimento | 18 |
| 2.1.2.2 | Máquina de inferência ou motor de inferência | 20 |
| 2.1.2.3 | Quadro negro | 21 |
| 2.1.2.4 | Subsistema de aquisição | 22 |
| 2.1.2.5 | Subsistema de explicação | 23 |
| 2.1.2.6 | Interface com o usuário | 23 |
| 2.1.3. | Aquisição de conhecimento | 25 |
| 2.1.3.1 | Técnicas de aquisição do conhecimento | 27 |
| 2.1.3.1.1 | Técnicas manuais | 27 |
| 2.1.3.1.2 | Técnicas semi-automáticas | 29 |
| 2.1.3.1.3 | Técnicas automáticas | 30 |
| 2.1.4. | Representação do conhecimento | 30 |
| 2.1.4.1 | Regras de produção | 31 |
| 2.1.4.1.1 | Modo de raciocínio | 32 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS | 34 |
| 3.1. | Contato com o especialista | 34 |
| 3.2. | Expert Sinta | 34 |
| 3.2.1. | Base do conhecimento | 36 |
| 3.2.2. | Motor de inferência | 38 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 42 |
| 4.1. | Criação do Sistema Especialista | 42 |
| 4.1.1. | Definição do domínio | 42 |
| 4.1.2. | Aquisição do conhecimento | 42 |
| 4.1.3. | Representação do conhecimento | 43 |
| 4.1.3.1 | Variáveis | 43 |
| 4.1.3.2 | Telas e menus | 45 |

| | |
|-------------------------------------|----|
| 4.1.3.3 Regras | 51 |
| 4.1.3.4 Máquina de inferência | 57 |
| 4.1.4. Testes | 58 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 59 |
| 6 REFERÊNCIAS | 62 |

1 INTRODUÇÃO

Em 1988, Levine (1988, p. 1) previa que as técnicas de programação em Inteligência Artificial (IA) invadiriam todas as áreas da tecnologia, pois isso já começava a ocorrer naquele tempo, com a criação de máquinas baseadas em IA interferirem diretamente na vida do ser humano, podendo ser encontradas na indústria, nos grandes negócios e também na área militar.

Com a progressão da Inteligência Artificial, tornou-se possível construir sistemas que possuem conhecimentos específicos em determinadas áreas, chamados de Sistemas Especialistas (SE). A criação de um sistema especialista visa auxiliar o profissional de um determinado domínio, como diagnóstico médico, sistemas de atendimento, transações bancárias, entre outros.

O domínio abordado nesse trabalho se refere ao diagnóstico de patologias ortopédicas dos membros inferiores, considerando que na área da saúde a forma de diagnóstico propriamente dita assemelha-se muito com a forma de funcionamento do sistema especialista, pois se dá através de perguntas e respostas. Devido a avanços nos últimos tempos na área da saúde, surgiu a necessidade de criação de sub-especialidades, resultando na dificuldade dos profissionais em dominar todos os ramos da área ortopédica. Um SE pode ser uma ferramenta útil para auxiliar o especialista nesse processo de tomada de decisão, realizando perguntas que encaminham para o raciocínio em direção ao diagnóstico do problema apresentado. A utilização do SE também pode servir para o auxílio no processo educativo, com simulações que contribuem para a construção do conhecimento, oferecendo ao acadêmico da área ortopédica um suporte na simulação de um diagnóstico.

Este trabalho tem como objetivo a construção de um SE que indique possíveis diagnósticos de patologias ortopédicas localizadas nas regiões do quadril/coxa, joelho, tornozelo e pé. De acordo com os sintomas apresentados deverá chegar a indicativo de doenças como Bursite Trocantérica, Osteoartrite, Tendinite do Aquileu, Neuroma de Morton, entre outras. Visa criar um sistema que realize o suporte eficiente ao profissional da área ortopédica em sua atuação bem

como a possibilidade de colaborar para primeiras experiências por parte de usuários ainda em processo de aprendizagem.

Este documento descreve na Seção 1 alguns dos conceitos relacionados ao desenvolvimento do sistema, bem como apresenta exemplos e imagens para um bom entendimento sobre Sistemas Especialistas. Assim, segue-se o trabalho com a Seção 2, que apresenta a revisão de literatura, com os principais conceitos referentes a Sistemas Especialistas. A Seção 3 descreve os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento desse projeto. A Seção 4 apresenta os resultados e discussão, bem como os artefatos produzidos no desenvolvimento da aplicação. Na Seção 5 encontram-se as considerações finais do trabalho. As referências bibliográficas são apresentadas na Seção 6.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A evolução humana sempre foi alvo de estudos para os cientistas, principalmente com relação ao conhecimento. A busca pelo conhecimento proporcionou condições para a criação de máquinas que interferiram diretamente na vida social, economia e política do ser humano. Segundo Lucio (2000), “a Inteligência Artificial (IA) busca prover máquinas com capacidade de realizar algumas atividades mentais do ser humano”. A sistematização de muitas tarefas, antes realizadas apenas pela ação humana, passaram a ser executadas por máquinas programadas, levando a otimização dos processos e aumento de demandas. Assim, a exploração e conhecimento dos métodos de representação computacionais que simulam a capacidade dos seres humanos no que tange a resolução de problemas passam a ser útil na criação de diversos sistemas, como sistemas especialistas de um determinado domínio, lógica incerta, jogos, dentre outros.

Oliveira (1993, p. 13) apresenta Inteligência Artificial como “parte da Ciência da Computação que se destina a desenvolver programas inteligentes para computadores. Um programa inteligente é aquele capaz de resolver um problema de uma maneira tal que seja considerada inteligente quando executada por um ser humano”. Por ser uma ciência que possui uma diversidade técnica bastante abrangente, passou a ser utilizada em diferentes focos, pois atende a resolução de muitos problemas específicos. Segundo Russell (2004, p. 3),

a IA abrange uma enorme variedade de subcampos, desde áreas de uso geral, como aprendizado e percepção, até tarefas específicas como jogo de xadrez, demonstração de teoremas matemáticos, criação de poesia e diagnóstico de doenças.

O conhecimento artificial espelha-se, de diferentes formas, no conhecimento humano, que serve de base para sua estruturação. Porém, existem diferenças substanciais entre eles, como é possível visualizar na Tabela 1.

Tabela 1: Comparação entre o conhecimento humano e o conhecimento artificial. (SAVARIS, 2002, p. 5)

| CONHECIMENTO HUMANO | CONHECIMENTO ARTIFICIAL |
|----------------------------|--------------------------------|
| Perecível | Permanente |
| Difícil de Transferir | Fácil de Transferir |
| Difícil de Documentar | Fácil de Documentar |
| Imprevisível | Consistente |
| Caro | Razoável |
| Discriminatório | Imparcial |
| Social | Individualizado |
| Criativo | Sem inspiração |
| Adaptável | Inflexível |
| Enfoque Amplo | Enfoque Restrito |
| Baseado em Senso Comum | Técnico |

O conhecimento humano é considerado perecível, pois os profissionais podem esquecer seus conhecimentos enquanto a IA é permanente, pelo menos enquanto seu sistema permanecer intacto.

A transferência de conhecimento humano requer um processo de aprendizado por parte da outra pessoa e algumas experiências tornam-se difíceis de serem transferidas, enquanto um sistema pode ser instalado em outro dispositivo ou copiado mais facilmente.

O conhecimento artificial pode ser documentado mais facilmente do que documentar a inteligência humana.

A inteligência natural torna-se mais cara do que a inteligência artificial por diversos motivos, entre eles o fato de poder comprar um sistema inteligente por um valor mais baixo do que manter seres humanos na função.

Enquanto o conhecimento artificial não possui criatividade, os seres humanos já possuem naturalmente a possibilidade de serem criativos.

O conhecimento humano é capaz de utilizar de um amplo contexto de experiências para solucionar outro problema, enquanto o conhecimento artificial se restringe ao que foi projetado.

As experiências sensoriais são um benefício da inteligência natural, enquanto o conhecimento artificial só trabalha com o técnico ou experiências sensoriais indiretas, obtidas por sensores. Senso comum inclui conhecimento sobre o que se conhece e também ao que não se sabe. Ou seja, no processo de análise de um prontuário médico consta que o peso do paciente é de 20Kg e sua idade é de 25 anos, automaticamente o senso comum indica que existe um erro pois o peso é incompatível para uma pessoa adulta. Quando uma pessoa é questionada sobre informações que não existam ou que ela não possua, ela tem maior facilidade de detectar esta situação do que um SE, pois, geralmente, o conhecimento humano possui senso comum.

É importante ressaltar que o especialista humano conta com aspectos dinâmicos como: atenção, memória, percepção, imaginação e raciocínio. Esta capacidade cognitiva dificilmente será descrita sistematicamente, pois é gerado um conhecimento tácito, e em geral, os seres humanos possuem certa dificuldade para deixar esse conhecimento explícito.

Com o surgimento das técnicas de Inteligência Artificial, tornou-se possível construir sistemas que possuem conhecimentos específicos em determinadas áreas. Estes são chamados de Sistemas Especialistas (SE) e consistem em uma das técnicas de IA.

Na área da saúde a forma de diagnóstico propriamente dito assemelha-se muito com a forma de funcionamento do sistema especialista, pois se dá através de perguntas e respostas. Com isso, sistemas especialistas fazem o papel de auxiliar no processo de tomada de decisão do profissional da saúde em sua prática e na melhor preparação educacional, permitindo ao acadêmico a familiarização com o ambiente. Neste trabalho serão abordadas, mais especificamente, as doenças ortopédicas dos membros inferiores do corpo humano, uma vez que o domínio de todos os ramos da ortopedia tornou-se cada vez mais difícil devido aos avanços dos estudos nos últimos anos, sendo necessária a criação de subespecialidades tais como quadril, coluna, cotovelo, dentro outras (WOLFOVITCH *et al*, 2007, p. 1).

Assim, a próxima seção apresenta os conceitos relacionados aos Sistemas Especialistas, com o objetivo de demonstrar o seu potencial como instrumento de apoio ao diagnóstico, como proposto neste trabalho.

2.1. Sistemas especialistas

Sistemas Especialistas (SE) é uma técnica da inteligência artificial voltada para o auxílio aos especialistas no diagnóstico de determinadas situações e ou problemas. Conforme Mendes (1997, *online*), estes sistemas são baseados em conhecimento, e construídos, principalmente, com regras que reproduzem o conhecimento do perito, sendo utilizados para solucionar determinados problemas em domínios específicos.

SE's são programas computacionais que, sob mesmas condições, procuram resolver problemas de um determinado domínio da mesma forma que especialistas humanos. Segundo LIA (1996, p.4), embora exista uma limitação das máquinas, hoje é possível a criação de sistemas especialistas com um desempenho consideravelmente alto, considerando a complexidade de sua estrutura e da abrangência desejada.

A inteligência de um SE se dá por causa dos dados armazenados na base do conhecimento, que representam o conhecimento do especialista; na forma de busca desses dados; e, principalmente, nas regras que se fazem necessárias para que essas informações sejam adequadas para um resultado mais eficaz.

Segundo Heinzle (1995, p. 10), a utilização de técnicas de inferência para manipular informações visando solucionar um determinado problema é uma característica própria dos sistemas especialistas e os distingue dos sistemas tradicionais. Em um SE o processo de adquirir conhecimento, processá-lo, apresentar resultado e apresentar explicações sobre a linha de raciocínio seguida é realizado pelo motor de inferência, apresentado de forma mais detalhada ainda neste trabalho.

2.1.1. Classificação de sistemas especialistas

Segundo Junior (2008, p. 09-11), os sistemas especialistas são classificados nas seguintes categorias, de acordo com o seu funcionamento:

- interpretação: nessa categoria, a partir de uma análise de dados procurando identificar as relações e seus significados, o sistema deduz as descrições de

situações. Possui mecanismo que possibilita o tratamento de dados errados, distorcidos ou ausentes, além de considerar as possíveis interpretações e optar pelas mais consistentes;

- diagnósticos: são sistemas determinados a detectarem falhas provenientes da interpretação de dados. Já possuem o sistema de interpretação de dados embutido e buscam revelar os problemas que foram camuflados devido a falhas dos equipamentos e do próprio diagnóstico;
- monitoramento: a função de um sistema de monitoramento é interpretar as observações de sinais sobre o comportamento monitorado. Com limites pré-estabelecidos, ele verifica de forma continuada um determinado comportamento, indicando quando houver necessidade de uma intervenção para o sucesso da operação. Um sinal poderá ser interpretado de várias maneiras e essa variação ocorre de acordo com os fatos que o sistema detecta em seu monitoramento contínuo e sinalizando se algo não estiver dentro do esperado;
- predição: esse sistema parte do uso de uma modelagem de dados do presente e também do passado, e permite que seja feita uma determinada previsão do futuro. Baseia sua solução no comportamento dos dados analisados vindos do passado e contém mecanismos para verificação dos possíveis dados futuros, utilizando raciocínios hipotéticos e verificando a variação dos dados de entrada;
- planejamento: nele o sistema trabalha com um programa de iniciativas que deveriam ser tomadas para se obter a realização de um objetivo. Ele trabalha estabelecendo etapas e sub-etapas, caso ocorram etapas que são conflitantes, a escolhida será definida por prioridade. Este opera em problemas grandes e complexos. Seu princípio de funcionamento se baseia em tentativas de soluções, cabendo a análise mais profunda a ser feita pelo operador do sistema. Ele transforma coerentemente um problema em um subproblema de menor complexidade tendo como foco os mais importantes aspectos deste mantendo sempre uma ligação entre as metas do subproblema e do problema principal;
- projeto: este sistema deve construir especificações que atendam os objetivos dos requisitos particulares. Este sistema tem a capacidade de oferecer justificativa à alternativa tomada e também utiliza essas justificativas para alternativas futuras;

- depuração: trata-se de sistemas que possuem mecanismos para fornecerem soluções para o mau funcionamento provocado por distorções de dados. Proveem, de maneira automática, verificações nas diversas partes, incluindo mecanismos para ir validando cada etapa necessária em um processo qualquer;
- reparo: este programa tem como característica principal os planos para reparos de problemas identificados no diagnóstico. Um sistema especialista para reparos segue um plano para administrar alguma solução encontrada em uma etapa do diagnóstico. São poucos os sistemas desenvolvidos neste sentido, porque o ato de executar um conserto em alguma coisa do mundo real é uma tarefa complexa;
- instrução: o comportamento do aprendiz dos estudantes precisa ser verificado e corrigido. Para esta função existe o sistema de instrução, que normalmente incorpora como subsistemas um sistema diagnóstico e de reparo, e baseiam-se em uma descrição hipotética do conhecimento do aluno. O sistema interage com o treinando, apresentando uma pequena explicação em algumas situações e, só então, segue realizando novas sugestões para serem analisadas pelo treinando. De acordo com o comportamento deste, a complexidade das situações vai aumentando e o assunto sendo encaminhado, até atingir o nível intelectual do treinamento, de forma didática;
- controle: é um sistema que tem como função governar outros sistemas, não necessariamente do meio da computação. De um modo geral, pode ser considerado o mais completo, pois deve interpretar os fatos de uma situação atual através de verificação de informações do passado e realizando uma previsão do futuro. Apresenta um diagnóstico de possíveis problemas e receita uma forma de correção. Esse processo de correção é executado e monitorado em busca do sucesso da operação.

Além de classificações, os SE's possuem uma arquitetura básica. Um modelo de arquitetura e seus componentes estão apresentados na seção seguinte.

2.1.2. Arquitetura básica de um SE

Existem algumas vertentes em relação às quais componentes compõem um sistema especialista. Apesar da divergência entre os autores, de uma forma geral, o sistema é constituído de alguns elementos básicos. Segundo Heinzle (1995, p. 13), um sistema especialista é estruturado em: base do conhecimento, máquina de inferência, quadro negro, subsistema de aquisição de conhecimento, subsistema de explicação e interface com o usuário. A Figura 1 ilustra esta arquitetura básica.

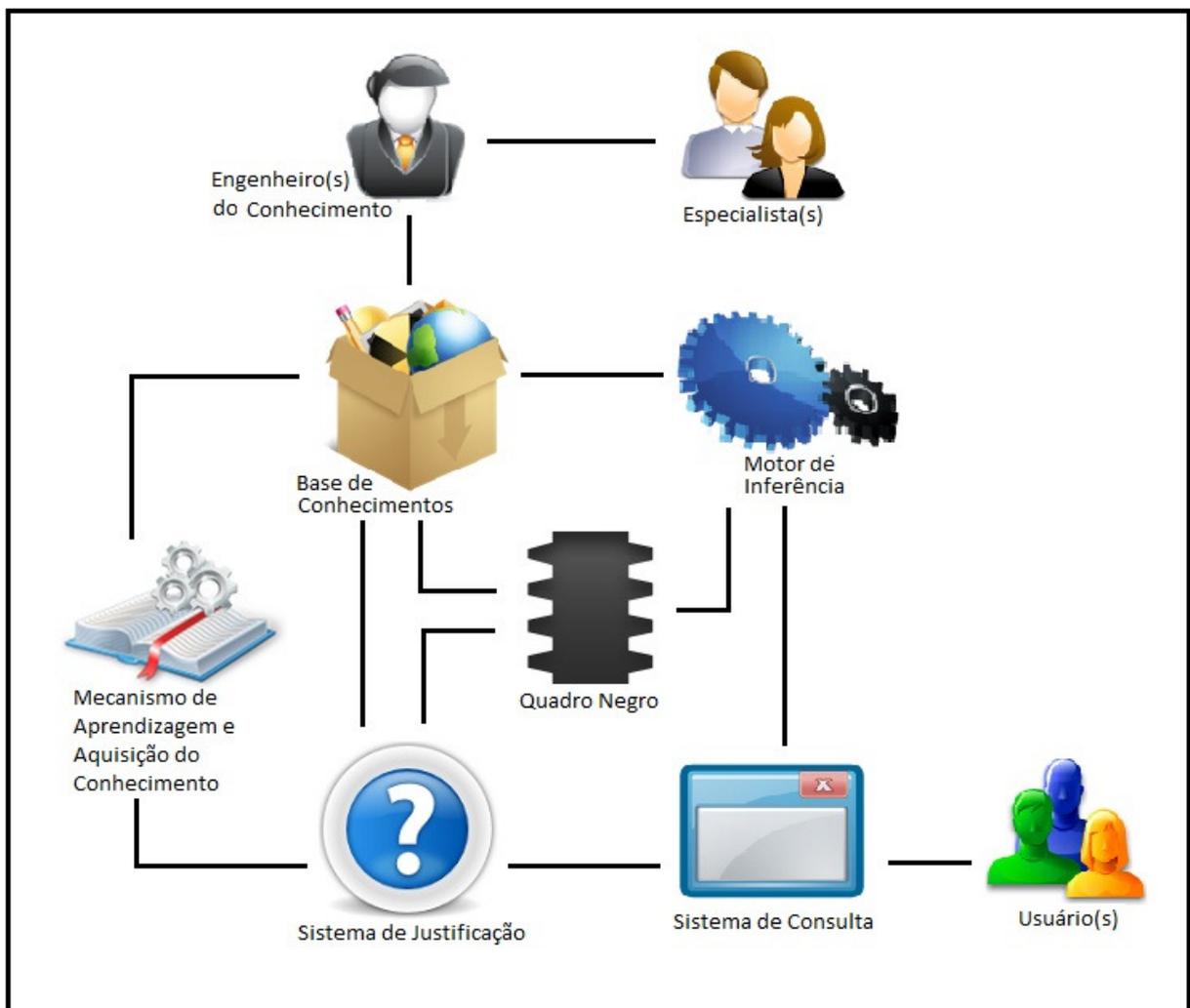


Figura 2 - Arquitetura básica de um Sistema Especialista.
Modificado de (HEINZLE, 1993, p. 13)

Os componentes apresentados na figura acima fazem parte do modelo de arquitetura básico para um SE. Estes elementos estão mais detalhados a seguir.

2.1.2.1 Base do Conhecimento

Banco de dados (BD) é um conjunto de dados organizados com sentido lógico. Banco de dados surgiu da necessidade da integração e armazenamento de informações. Nesse sentido, BD possibilita a organização de dados e assim, manter os dados a disposição de acessos para consultas e análises para extração de informações. Um BD é gerenciado por um sistema conhecido como Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) (CAMPOS, 2007, p.46).

Os SGBDs surgiram na década de 70, e seu objetivo era de facilitar a criação, gerenciamento e programação sobre aplicações de BD. Nessa época, houve um considerável investimento em SGBD e diante das pesquisas desenvolvidas, como resultado foi o surgimento de um SGDB relacional, mais propriamente ao final da década de 70. A partir desse modelo relacional, adotou-se o modelo de organização dos dados em tabelas e colunas. Com isso, no início dos anos 80, houve a popularização dos sistemas que proviam o armazenamento de dados (QUEIROZ, 2006, p. 38).

Projetar BD é uma das tarefas mais importantes no processo de desenvolvimento de um sistema. Para o seu desenvolvimento, nota-se o emprego de instrumentos diversos, que por sua vez, auxiliam na elaboração e variação conforme a complexidade dos dados a serem armazenados e analisados e também com o auxílio de uma metodologia, de onde são empregados ferramentas para o apoio as atividades do processo de construção de um BD. O principal objetivo de se fazer uma modelagem dos dados na construção de um BD é obter uma organização da base de dados, facilitar a implantação bem como a manutenção do dados (SHEKHAR, 1997, p. 46).

Na construção de um SE, o banco de dados dos sistemas tradicionais contendo arquivos, registros e relacionamentos é substituído pela base do conhecimento (BC). É o local onde todo o conhecimento extraído do especialista humano é armazenado, de maneira formalizada. Toda informação adquirida sobre o domínio é organizada na BC de acordo com a representação do conhecimento necessário para resolver o problema abordado na aplicação.

Na Base de Conhecimento (BC) é armazenado o conhecimento sobre o domínio, modelado de acordo com a forma de representação do conhecimento escolhida. É preenchida por um engenheiro do conhecimento juntamente com um especialista do contexto ou problema no qual o sistema será utilizado (RUSSEL e NORVIG, 1995 *apud*.JOB, 2006, p. 4).

Segundo Mendes (1997, *online*), é importante que o SE seja projetado com cuidado para que tenha um tratamento eficaz das regras garantindo que seja capaz de analisar novas situações e extrair novas regras bem como a análise e exclusão de redundâncias. Essa necessidade dá-se a fim de evitar que a BC cresça de forma confusa e sobrecarregue a memória, influenciando diretamente no desempenho do sistema e causando inviabilidade.

Levine (1988, p. 7) diz que “quando a mente humana parte para a solução, até mesmo de um problema simples, ela tem uma vasta quantidade de informações a serem coletadas para determinar o curso da ação a ser tomada”. Assim como no conhecimento humano, o conhecimento artificial também está sujeito a indefinidas quantidades de informações necessárias para a tomada de decisão. Entretanto, mesmo que uma BC seja construída com poucas regras, essa quantidade de informações na base poderá eventualmente se multiplicar de acordo com a necessidade de novos conhecimentos e da complexidade do domínio. (MENDES, *Opus citatum*, Online).

É necessário que exista um processo que descarte os caminhos que são relacionados indiretamente ao problema ou são irrelevantes ao raciocínio que visa um objetivo imediato, na busca de alcançar uma meta. Essa eliminação facilita para que o processo de busca encontre as informações mais plausíveis para o sucesso da consulta realizada ao sistema.

A BC interage intensamente com os demais componentes do SE. A comunicação com o subsistema de aquisição de conhecimento permite aprendizagem sobre novas regras e fatos ou alteração das existentes. Já a interação com subsistema de explicação permite utilizar o conhecimento armazenado na BC para explicar ao usuário o motivo da pergunta direcionada a ele ou a linha de pensamento seguida na resolução do problema. Também é na BC que o motor de inferência age, uma vez que em seu interior, o conjunto de sentenças necessárias

para a descrição do domínio é representado na forma de fatos e regras que fazem relações de causa e efeito.

Apesar da facilidade de manutenção e alteração, por ser independente do restante do sistema, Lima (1999, p. 44) diz que uma das fases mais complexas na construção de um SE é a construção da BC. Essa dificuldade ocorre, principalmente, por que o conhecimento de um especialista não se encontra formalizado ou entendível computacionalmente. O engenheiro do conhecimento é o responsável pela aquisição e representação do conhecimento para que o sistema possa fazer processamento ou inferências.

2.1.2.2 Máquina de inferência ou motor de inferência

A máquina de inferência é a parte responsável pelas buscas das regras na base de conhecimento para serem avaliadas, direcionando o processo de inferência. Filtra, através de condições e seleções, apenas os dados necessários e que são relevantes para se chegar a uma conclusão plausível (JOB, 2006, p. 4).

Em um sistema convencional a seleção da ordem dos passos a serem executados pelo programa é feito ainda na programação. Segundo (GENARO, 1986 *apud* LIMA, 1999, p. 45), em um sistema especialista, a escolha e a aplicação da regra mais apropriada em cada passo do processo de busca pelo resultado são de responsabilidade do motor de inferência. Deve também tentar contornar o problema e buscar uma solução mais adequada caso o conhecimento existente não seja suficiente para resolvê-lo.

O motor de inferência é responsável pelo processamento do conhecimento. Esse processamento ocorre de forma a buscar repetitivamente o conhecimento na BC, analisá-lo e gerar novos fatos no intuito de obter sucesso na resolução do problema. Segundo Levine (1988, p. 9), o mecanismo de inferência é a central da habilidade de aprender com a experiência. É a parte da inteligência que permite, através da aplicação do conhecimento adquirido em novas situações, gerar novos fatos a partir dos já existentes.

Informações adicionais são fornecidas ao sistema através de perguntas ao usuário. A interação do usuário com a BC permite o surgimento das informações

necessárias para o sucesso da consulta ao SE, pois a cada requerimento feito ao usuário o caminho para encontrar a solução do problema é reduzido, uma vez que o sistema precisa percorrer um espaço de busca menor (MENDES, 1997, *online*).

O processo de inferência depende de como o conhecimento foi representado na BC. A forma de encadeamento lógico utilizado neste trabalho são as regras de produção, onde o motor de inferência opera sobre o quadro-negro e a BC. A forma de representação do conhecimento através de regras de produção será detalhada mais adiante, ainda neste trabalho.

2.1.2.3 Quadro negro

Segundo Heinzle (1995 *apud* LIMA, 1997, p. 47), embora este componente seja utilizado em praticamente todos os SE's, nem todos o apresentam como componente da arquitetura básica. Durante o processo de inferência o sistema utiliza uma área de trabalho em forma de rascunho, chamada de quadro negro. Quando o sistema está "raciocinando" algumas informações de apoio e suporte ao funcionamento precisam ser armazenadas, guardando-as no quadro negro. As regras são recuperadas da BC e ordenadas nessa área de trabalho para serem avaliadas, onde também são guardados os valores das variáveis necessárias para trabalhar os fatos. Os novos fatos gerados ou resultados parciais também necessitam serem guardados de forma temporária durante a inferência, memorizando-os no quadro negro.

A utilização do quadro negro se limita ao curso de uma consulta, onde as regras recuperadas da base de conhecimento são avaliadas, a fim de chegar a uma conclusão. Por serem temporárias, durante a inferência as informações são gravadas e apagadas até que se chegue a um resultado esperado (SAVARIS, 2002, p. 30).

2.1.2.4 Subsistema de aquisição

O subsistema de aquisição de conhecimento é necessário para que a base de conhecimento seja sempre atualizada a partir de uma situação em que não se obteve sucesso na busca do resultado. Através da identificação dessa necessidade, essa atualização é feita por um subsistema de aquisição de conhecimento, onde será inferida a nova informação na base do conhecimento, alimentando-a e adquirindo mais conhecimento para o sistema (RICH & KNIGHT, 1994).

Segundo Oliveira (1993, p. 26), assim como a inteligência humana, que tem a capacidade de aprendizagem, um sistema com inteligência artificial também necessita possuir uma capacidade de atualização própria. Existem alguns processos que, se utilizados, permitem que um sistema computacional tenha essa capacidade de atualização. Oliveira (1993, p. 26) os define como: “aquisição de novo conhecimento, desenvolvimento da capacidade de aprendizagem, representação efetiva do conhecimento e o uso da observação para o descobrimento de novos conhecimentos”.

Ainda citando Oliveira (1993, p. 26), um sistema de aprendizagem possui quatro componentes: crítico, de aprendizagem, “procedural” e executor.

- crítico: sua utilização é comparar o resultado da busca com o resultado esperado;
- aprendizagem: sua função é efetuar consertar defeitos alterando a base de conhecimento;
- procedural: tem por responsabilidade codificar o conhecimento do especialista;
- executor: atua executando a tarefa depois de ter sido reorientada após a aprendizagem.

A característica dinâmica dos especialistas humanos pode ser introduzida nos sistemas especialistas através do subsistema de aquisição de conhecimento, por meio de uma aprendizagem obtida pela introdução de novos conhecimentos ou alteração do conhecimento existente.

2.1.2.5 Subsistema de explicação

Oliveira (1993, p. 25) diz que “alguns dos objetivos dos mecanismos de justificativa são: ensinar o usuário sobre o assunto, mostrar que sua conclusão é consistente e lembrar o usuário elementos importantes da análise que levam o sistema a determinada conclusão”.

O subsistema de explicação é utilizado para explicar ao usuário como se chegou ao resultado. É um recurso de questionamento oferecido a quem utiliza o sistema especialista. Por utilizar base de conhecimento, o subsistema de explicação interage com o usuário com intuito de apresentar as regras e fatos que foram utilizados para o alcance do objetivo, sempre que essa função for solicitada por ele.

Ainda segundo Oliveira (1993, p. 25), esse mecanismo de explicação do raciocínio, além de deixar o sistema mais confiável, ainda representa um mecanismo de simulação, pois se realizada uma alteração nos dados de entrada é possível verificar as conseqüências desta no resultado da pesquisa.

O Subsistema de explicação exerce função de esclarecer ao usuário o resultado final de uma consulta ou o motivo da pergunta feita pelo sistema. Uma explicação de como se chegou aquele diagnóstico ajuda para que não cause desconfiança aos profissionais da área, proporcionando mais confiabilidade no resultado gerado ao usuário.

2.1.2.6 Interface com o usuário

IHC (Interface Homem-Computador) tem por objetivo estudar e desenvolver teorias, modelos, métodos e ferramentas para auxílio à construção de softwares. Esta atividade requer delicadeza devido a sua complexidade, pois compreende informações sobre o usuário, meios de interação e forma de realização das interações. Desta forma, há necessidade de realização de formalização desses aspectos, pois permite projetar interfaces e assim obter maior precisão em descrever, validar e verificar sistemas. Em suma, utilizar de métodos formais para

desenvolvimento de softwares para aumentar o potencial, qualidade e produtividade, para assim refletir no que se produz (GOMES, 2004, p. 26).

E para isso, é analisada uma gama de conhecimento que no seu contexto geral, gira em torno de quatro componentes principais: usuário, tarefa, interação entre o usuário e o sistema. Para isso, há necessidade de conhecer bem o usuário, a atividade a ser solucionada e as formas de comunicação entre usuário e sistema. A partir desse conhecimento, é possível modelar os conhecimentos (JAMBEIRO, 2009, p. 43).

No contexto de SE, a interface com o usuário é responsável pela interação entre o usuário e o sistema especialista, permitindo que sejam exibidas as perguntas e que o usuário possa respondê-las. Também é através da interface que é exibido o resultado (JOB, 2006, p. 4).

“No desenvolvimento de um sistema especialista deve-se pensar quem é o usuário alvo, qual sua formação e quais seus interesses. Normalmente o usuário não está interessado nas técnicas de programação da Inteligência Artificial” (OLIVEIRA, 1993, p. 25).

Geralmente o usuário, por não conhecer das técnicas de programação, não consegue interpretar os dados da forma que se encontram na base de conhecimento. A ligação entre as informações e o usuário dá-se através da interface do sistema. Ou seja, é responsável pela representação do conhecimento humano e também do conhecimento artificial, em ambas as direções. No caso dos sistemas especialistas é através da interface que o usuário interage com o sistema, respondendo as perguntas, visualizando o resultado das buscas e explicações sobre a linha de raciocínio seguida.

Em alguns SE's é possível que o usuário ajude no processo de aquisição do conhecimento, fornecendo novas informações ou comentários através da interface. Por a interação entre o sistema e o usuário ser bem intensa, a interface deve ser de fácil entendimento, focando apenas em apresentar as perguntas e opções de resposta, esclarecer dúvidas, mostrar o resultado e esconder informações desnecessárias.

2.1.3. Aquisição de conhecimento

A tarefa desse processo de construção do conhecimento é dos técnicos especialistas na aquisição do conhecimento (AC), chamados de engenheiros do conhecimento. É necessário que se tenha uma visão clara de todo o contexto a ser explorado para que a formação da estrutura do domínio seja bem sucedida. Também é esperado que o engenheiro do conhecimento tenha o conhecimento suficiente em computação a fim de realizar a melhor escolha de linguagem e ferramenta a ser utilizadas (COSTA e SILVA, 2005, p. 5).

Ao trabalhar com um SE é necessário entender o raciocínio do especialista humano para a resolução dos problemas do domínio para que, só então, seja transferido esse conhecimento para o sistema. Este processo de entendimento do raciocínio do especialista é fundamental para que se consiga projetar uma base de conhecimento relevante bem como a abstração de informações mais profundas posteriormente (OLIVEIRA, 1993, p. 20).

Mastella (2004, p. 8), define aquisição de conhecimento como o processo de compreender e organizar o conhecimento de várias fontes, que podem ser documentadas ou não. Ainda segundo Mastella, o processo de aquisição de conhecimento diz respeito à extração de conhecimento de fontes documentadas, como mapas, livros, manuais, entre outros, ou de fontes não documentadas, geralmente a mente humana que atua no domínio. Quando se trata desta última, a extração do conhecimento é realizada por meio de interação direta.

Para Costa e Silva (2005, p. 6), um leigo esbarra na dificuldade de compreender o domínio do problema apenas adquirindo o conhecimento em livros ou demais formas documentadas. Surge a necessidade de recorrer a um especialista humano, pois ele se destaca por seus métodos particulares e eficientes de resolver o problema e ainda um conhecimento mais aprofundado e enxuto através da experiência.

Ainda citando Costa e Silva (2005, p. 7), alguns problemas na AC são bem comuns e requerem uma atenção por parte do engenheiro do conhecimento durante esse processo. A seguir alguns exemplos:

- comunicação entre o engenheiro do conhecimento e o especialista. Pode ser causada por falta de conhecimento um do outro, podendo resultar na perda de informações na transmissão;
- algumas técnicas para resolução de problemas não são transmitidas durante a entrevista pois só conseguem serem ativadas em sua mente em situação real de aplicação em um trabalho;
- quando se trata de um conhecimento tácito, implícito na mente do especialista, que para ser relatada deve ser explicitado. Como explicar um conhecimento é uma dificuldade dos seres humanos em geral, pode ocorrer do especialista saber resolver um problema, porém, não saber explicar o como ou porque utilizou determinada maneira para resolvê-lo;
- o especialista pode acabar omitindo algumas informações relevantes para o desenvolvimento por se sentirem avaliadas no processo de AC;
- o pleno comprometimento do especialista com o desenvolvimento do SE vai de encontro com o fato de que os profissionais são bastante valiosos e requisitados dentro de uma empresa.

A forma de AC que será utilizada depende da disponibilidade e habilidade dos especialistas e também da sua familiaridade com SE. Cada domínio possui características estruturais, portanto, a natureza do problema em que o sistema atuará influencia diretamente nas decisões tomadas no que tange ao processo de aquisição do conhecimento.

Segundo Mastella (2004, p. 8), o processo de AC é o mais difícil na construção de um SE e também considerada um “gargalo” devido a não existência de uma metodologia eficiente, confiável e padronizada para a extração e organização do conhecimento.

Todo o conhecimento extraído na etapa de AC deve ser transferido para a BC, organizado e representado formalmente de forma a estruturá-lo para que possa ser acessado posteriormente.

2.1.3.1 Técnicas de aquisição do conhecimento

Costa e Silva (2005, p. 7) apresentam algumas técnicas de aquisição do conhecimento, resultados de esforços feitos para sistematizar ou até mesmo automatizar o processo de AC. Essas técnicas podem ser classificadas em manuais, semi-automáticas e automáticas.

2.1.3.1.1 Técnicas manuais

Das técnicas de AC a manual é a mais utilizada. Independentemente da forma, a função de adquirir o conhecimento do especialista e/ou demais fontes documentadas, bem como a codificação dessas informações na BC, é do engenheiro do conhecimento (COSTA e SILVA, 2005, p. 7).

A técnica de AC manual pode ser baseada em descrição ou imersão na literatura, em entrevistas e em acompanhamento, que são apresentados a seguir.

Baseadas em descrição ou imersão na literatura

Essa técnica é utilizada a fim de adquirir conhecimento introdutório sobre o domínio, facilitando a sua compreensão. Com um conhecimento inicial é possível que as entrevistas comecem de um ponto mais adiantado, pois a familiarização dos termos específicos por parte do engenheiro do conhecimento deixa mais a vontade, evitando o uso de termos gerais e dificultando o processo de AC. (REIS, 2007, p. 49)

Reis (2007, p. 49) ainda ressalta que o especialista tem posse de estratégias particulares e técnicas otimizadas, portanto, deve existir o cuidado por parte do engenheiro do conhecimento em não tentar entender o domínio por completo através da busca do conhecimento por meios documentados, pois o conhecimento tácito do especialista geralmente não é encontrado na imersão da literatura.

Baseadas em entrevistas

Segundo Turban (1992, *apud* PEREIRA, 2004, p. 79), a definição dessa técnica se resume ao diálogo direto entre o engenheiro do conhecimento e o especialista do domínio. Espera-se que o especialista seja capaz de demonstrar e também descrever a perícia.

Diaper (1989, *apud* OLIVEIRA, 1993, p. 20) apresenta algumas recomendações que são bastante adequadas para sessões com especialistas humanos:

- a) somente uma sessão por especialista por semana;
- b) cada entrevista com duração máxima de quarenta minutos;
- c) as sessões podem ser 2/3 de trabalho de extração e 1/3 de assuntos diversos;
- d) processar os resultados das entrevistas antes de iniciar nova sessão;
- e) o engenheiro do conhecimento deve restringir sua permanência com os especialistas em três horas;
- f) acautelar-se de inadvertidamente citar pontos de vista de outros especialistas;
- g) sempre usar as mesmas técnicas na mesma ordem para todos os especialistas;
- h) garantir conveniência e consistência do ambiente.

Reis (2007, p. 50) afirma que “as entrevistas compreendem o método mais tradicional de elicitación de conhecimento, as quais podem ser não-estruturadas e estruturadas”.

- entrevistas não estruturadas – são entrevistas mais livres e não tem por objetivo adquirir conhecimento sobre um tópico específico. Essa não estruturação da entrevista proporciona um bom relacionamento entre o engenheiro do conhecimento e o especialista do domínio, focando apenas em obter uma visão geral do domínio. É recomendada apenas para as fases iniciais onde o engenheiro do conhecimento procura sua ambientação com o domínio e a identificação do conhecimento (COSTA e SILVA, 2005, p. 8).
- entrevistas estruturadas - é uma entrevista que dispõe de formalidade, sendo preparadas perguntas para serem relevantes ao processo no qual está se adquirindo o conhecimento. Ou seja, é uma conversa mais planejada e direcionada ao foco de aquisição. Os transcritos gerados de uma entrevista estruturada são mais fáceis de serem analisados do que os gerados a partir de uma entrevista não estruturada (MASTELLA, 2004, p. 22).

Embora as entrevistas presenciais sejam na maioria das vezes mais produtivas, este processo também pode ser realizado por outras ferramentas de comunicação, como a internet. É interessante que o engenheiro do conhecimento utilize de algum mecanismo que permita gravar o diálogo com o especialista, seja por anotações, gravador de voz ou outros meios. Dependendo do domínio, encontrar disponibilidade por parte do especialista se torna uma tarefa difícil, portanto, a entrevista deve ser marcada e planejada de forma que possa aproveitá-la ao máximo. Também é recomendado que o engenheiro do conhecimento faça um estudo prévio antes da entrevista para facilitar a compreensão de termos ou evitar abordagens irrelevantes (PEREIRA, 2004, p. 79).

Baseadas em acompanhamento

Aplicando esse método, o engenheiro do conhecimento pesquisa casos em que o profissional tenha documentado em prontuários ou projetos, a fim de compreender o processo de raciocínio do especialista para a resolução de determinados problemas. Embora seja relativamente difícil de encontrar essas fontes onde esteja descrito o raciocínio que o profissional empregou para a tomada de decisão, essa técnica contribui bastante para evitar que o engenheiro do conhecimento direcione questões irrelevantes ao especialista (COSTA e SILVA, 2005, p. 8).

2.1.3.1.2 Técnicas semi-automáticas

A aplicação de técnicas semi-automáticas consiste em utilizar ferramentas computacionais para auxiliar o engenheiro do conhecimento na codificação do conhecimento na BC. Essa técnica ajuda a minimizar ruídos causados na aquisição do conhecimento do especialista devido aos problemas de comunicação, reduzindo a quantidade de pessoas envolvidas.

A aquisição semi-automática também contribui para a aceleração do processo de criação da BC, pois as respostas entre o engenheiro do conhecimento e o especialista são mais rápidas, permitindo testes na base ainda em sua construção e, conseqüentemente, detectar erros precocemente. Geralmente as técnicas semi-automáticas são aplicadas juntamente com as técnicas manuais (COSTA e SILVA, 2005, p. 9).

2.1.3.1.3 Técnicas automáticas

Segundo Mastella (2004, p. 9), as técnicas de conhecimento automáticas “também são chamadas de aprendizado de máquina, em que a aplicação de computador detém todo o processo de compreensão do domínio”. Ou seja, o conhecimento é adquirido sem interferência humana, de forma automaticamente.

Geralmente as ferramentas utilizadas na aplicação dessas técnicas são generalizadas para qualquer domínio, resultando em informações muito superficiais sobre o domínio. Contudo, devem ser limitadas a fontes documentadas, pois a informação é compreensível (MASTELLA, 2004, p. 9).

2.1.4. Representação do conhecimento

Para que os SE's consigam solucionar determinados problemas é necessário que tenham acesso a uma BC do domínio. A BC não é uma simples aglomeração de informações. A forma como o conhecimento é representado é de grande importância para o sucesso da exploração deste, posteriormente, através de mecanismos de inferências.

Existem várias formas de representação de conhecimento. Segundo (RUSSEL e NORVIG, 1995 *apud* JOB, 2006, p. 4) algumas das várias formas de representar o conhecimento são: regras de produção, lógica matemática, frames/scripts, redes semânticas ou ontologias. Savaris (2002, p. 29) afirma que o conhecimento pode ser representado sob algumas formas, dentre elas a forma de regras de produção, quadros, redes semânticas.

Heinzle (2011, p. 97) diz que “o modelo de representação do conhecimento por meio de quadros (ou frames) baseia-se no processo humano de resolver problemas por meio do agrupamento de informações”. Ainda citando Heinzle (2011, p. 97), considerado como forma de representar o conhecimento baseado em modelos cognitivos, os *frames* podem ser utilizados em domínios considerados amplos e complexos. É constituído de nome e atributos (*slots*) valorados que descrevem as características e potencialidades que são representadas por métodos,

permitindo descrever uma entidade real ou imaginária. Em geral, os quadros (*frames*) utilizam de experiências vividas para traduzir novas situações.

Na forma de representação do conhecimento através de redes semânticas o conhecimento é organizado na BC na estrutura de rede. As redes semânticas possuem nodos (pontos), que representam objetos, conceitos e exemplos. Esses nodos são ligados por arcos, descrevendo o relacionamento entre os nodos, proporcionando um significativo poder de expressão (HEINZLE, 2011, p. 102).

Segundo Nascimento (2003, p.17), embora alguns SE's façam uso de outras formas para a representação – como frames ou redes semânticas, as regras de produção são as mais utilizadas pelos SE's para a formalização dos dados. O SE desenvolvido neste trabalho utilizará do formalismo por meio de regras de produção para a construção da BC.

2.1.4.1 Regras de produção

Heinzle (1995, p. 45) diz que “uma regra é na verdade, uma regra de produção (estudo de linguagens formais); de um modo geral, porém, em alguns Sistemas, para facilitar a implementação de mecanismo de avaliação [...]”.

“Regras de produção são comandos do tipo SE condição ENTÃO ação. Quando a parte da condição da regra é satisfeita, a ação da parte ENTÃO será executada.” (OLIVEIRA, 1993, p. 23). Ou seja, se na relação condicional certa condição existe então ocorrerá uma ação, mesmo que seja uma resposta. Sua declaração ocorre da seguinte forma:

SE condição (antecedente) ENTÃO ação (conseqüente)

Com base nessa relação condicional, é possível observar que uma regra é estruturada de forma que as premissas são as condições e as conclusões são os objetivos. Segue um exemplo de regra de produção:

```

SE
    Amanhã for final de semana
ENTÃO
    Vou arrumar o quarto

```

Levine (1988, p. 6) diz que “em geral os seres humanos têm a capacidade de relacionar conjuntos de regras e fatos muito complexos na tentativa de atingir alguns objetivos complicados”. Ou seja, alguns fatos são mais complicados que outros, podendo ocorrer mais de uma premissa na mesma regra para que a conclusão seja alcançada. A seguir é apresentado um exemplo com mais de uma premissa:

```

SE
    Amanhã for final de semana
    OU Feriado
    E Estiver com tempo disponível
ENTÃO
    Vou arrumar o quarto

```

O problema é solucionado com as informações obtidas através das buscas das regras na BC. Segundo Oliveira (1993, p. 23), a aquisição do conhecimento influencia diretamente na escolha do conteúdo das regras, as quais podem ser aplicadas sobre uma determinada estrutura de conhecimento e que conclui a representação do mesmo.

“Cada regra, por si mesma, pode ser considerada como uma peça de conhecimento independente” (LIA, 1995, p. 8). Essa modularidade permite construir a base de dados na forma de passo-a-passo e também possibilita a realização de vários testes com apenas um subconjunto de regras concluído.

2.1.4.1.1 Modo de raciocínio

A máquina de inferência precisa de estratégias para a seleção das regras. Para Mendes (1997, *online*), “a capacidade do motor de inferência é baseada em uma

combinação de procedimentos de raciocínios que se processam de forma regressiva (encadeamento para trás) e progressiva (encadeamento para frente)”

Encadeamento para frente (progressivo)

Levine (1988, p. 17) define o modo de encadeamento para frente como “o uso dos dados para se chegar a uma conclusão. Ele nos permite prosseguir de uma maneira lógica de uma etapa para outra”. Ou seja, parte de algumas informações, incluídas nas premissas, para executar a ação, até alcançar uma conclusão final.

O usuário fornece informações ao sistema através das respostas às perguntas, estimulando o desencadeamento do processo de busca e procurando na BC regras e fatos que são melhores empregadas a cada situação. Essa interação entre o usuário e o sistema permanece até solucionar o problema a ele submetido (MENDES, 1997, *online*).

Encadeamento para trás (regressivo)

No modo de encadeamento regressivo, o procedimento de inferência ocorre de forma inversa. O comportamento do sistema é controlado por uma lista de objetivos, partindo de uma conclusão final e iniciando uma pesquisa na BC em busca de regras e fatos que prove que esta conclusão é a mais adequada para a resolução do problema (MENDES, 1997, *online*).

O sistema basicamente parte de uma conclusão que se queira provar e busca apenas por regras que são relevantes para este fato até confirmar, através das regras, a veracidade do resultado final. Ou seja, o processo é iniciado a partir do objetivo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Contato com o especialista

Para o desenvolvimento desse trabalho foi necessário a colaboração de um profissional da área ortopédica, importante nos processos de aquisição de conhecimento e testes de validação. Assim, foi contado com a disponibilidade do professor Pierre Brandão, fisioterapeuta, mestre em gerontologia e coordenador do laboratório de produção textual do Centro Universitário Luterano de Palmas - Ceulp/Ulbra.

A participação do especialista, Professor Pierre Brandão, deu-se durante todo o processo de desenvolvimento do SE, desde a aquisição do conhecimento até o processo de testes para avaliação da validade dos resultados. Também foi definido junto ao especialista uma fonte de conhecimento documentada, encontrada no livro de (GANN, 2005), que foi utilizado como base para a criação das regras e fatos referentes ao domínio proposto.

3.2. Expert Sinta

O Expert Sinta é uma ferramenta criada pelo grupo SINTA (Sistemas Inteligentes Aplicados) do Laboratório de Inteligência Artificial (LIA) da Universidade Federal do Ceará. A ferramenta possibilita a criação de um Sistema Especialista com suporte a regras, variáveis e outros atributos. O Expert Sinta procura ser uma ferramenta de criação geral, ou seja, pode ser utilizada para desenvolver sistemas especialistas de diversos domínios. O Shell Expert Sinta é gratuito e pode ser adquirido no site da LIA, em <http://www.lia.ufc.br/> (LIA, online).

A simplicidade na construção de um SE utilizando o Expert Sinta ocorre devido sua representação do conhecimento ser baseada em regras e também pela construção automática de telas e menus, além do tratamento probabilístico exigido por essa técnica de IA. A máquina de inferência, que é parte fundamental de um

sistema especialista, vem disponível no Expert Sinta, fazendo com que o engenheiro do conhecimento preocupe-se apenas em gerenciar a base de conhecimento, fornecendo os dados das variáveis, as regras e os objetivos (resultado).

A Figura 2 apresenta uma tela gerada automaticamente pela ferramenta a partir da informação formalizada na BC.

Figura 2: Tela gerada a partir do conhecimento armazenado na base do conhecimento.

Na Figura 2 é possível observar como é realizada a forma de interação do sistema com o usuário, a fim de obter informações necessárias para o processo de raciocínio que visa à resolução do problema. Essa tela foi gerada automaticamente pela ferramenta Expert Sinta, baseada nas informações armazenadas na base do conhecimento.

Seguem algumas características do Expert SINTA (LIA, 1996, p. 5):

- utilização do encadeamento para trás (*backward chaining*), umas das formas existentes de representação do conhecimento;
- utilização de fatores de confiança para determinar a nível de certeza aplicada na resposta à pergunta e no resultado obtido na consulta ao SE;
- existência de ferramentas de depuração que permitem o acompanhamento da execução da consulta com o intuito de compreender como o sistema especialista chegou àquela(s) conclusão(ões) (LIA, 1996, p. 37);
- possibilidade de incluir ajudas on-line para cada base.

Na próxima seção será apresentada a forma de construção da BC no Expert Sinta, com criação de regras, variáveis e definição de objetivos.

3.2.1. Base do conhecimento

Com a utilização do Expert Sinta é possível construir a base do conhecimento na forma de passo-a-passo, devido à modularidade de um sistema baseado nessa arquitetura, ou seja, é possível criar apenas um subconjunto de regras e testá-los. Não é necessário um conhecimento sobre técnicas de programação para implementar a BC (LIA, 1996, p. 8 e 19), entretanto, o engenheiro do conhecimento é responsável por todos os processos necessários para a construção de um SE, bem como a análise do domínio, a aquisição do conhecimento, representação dessas informações do mundo real na BC de forma a serem consultadas posteriormente, escolha da forma de raciocínio da máquina de inferência e os testes juntamente com o especialista do domínio.

Uma base de conhecimento no Expert SINTA envolve os seguintes conjuntos de atributos que devem ser indicados pelo engenheiro do conhecimento (LIA, 1996, p. 19):

- variáveis: são os elementos do mundo real representados na base BC, utilizadas na criação das regras em forma de premissa ou conclusão e podem ser multivaloradas ou univaloradas;
- regras: conjunto de informações representadas por premissas e conclusões;
- perguntas: forma de interação entre o usuário e o sistema especialista;
- objetivos: são os resultados que podem ser encontrados através de uma consulta a um SE;
- informações adicionais: podem ser utilizadas para explicar ao usuário como se chegou ao resultado ou o motivo de uma pergunta direcionada a ele.

A Figura 3 apresenta um exemplo de regra criada no Expert Sinta:

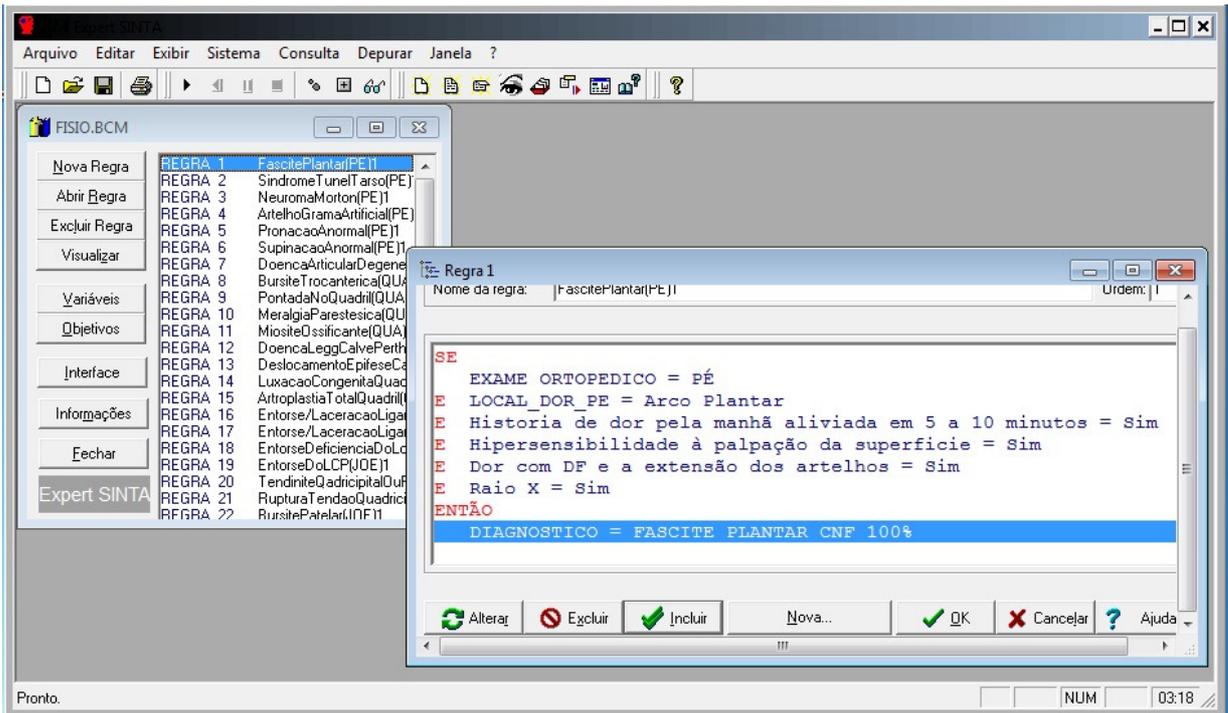


Figura 3: Exemplo de regra criada no Expert Sinta.

Na Figura 3 é apresentado um exemplo de regra na sintaxe trabalhada pela ferramenta e também no esquema condicional – SE ENTÃO. Por se tratar de regras de produção a forma em que o conhecimento foi representado na BC, é possível criar, alterar ou excluir regras a qualquer momento. Isso ocorre devido à modularidade, que permite construir a base de dados na forma de passo-a-passo e também possibilita a realização de vários testes com apenas um subconjunto de regras concluído, caracterizando uma relativa independência.

O processo de criação das regras no Expert Sinta também é através de ambiente gráfico. Para a estruturação das regras é necessário premissa, conectivo (em caso de mais de uma premissa), conclusão e conector (comparativo da variável e seu valor). A Figura 4 apresenta a janela de edição de regra.

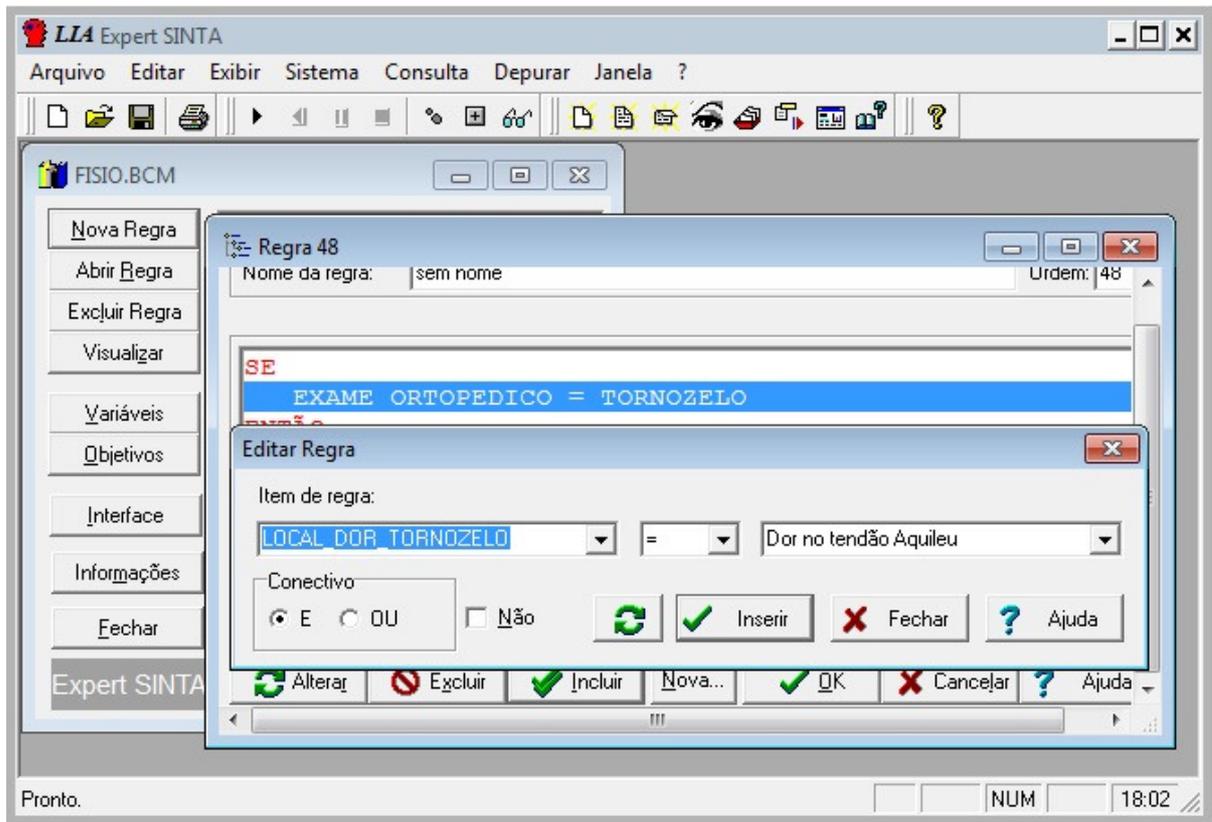


Figura 4: Incluindo atributos em uma regra.

Conforme apresentado na Figura 4, é possível escolher a variável que será utilizada como premissa ou conclusão, seu conector de comparação e o valor da variável. Ainda na janela 'Editar Regra' é possível escolher o conectivo que liga a premissa a anterior e, se necessário, a negação da sentença, através da opção 'Não'.

3.2.2. Motor de inferência

A máquina de inferência, responsável pelas buscas das regras e filtragem dos dados relevantes também é disponibilizada pela ferramenta Expert Sinta. Quanto à forma de raciocínio, o Expert Sinta trabalha naturalmente com o encadeamento para trás. Porém, é possível utilizar a máquina de inferência para simular um encadeamento para frente. Essa manipulação é feita colocando as variáveis que se deseja encontrar inicialmente na lista de objetivos e configurando para não mostrar o resultado dessa variável, evitando que uma janela de resultados apareça a cada variável encontrada.

Também são possíveis alguns ajustes na máquina de inferência fornecida pelo Expert Sinta. Para tal, acesse o menu 'Exibir' e em seguida 'Opções' para acessar a área de configurações. Aparecerá uma janela conforme a Figura 5.

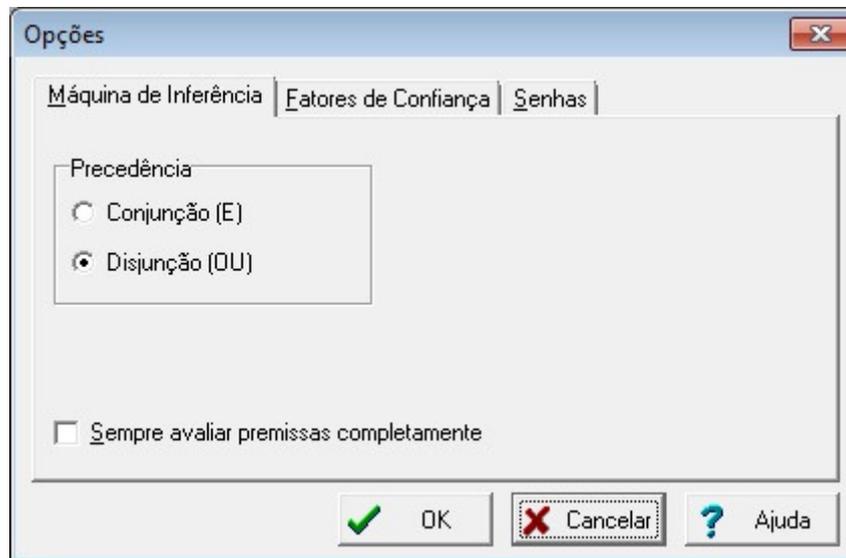


Figura 5: Tela de configuração da máquina de inferência.

Na aba 'Máquina de Inferência' estão dispostas duas opções que permitem configuração. A primeira é a 'Precedência', onde é permitido escolher a precedência dos operadores lógicos 'E' ou 'OU'. Ou seja, na expressão $A \text{ e } B \text{ ou } C$ a precedência for no 'e', como vem naturalmente habilitado, ela pode ser interpretada como $(A \text{ e } B) \text{ ou } C$. Mas se a precedência for do "ou", pode ser interpretada como $A \text{ e } (B \text{ ou } C)$. Na segunda opção, 'Sempre avaliar premissas completamente', faz o papel de determinar que as regras sejam sempre avaliadas completamente, mesmo quando o SE já chegou a conclusão que aquela regra não será aceita. Ambas as opções afetam no modo em que as premissas são avaliadas.

Na aba 'Fatores de Confiança' é possível determinar o valor mínimo de fator de confiança final, para avaliar se o resultado é aceito ou não. Também é possível alterar as funções de cálculo dos fatores de confiança. Na Figura 6 é apresentada a tela com essas opções.

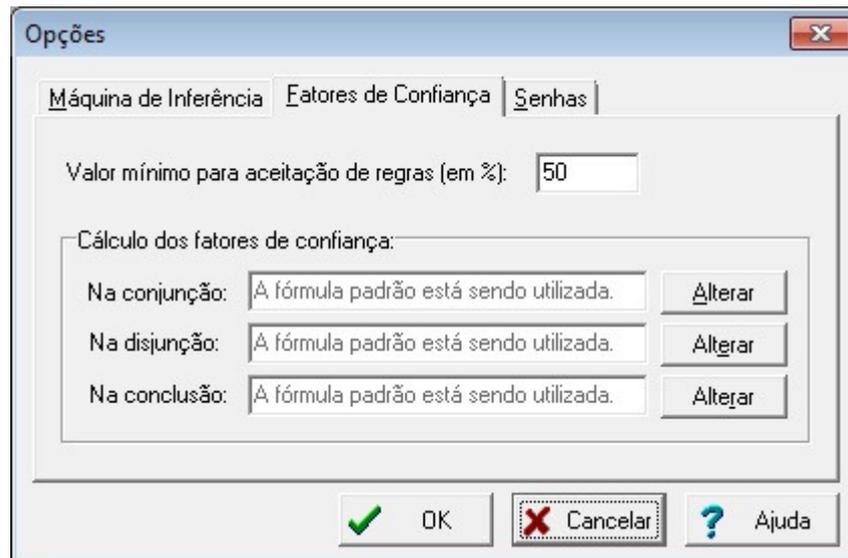


Figura 6: Tela de personalização dos fatores de confiança.

No campo 'Valor mínimo para aceitação de regras' é determinado o valor mínimo do grau de confiança para que uma regra seja aceita. Nos demais campos é possível personalizar algumas funções para calcular fatores de confiança em determinados eventos.

Na aba 'Senhas' é possível atribuir uma senha ao sistema para definir diferentes níveis de acesso. Esses níveis são três: 'Permitir execução e visualização', 'Permitir somente execução' e 'Nenhuma permissão'. Essas opções podem ser visualizadas na Figura 7.

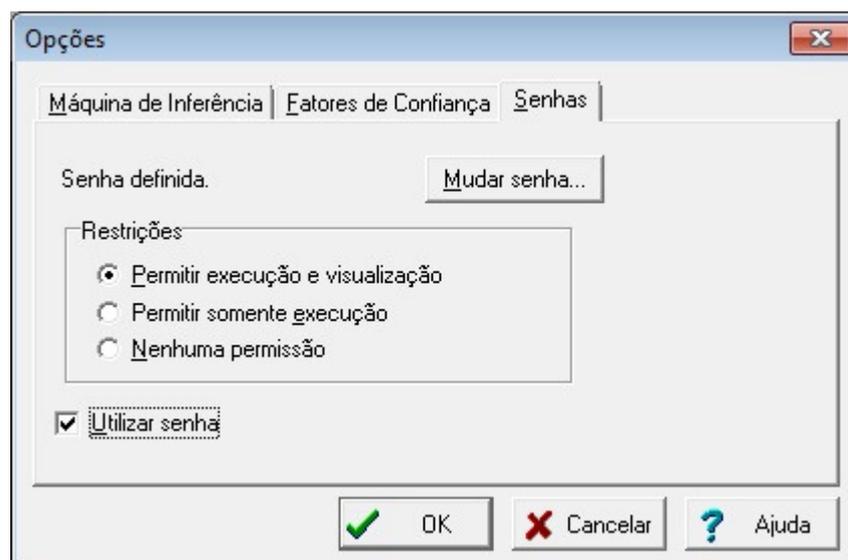


Figura 7: Tela de configuração de nível de acesso.

Independentemente do nível de acesso protegido pela senha, a opção 'Utilizar senha' deve estar habilitada para que a proteção esteja efetiva.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Criação do Sistema Especialista

Nesta seção serão apresentados os passos seguidos para a construção do SE. Primeiramente a definição do domínio seguido do processo de AC, representação do conhecimento e, ao final, testes de validação.

4.1.1. Definição do domínio

Nesta etapa do trabalho foi definido o domínio em que seria aplicada a técnica. Dada a quantidade de subespecialidades existentes atualmente, o conhecimento completo do domínio de todos os ramos da ortopedia se tornou uma tarefa difícil. O domínio trabalhado neste projeto foi definido juntamente com o orientador, visando à utilização de um SE para auxiliar um profissional da saúde no processo de tomada de decisão e sua importância na melhor preparação educacional, permitindo ao acadêmico a familiarização com o ambiente. Esse domínio abrange as patologias ortopédicas dos membros inferiores, podendo ser sugeridas pelo SE, indicativos de diagnósticos de acordo com os sintomas apresentados e resultados dos testes realizados.

Buscou-se um domínio que onde o Sistema Especialista fosse de fato utilizado quando desenvolvido. Outra característica desejada era a disponibilidade de um profissional da área para os processos que necessitam do conhecimento do especialista, para que fosse possível explorar as possibilidades dos SEs e da ferramenta utilizada, o Expert Sinta.

4.1.2. Aquisição do conhecimento

Nessa fase de construção do SE foram utilizadas as técnicas manuais baseadas em imersão na literatura e entrevistas para a AC. Primeiramente foram fornecidas fontes documentadas para um prévio conhecimento sobre a área ortopédica e só então

iniciado as entrevistas para a compreensão do raciocínio para a resolução do problema. As entrevistas com o especialista foram de grande importância para a compreensão do domínio e entendimento de termos e procedimentos realizados no processo de diagnóstico.

Algumas perguntas direcionadas ao especialista foram:

- porque se chegou a esse resultado?
- como se chegou a esse resultado?
- é a única forma existente?
- é possível diagnosticar essa doença baseada apenas em parte dos sintomas?

Essas entrevistas se estenderam desde a análise de viabilidade do projeto até os testes realizados na validação do SE, incluindo as etapas intermediárias que foram o fornecimento de informações e resolução de dúvidas quanto ao contexto trabalhado, resultando no acompanhamento à criação da BC. Um modelo de perguntas que podem ser direcionadas ao especialista é apresentado no Anexo 1.

Com o conhecimento adquirido foi possível construir um SE capaz de diagnosticar até 47 patologias ortopédicas, distribuídas das regiões do quadril/coxa, joelho, tornozelo e pé. No Anexo 2 é apresentado a lista de patologias abrangentes pelo SE.

4.1.3. Representação do conhecimento

A representação do conhecimento na base do conhecimento desenvolvida neste projeto deu-se na forma de regras de produção. Nas seções seguintes serão apresentados os passos seguidos para a construção da BC e interface do SE.

4.1.3.1 Variáveis

A criação das variáveis para a construção da BC foi realizada através da ferramenta Expert Sinta. Ao acessar o menu 'Variáveis' é disponibilizada uma janela conforme apresentada na Figura 8.

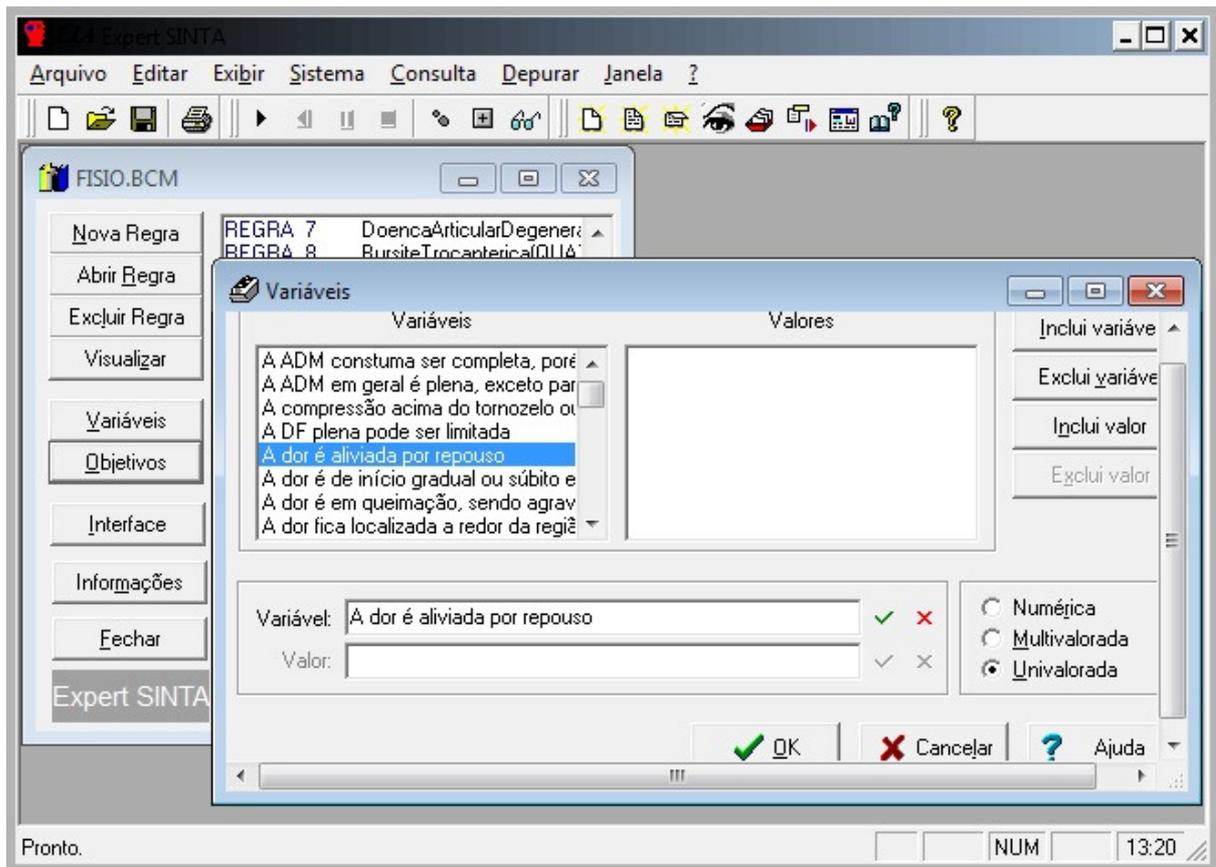


Figura 8: Tela para a criação de variáveis disponibilizada pelo Expert Sinta.

Na janela 'Variáveis' foi possível a criação de variáveis através da opção 'Incluir variável'. No campo 'Variável' foi atribuído o nome da variável que estava sendo criada, e esta poderia ser 'Numérica', 'Multivalorada' ou 'Univalorada'. Para a atribuição de valor para a variável este foi informado após a seleção da opção 'Incluir valor', no campo 'Valor'. Para variáveis com mais de um valor, ou seja, multivaloradas, todos os valores atribuídos a elas podem ser conferidos selecionando-a e observando no quadro 'Valores', conforme mostrado na Figura 9.

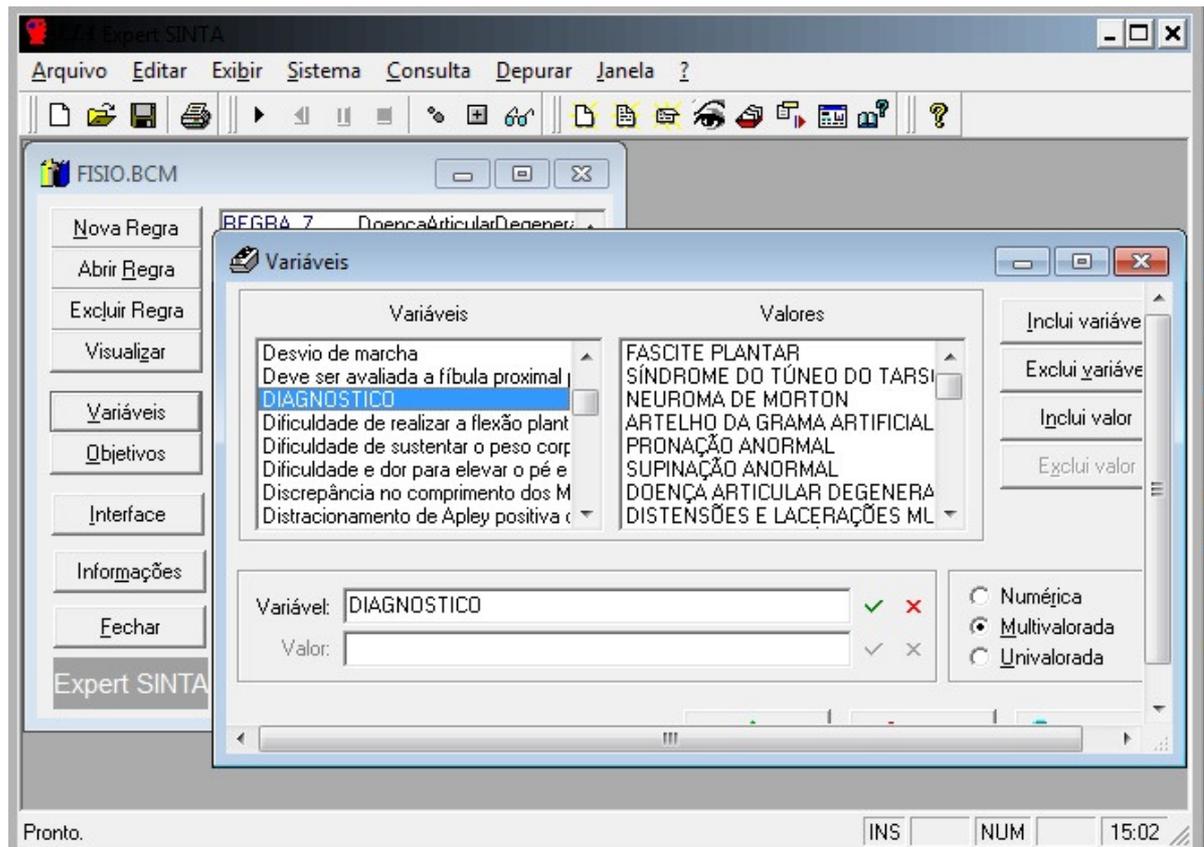


Figura 9: Janela de gerenciamento de variáveis.

Para a exclusão de variáveis desnecessárias, após ter selecionado a variável a ser excluída, fez-se uso da funcionalidade ‘Excluir variável’.

4.1.3.2 Telas e menus

As telas e menus também foram gerados automaticamente pela ferramenta, através das regras, variáveis e objetivos definidos na base do conhecimento. A primeira tela gerada é tela de apresentação, contendo informações sobre o SE. A Figura 10 apresenta a tela gerada para o sistema desenvolvido neste trabalho.

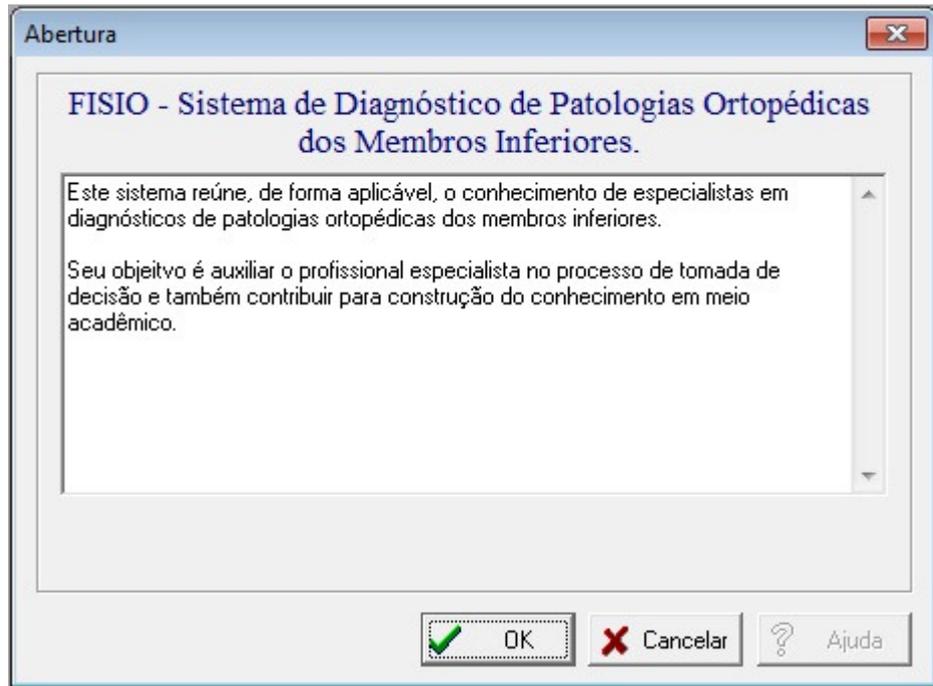


Figura 10: Tela inicial do sistema de diagnóstico de patologias ortopédicas dos membros inferiores.

Para a criação da tela apresentada na figura acima é necessário selecionar no menu de gerenciamento da BC a opção 'Informações' e em seguida preencher os campos relacionados as informações sobre a base, na janela que surgirá. Na Figura 11 é exemplificado esse processo.

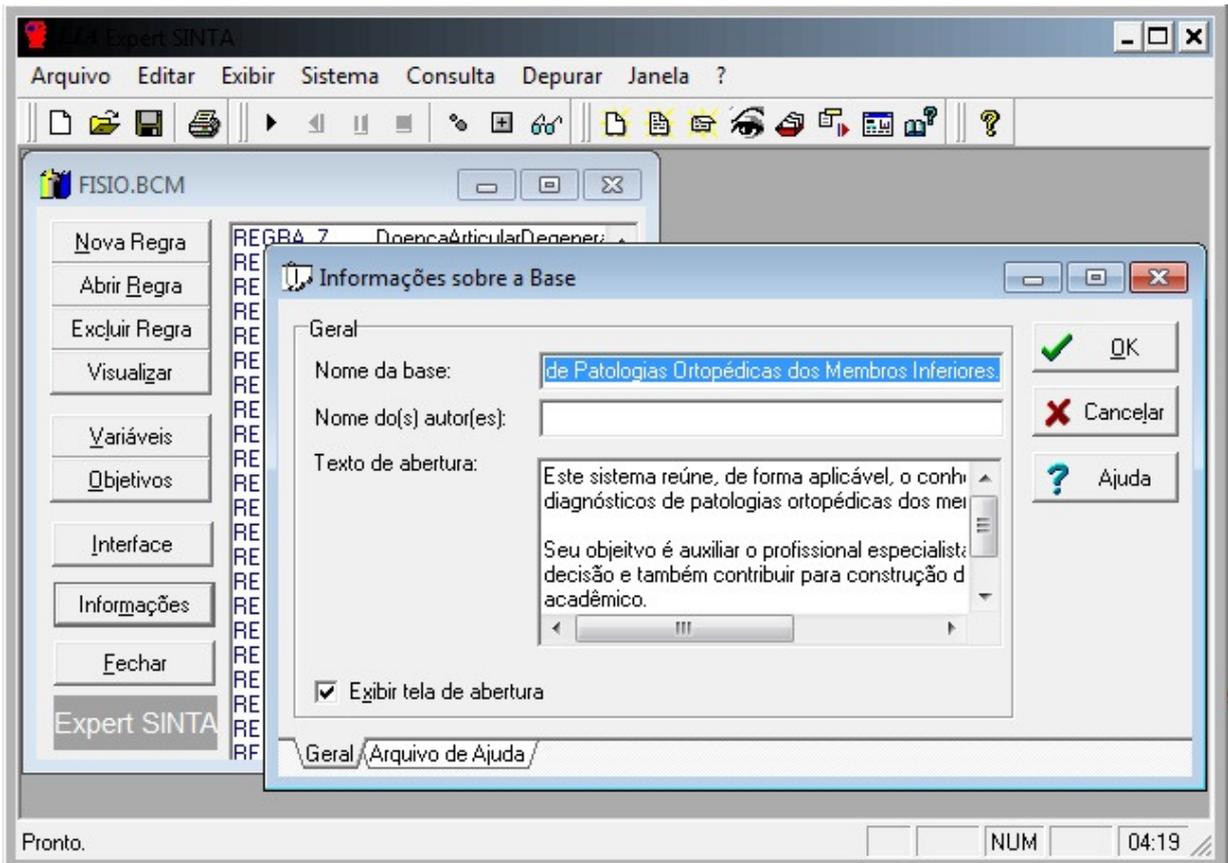


Figura 11: Criação da tela inicial do SE fornecida pelo Expert Sinta.

A habilitação da opção 'Exibir tela de abertura', que pode ser observada na Figura 11, faz o papel de garantir a existência da tela de abertura do SE.

Para que a ferramenta Expert Sinta gere as telas de perguntas automaticamente é necessário determinar quais variáveis serão apresentadas ao usuário na forma de uma pergunta e como será realizada esta. Para tal, foi selecionada a opção 'Interface', surgindo uma tela conforme mostrada na Figura 12.

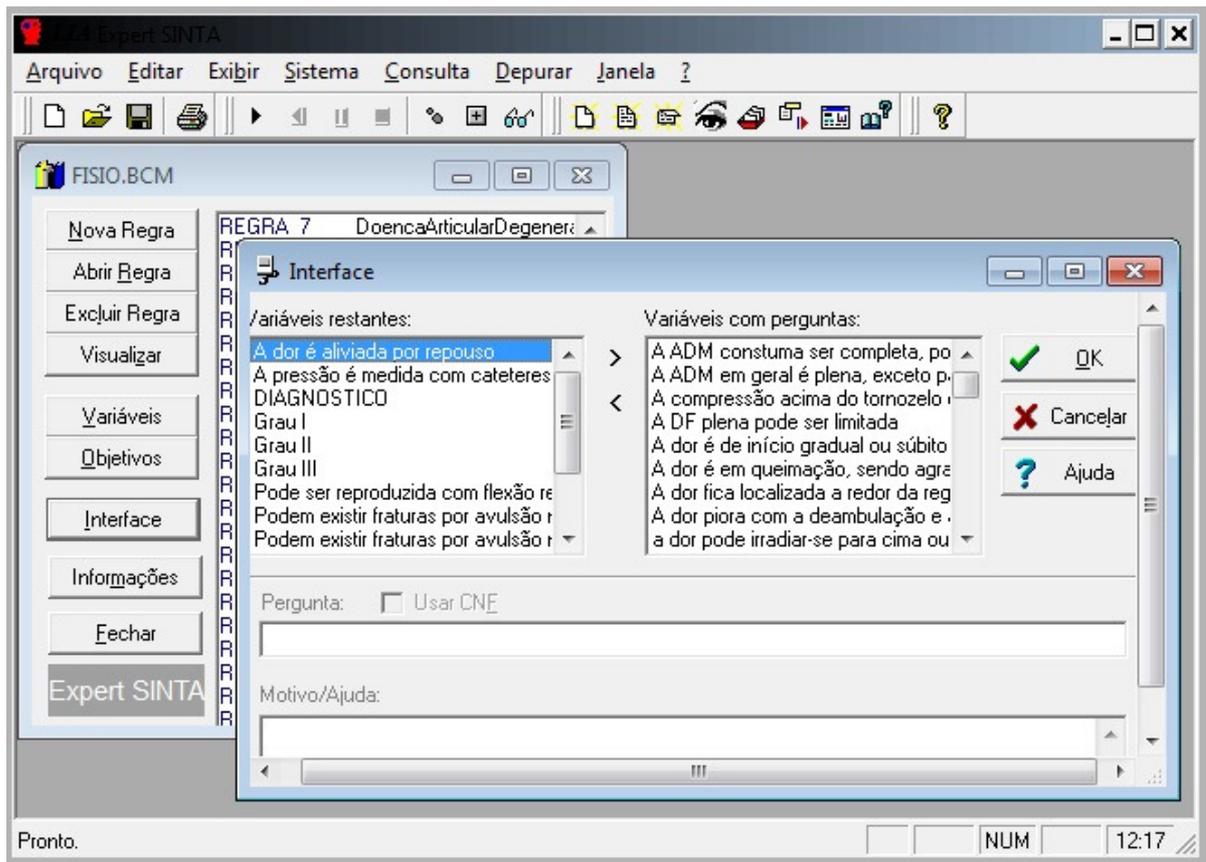


Figura 12: Tela de definição de interface do SE.

Na janela de 'Interface' foram determinadas quais variáveis aparecerão como perguntas para o usuário, selecionando a variável e transferindo-a para o quadro 'Variáveis com perguntas'. Na Figura 13 é possível acompanhar este processo.

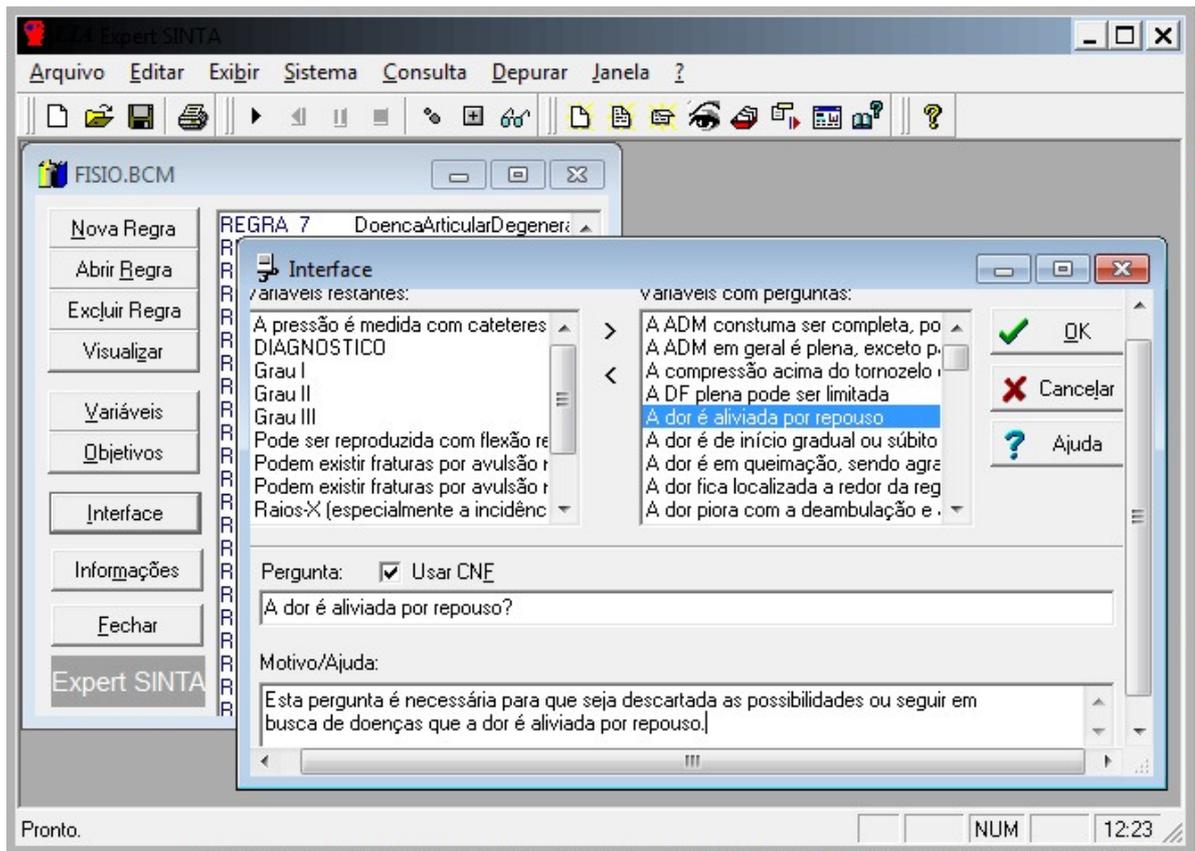


Figura 13: Definição da pergunta e opção de explicação apresentada ao usuário.

Conforme a Figura 13, ainda na janela de 'Interface' foi possível definir a pergunta e a explicação da mesma, que serão apresentadas ao usuário, preenchendo os campos 'Pergunta' e 'Motivo/Ajuda', respectivamente. A importância do preenchimento do campo 'Motivo/Ajuda' dá-se para o uso do subsistema de explicação, quando solicitado pelo usuário. Também foi possível habilitar a opção de atribuição de confiança na resposta, deixando marcada a opção 'Usar CNF', que já vem habilitada por padrão. Esta confiança é atribuída pelo usuário no momento da consulta ao sistema, informando juntamente com a resposta à pergunta direcionada a ele o grau de certeza quanto ao que responde. Ao final da consulta o motor de inferência efetua o cálculo de todos os fatores atribuído nas respostas e, se obtiver um grau de confiança acima do mínimo, considera o indicativo de diagnóstico válido. Esse valor mínimo é definido naturalmente definido pelo Expert Sinta em 50%, porém pode ser alterado, assim como a fórmula utilizada para este cálculo, pelo engenheiro do conhecimento de acordo com a necessidade do domínio, conforme apresentado na Figura 6, presente na Seção 3.3.2.

Ainda referente às variáveis, foi determinada a variável objetivo, que armazenava como valores as possíveis patologias a serem alcançadas através da consulta ao SE e seu processo de raciocínio. Para indicar a variável 'INDICATIVO DE DIAGNOSTICO' como objetivo foi selecionada a opção 'Objetivos'. Na janela disponibilizada para tal, foi transportada a variável 'INDICATIVO DE DIAGNOSTICO' do quadro 'Variáveis' para 'Variáveis-Objetivo', conforme exemplificado na Figura 14.

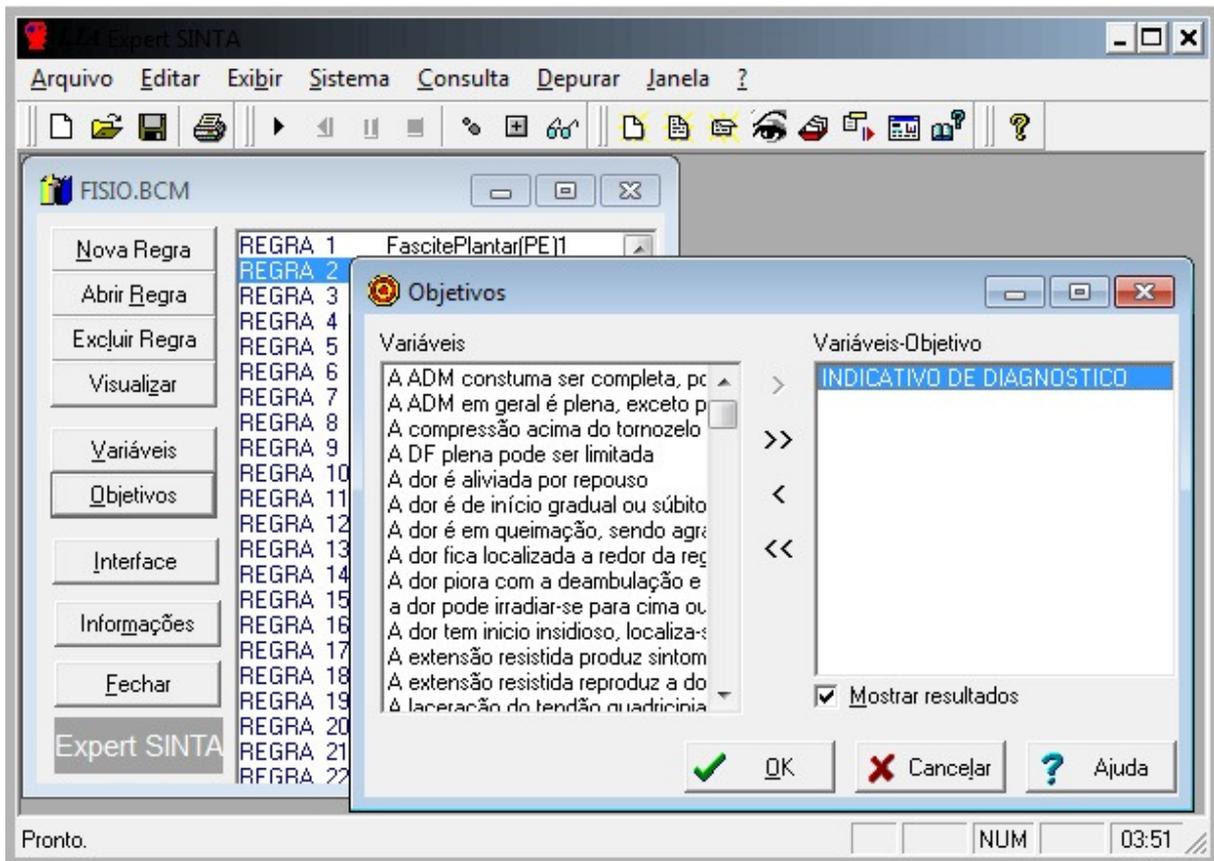


Figura 14: Tela de definição das variáveis que serão objetivos.

Também na janela 'Objetivos' foi habilitada a opção 'Mostrar resultados', permitindo que os resultados sejam apresentados quando se chegar a algum valor dessa variável como conclusão final da consulta ao SE. É interessante essa opção ficar desabilitada em situações em que a variável seja um resultado parcial que será utilizado em outra regra, não sendo desejada a apresentação deste resultado ao usuário.

4.1.3.3 Regras

O processo de criação das regras também ocorreu através da ferramenta Expert Sinta. Foram criadas 78 regras na base do conhecimento, possibilitando diagnosticar 47 patologias. Nessa seção será apresentado um exemplo de criação de regras que foram utilizadas no desenvolvimento deste SE. Para exemplificar essa etapa foi escolhida uma regra que diagnostica a doença de Síndrome do Túnel do Tarso. Para a criação de uma regra simples é necessário encontrar os seguintes atributos: premissas, valores, conectivos e conclusão.

Primeiramente foram definidas as premissas, de acordo com os sintomas pertinentes a patologia. Assim, para cada sintoma foi criada uma variável que atuará como premissa na construção da regra. A Tabela 2 apresenta os sintomas referentes à doença trabalhada nesse exemplo e as variáveis criadas para cada sintoma.

Tabela 2 – Representando sintoma na forma de variável.

| SINTOMAS | VARIÁVEIS |
|---|---|
| local da dor: arco plantar | DOR_LOCAL_PE |
| sensação de queimação e dor na planta do pé, especialmente à noite e à sustentação do peso corporal | sensação de queimação e dor na planta do pé, especialmente à noite e à sustentação do peso corporal |
| dormência/formigamento | dormência/formigamento |
| não possui hipersensibilidade plantar | hipersensibilidade plantar |
| teste de sinal de túnel positivo | sinais de túnel positivo |

As variáveis são ‘Univaloradas’, com exceção da primeira, que é ‘Multivalorada’, pois existem vários locais no pé que podem ocorrer dores. Outra observação é a negação existente na regra localizada na quarta (nº 4) linha da Tabela 2, que será válida apenas se o usuário marcar a opção ‘Não’ no momento da resposta, pois não deve possuir hipersensibilidade plantar.

As premissas já foram definidas, porém ainda falta a conclusão. Para tal foi criada a variável 'INDICATIVO DE DIAGNOSTICO', do tipo 'Multivalorada', pois existem vários valores – patologias. Essa representação ocorre conforme apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores referentes à variável 'INDICATIVO DE DIAGNÓSTICO'.

| VARIÁVEL | VALORES |
|---------------------------|--|
| INDICATIVO DE DIAGNOSTICO | FASCITE PLANTAR SÍNDROME DO TÚNEO DO TARSO NEUROMA DE MORTON ARTELHO DA GRAMA ARTIFICIAL PRONAÇÃO ANORMAL SUPINAÇÃO ANORMAL |

Para realizar a ligação de uma premissa a outra foi utilizado o conectivo 'E'. Foi possível chegar a essa conclusão após a análise da forma de diagnóstico utilizada pelo especialista do domínio, pois para a constatação da existência da doença de Síndrome do Túnel do Tarso é necessário que todos os sinais e/ou sintomas sejam verdadeiros. A estruturação da regra proposta está representada no exemplo a seguir.

| |
|--|
| SE |
| EXAME ORTOPEDIO = PÉ |
| E LOCAL_DOR_PE = Arco plantar |
| E Sensação de queimação e dor na planta do pé a noite = Sim |
| E Dormencia/Formigamento = Sim |
| E NÃO hipersensibilidade plantar = Sim |
| E Sinais de Túnel positivo = Sim |
| ENTÃO |
| INDICATIVO DE DIAGNÓSTICO = SÍNDROME DO TÚNEL DO TARSO |

O processo de elaboração das regras seguiu de forma a possuir perguntas ao início da consulta que eliminam várias possíveis perguntas desnecessárias, caso o diagnóstico se confirme logo no início. De certa forma todas as variáveis têm essa função, porém, é possível observar que as duas primeiras premissas cumprem essa

atribuição em proporções maiores. Todas as regras possuem a primeira variável, permitindo eliminar todas as doenças não pertinentes aquela região. No exemplo acima, quando a variável ‘EXAME ORTOPEDICO’ recebe o valor ‘PÉ’, todas as regras que exigirem que essa variável tenha qualquer outro valor – como ‘QUADRIL’, ‘JOELHO’, ‘TORNOZELO’; estão automaticamente descartadas. A Figura 15 ilustra a forma que o sistema requisita essa informação ao usuário.

The screenshot shows a window titled "FISIO - Sistema de Diagnóstico de Patologias Ortopédicas dos Membros Inferiores." The main heading is "Onde o paciente sente dor?" with the instruction "(Marque quantas alternativas desejar)". Below this, there is a label "Opção:" followed by a text input field and a label "Grau de Confiança %:" followed by another text input field. A list of options is provided with checkboxes:

- QUADRIL / COXA
- JOELHO
- TORNOZELO
- PÉ

 At the bottom, there are two buttons: "OK" with a green checkmark icon and "Por que?" with a question mark icon.

Figura 15: Interface para obter informação de onde se localiza a dor.

A segunda variável já é específica para cada grupo, porém de importância muito grande para evitar perguntas irrelevantes. Quando a variável ‘LOCAL_DOR_PE’ recebe o valor referente ao local da dor, nesse exemplo o ‘Arco plantar’, todos os outros objetivos que, embora façam parte do exame ortopédico do pé, são descartados, pois não possuem dor neste local específico. A figura a seguir apresenta essa seleção.

The screenshot shows a window titled "FISIO - Sistema de Diagnóstico de Patologias Ortopédicas dos Membros Inferiores." The main heading is "Qual o local do pé que se encontra a dor?" with the instruction "(Marque quantas alternativas desejar)". Below this, there is a label "Opção:" followed by a text input field and a label "Grau de Confiança %:" followed by a text input field. A list of options is provided with checkboxes and a confidence percentage spinner:

- Arco Plantar (Confiança: 100)
- Trajeto Nervoso (Confiança: [])
- Atelhos (Confiança: [])
- Movimento de Pronação e Supinação (Confiança: [])

 At the bottom, there are two buttons: "OK" with a green checkmark icon and "Por que?" with a question mark icon.

Figura 16: Interface para obter informação sobre o local que se encontra a dor.

Ainda observando a Figura 16, é possível observar que o usuário tem a opção de selecionar quantas opções desejar por se tratar de uma variável multivalorada, entretanto, quanto menos específicas forem às respostas, menor será a eliminação de perguntas. Assim, todas as premissas possuem seu caráter eliminatório, porém em menor escala.

Para a criação da regra na ferramenta Expert Sinta foi utilizada a opção ‘Nova Regra’, surgindo uma janela com as opções de determinar uma ordem de prioridade para a regra e também de utilizar uma regra já existente como modelo para a nova. A Figura 17 apresenta estas opções.

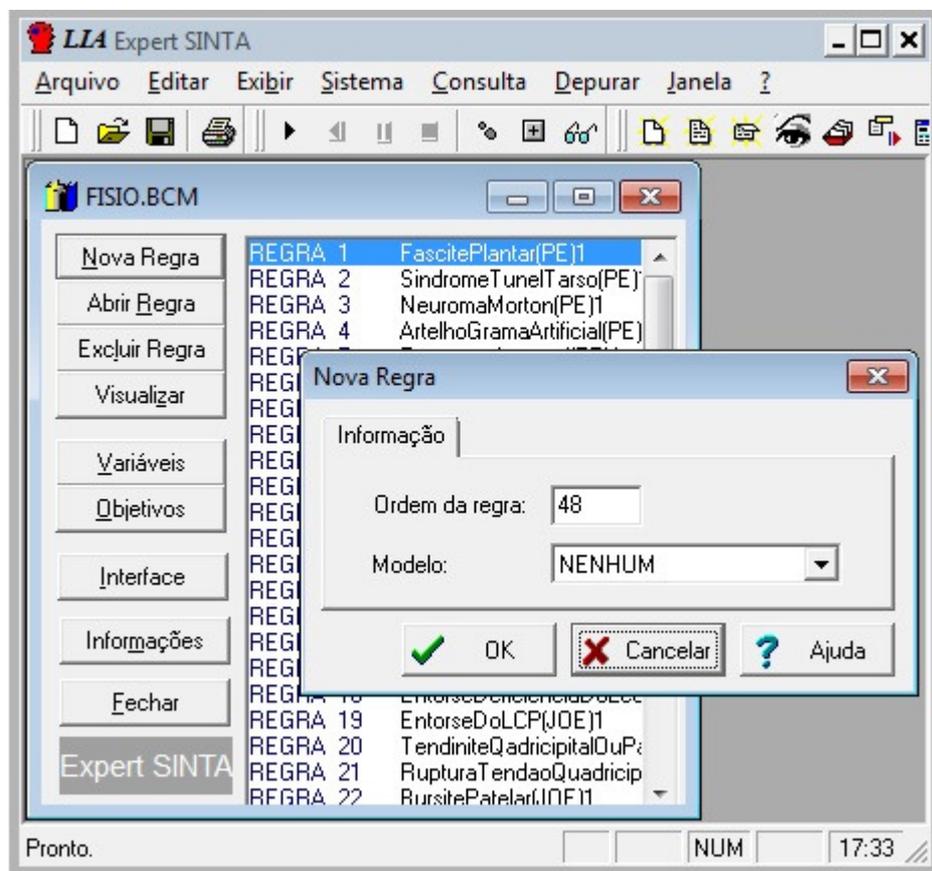


Figura 17: Tela para escolha da ordem e modelo da regra a ser criada.

Assim, é apresentada uma janela para a estruturação da regra, bem como o gerenciamento das premissas e conclusão. O nome da regra e a ordem de prioridade podem ser atribuídos através dos campos ‘Nome da regra’ e ‘Ordem’, respectivamente, conforme ilustrado pela Figura 18.

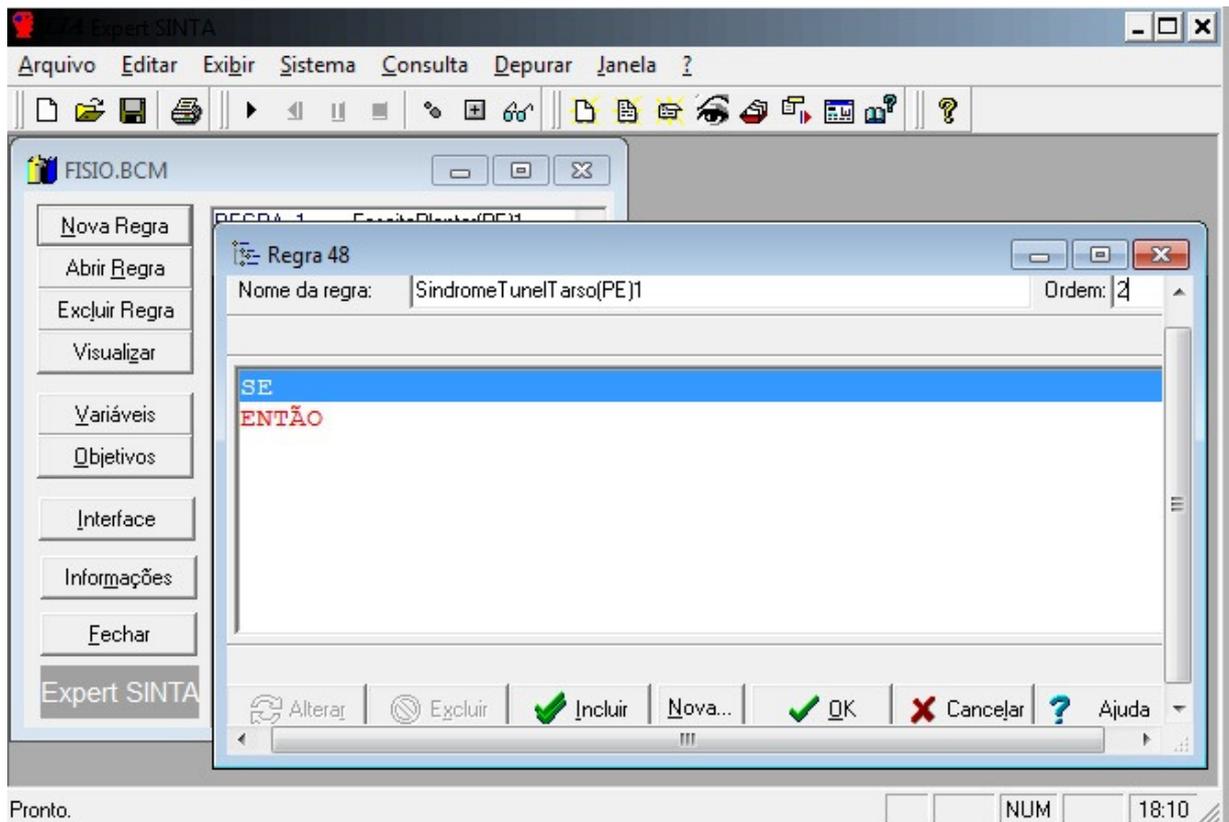


Figura 18: Tela de criação de nova regra.

Para estruturação da regra foi utilizada a função de 'Incluir', que resultará no surgimento da janela de 'edição de regra'. Nessa janela foram atribuídos os itens da regra, selecionando uma variável no campo 'Item de regra', um conector e um dos valores dessa variável. Ainda nessa tela foi definido o conectivo que liga a premissa à anterior, podendo ser 'E' ou 'OU', de acordo com a necessidade da regra. Também é possível indicar uma negação, habilitando a opção 'Não', ainda nessa tela. Na Figura 19 é possível verificar essas ações.

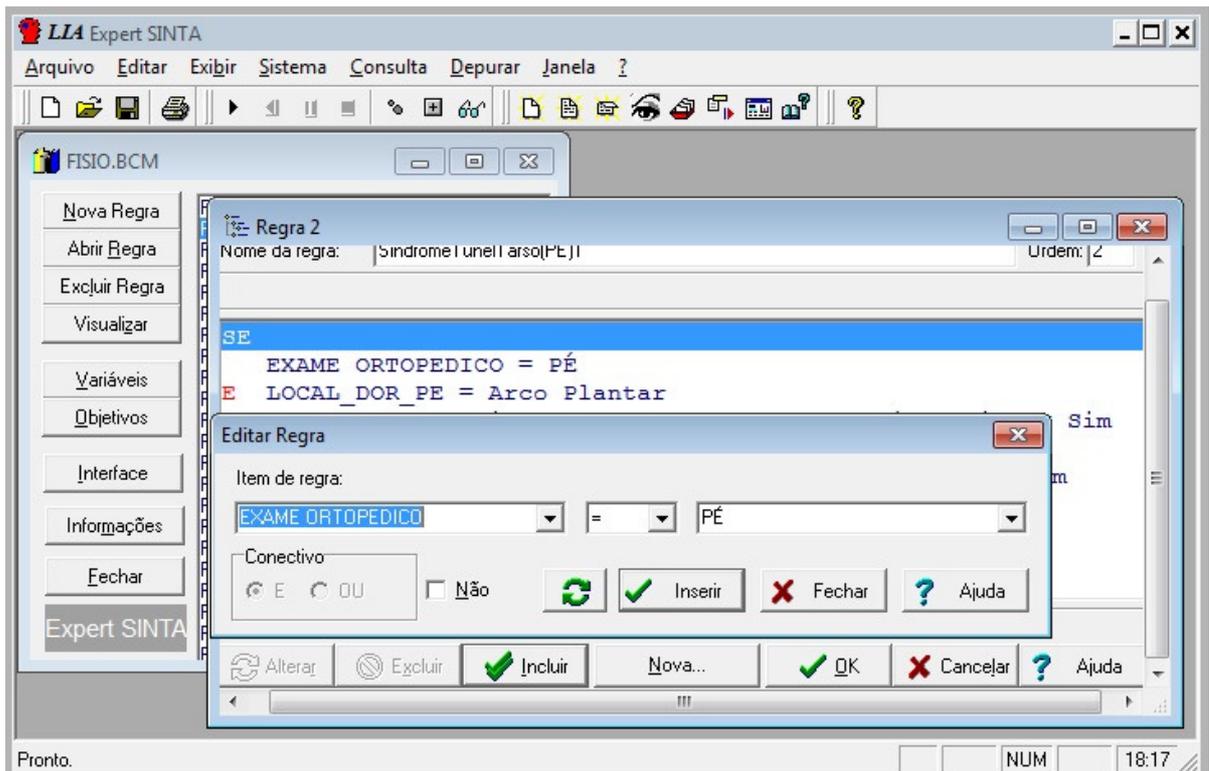


Figura 19: Tela de edição de regra.

Após a alocação de todas as premissas e conclusão(ões) necessárias, a estrutura da regra após criada segue conforme ilustra a Figura 20.

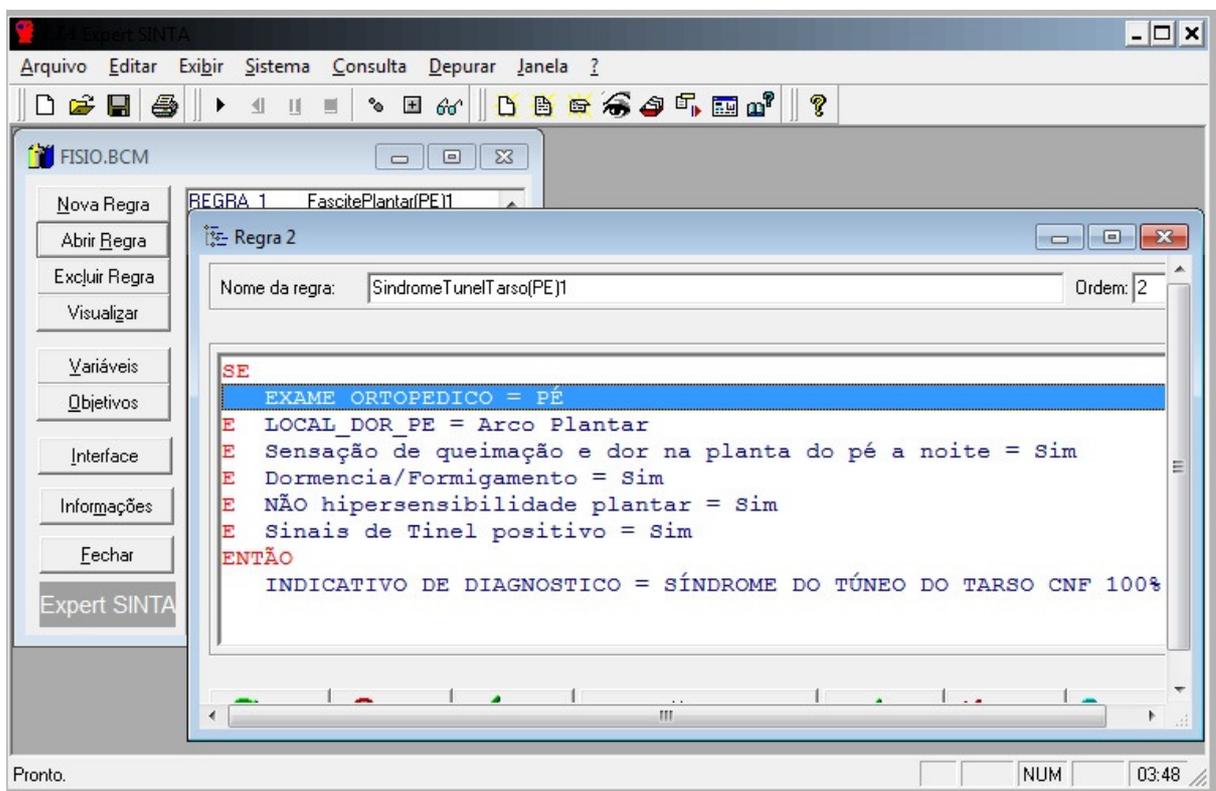


Figura 20: Exemplo de uma regra estruturada.

Ainda na Figura 20 é possível observar a regra que possibilita o SE diagnosticar a doença de Síndrome do Túnel do Tarso, com suas premissas e conclusão(ões) estruturadas conforme o padrão utilizado pela ferramenta Expert Sinta.

4.1.3.4 Máquina de inferência

A parte de inferência, responsável pelas buscas das regras e filtragens dos dados relevantes também é disponibilizada pela ferramenta Expert Sinta. Assim, foi utilizada a máquina de inferência oferecida pela ferramenta, em sua forma padrão de raciocínio. Embora também seja possível simular o encadeamento para frente (progressivo) utilizando a ferramenta, foi adotada para este trabalho a forma de encadeamento para trás (regressivo), onde o Expert Sinta já executa naturalmente. Assim, as patologias foram alocadas nas conclusões, sendo necessária a validação dos sintomas, que são representados na forma de premissas. Ou seja, o objetivo foi colocado como conclusão da regra levando a máquina de inferência procurar pela validação das premissas.

A Figura 21 a seguir apresenta a área de configuração do motor de inferência do SE.

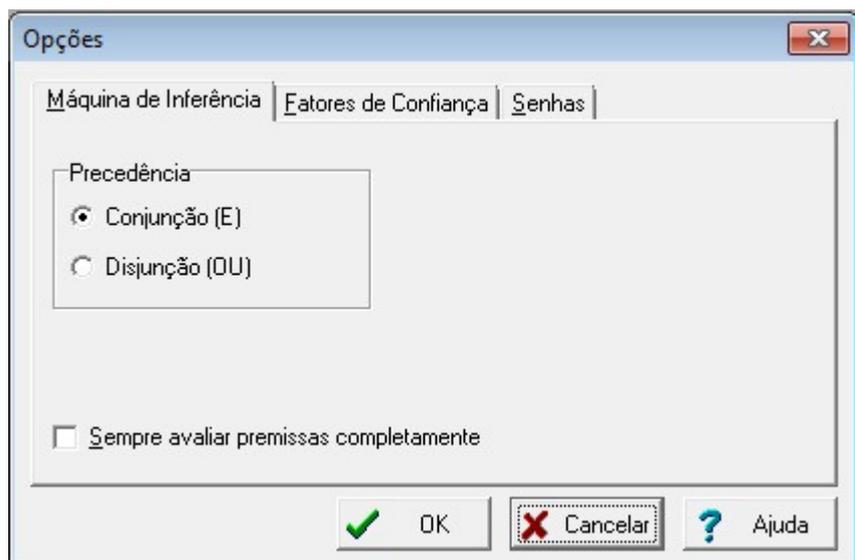


Figura 21: Opções do motor de inferência.

Não foi preciso alteração na forma de atuação natural da máquina de inferência disponibilizada pela ferramenta Expert Sinta, mantendo os valores padrão.

4.1.4. Testes

Após e durante a estruturação das regras e resultados, foi testada a confiabilidade das conclusões obtidas com a utilização do sistema especialista. Estes testes foram realizados juntamente com o especialista do domínio com o intuito de garantir os seguintes aspectos:

- se o SE está fazendo perguntas válidas;
- se as perguntas continuam até que não tenha mais perguntas a fazer e chega a uma conclusão final – podendo ser uma sugestão de diagnóstico ou “resultado desconhecido”;
- a proximidade da conclusão com a realidade do problema.

Assim, o teste foi realizado de forma a responder as perguntas de acordo com a patologia previamente escolhida para ser testada. Após a escolha da patologia foram respondidas as perguntas observando o modo de raciocínio do sistema para a resolução do problema, a validade das perguntas e o resultado em si. Ao final dos testes obtiveram-se resultados que comprovaram os diagnósticos previstos, o que levou o especialista do domínio a declarar que os resultados foram satisfatórios e a sugestão dada pelo SE é coerente e aplicável.

Dessa forma, o trabalho desenvolvido atingiu os objetivos iniciais e contribuiu para o conhecimento da técnica e desenvolvimento do sistema para atuação no domínio proposto.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido aos avanços dos estudos nas últimas décadas, tornou-se necessária a criação de subespecialidades na área da ortopedia, dificultando o domínio de todos os ramos e especialidades por parte do profissional. Considerada uma ciência relativamente recente, a IA encontra-se cada vez mais inserida nas mais diversas atividades antes desenvolvidas apenas por meio de raciocínio humano, uma vez que os sistemas baseados em conhecimento estão cada vez mais presentes na vida dos indivíduos.

Com a possibilidade de construir sistemas que possuem conhecimento específico, é possível observar que na área da saúde a forma de diagnóstico propriamente dito se assemelha muito com a forma de funcionamento do sistema especialista, pois se dá através de perguntas e respostas.

Observada a necessidade, o sistema especialista desenvolvido nesse projeto propõe realizar o papel de auxiliar no processo de tomada de decisão do profissional da saúde em sua prática e na melhor preparação educacional, permitindo ao acadêmico a familiarização com o ambiente. Neste trabalho foram abordados os conceitos e aplicação da técnica de SE para o diagnóstico de patologias ortopédicas, mais especificamente dos membros inferiores do corpo humano.

Um das dificuldades encontrada no desenvolvimento deste trabalho esteve relacionada à compreensão dos termos técnicos do domínio proposto. A ortopedia é uma área com bastantes especialidades e subespecialidades, apresentando certa dificuldade de compreensão para alguém leigo na área, daí a necessidade de um contato permanente com o especialista do domínio. Mesmo com algum estudo sobre a especialidade, a diversidade dos termos causou dificuldades no momento de criação das regras ou na formalização de perguntas para interagir com o usuário.

Algumas correções foram necessárias devido a equívocos gerados por má compreensão de alguns termos técnicos ou procedimentos específicos da ortopedia.

Para atender as condições necessárias para o diagnóstico de algumas patologias foi necessária a criação de várias regras, exigindo um emprego maior de tempo e entendimento da patologia.

No decorrer deste projeto foram encontrados alguns aspectos que facilitaram o desenvolvimento do mesmo. O primeiro fator preponderante foi encontrado logo no início do trabalho, nas pesquisas e estudos realizados sobre a utilização de técnicas de IA, mais especificamente de SE. Com bastante referencial teórico disponível, também na língua portuguesa, o processo de revisão de literatura correu sem dificuldades por escassez de materiais.

Outra facilidade também encontrada foi na forma de entendimento da técnica aplicada. A representação do conhecimento no conceito de regras de produção, de forma condicional – SE ENTÃO, é de fácil entendimento.

A simplicidade encontrada na construção de um SE utilizando o Expert Sinta também deve ser ressaltada. A construção automática de telas e menus, o tratamento probabilístico exigido por essa técnica de IA e o componente de explicação também são disponibilizados para que o engenheiro do conhecimento o preencha de acordo com a necessidade. Além disso, a máquina de inferência, componente indispensável de um sistema especialista, é disponibilizada pela ferramenta, fazendo com que o engenheiro do conhecimento se preocupe apenas em gerenciar a base de conhecimento, fornecendo os dados das variáveis, as regras e os objetivos (resultado).

Por fim, e não menos importante, o comprometimento do especialista, prof^o Pierre Brandão, com o desenvolvimento do projeto. Sem dúvida foi um fator preponderante para a realização deste, com o fornecimento de conhecimento tácito e também com material impresso – conhecimento documentado. Sua disponibilidade facilitou o processo de AC, esclarecimento de dúvidas e testes de validação.

Os resultados dos testes elaborados, juntamente com o especialista do domínio, foram satisfatórios para o propósito do projeto. Assim, o SE desenvolvido para auxiliar no diagnóstico de patologias ortopédicas dos membros inferiores pode ser considerado pronto para ser implantado e utilizado, como proposto.

Para trabalhos futuros, tem-se a possibilidade de agregar novas funcionalidades, utilizando outra ferramenta e meio de desenvolvimento, pois o

Expert Sinta, por suportar bases de conhecimento de forma geral, tem sua limitação no que tange a personalização. A partir deste trabalho é possível sugerir a construção de um SE com uma maior abrangência no diagnóstico de patologias ortopédicas. Para tal seria necessário agregar também regras e fatos que permitam o SE a auxiliar o profissional da área também no diagnóstico das demais patologias ortopédicas localizadas em outras regiões do corpo humano, como coluna, punho, ombro, entre outros.

6 REFERÊNCIAS

CAMPOS, Samuel et al. **Banco De Dados.** online, 2007. 29 p. Disponível em: <http://www.zee.mg.gov.br/zee_externo/pdf/componentes_geofisico_biotico/2banco_de_dados.pdf>. Acessado em: junho de 2011.

COSTA, Welbson. SILVA, Shirilly. **Aquisição De Conhecimento: O Grande Desafio Na Concepção De Sistemas Especialistas.** Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, 2005. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/viewFile/71/77>> Acesso em: 22/05/2011.

DIAPER, D. **Knowledge elicitation - principles, techniques and applications.** Chichester: John Wiley & Sons, 1989. p. 97.

GANN, N. Ortopedia: **Guia de Consulta Rápida para Fisioterapia: Distúrbios, testes e estratégias de reabilitação.** Rio de Janeiro : Editora Guanabara Koogan, 2005. p. 192.

GENARO, Sérgio. **Sistemas Especialistas: O conhecimento artificial.** São Paulo: Editora S.A., 1986.

GOMES, Apuena Vieira. **Uma abordagem centrada no usuário para ferramentas de suporte a atividades docentes em ambientes de educação a distancia.** Dissertação (Doutorado em Ciência da Computação), 2004. Universidade Federal de Pernambuco – Recife. Disponível em <<http://www.cin.ufpe.br/~ccte/publicacoes/Tese%20Apuena%5Bok%5D.doc>>. Acessado em: junho de 2011.

HEINZLE, Roberto; RABUSKE, Renato Antonio. **Protótipo de uma ferramenta para criação de Sistemas Especialistas baseados em regras de produção.** 1995.

145p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

HEINZLE, Roberto. **Um Modelo de Engenharia do Conhecimento para Sistemas de Apoio a Decisão com Recursos para Raciocínio Abduativo**. Florianópolis, 2011. 251 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento, UFSC, Florianópolis-SC. Disponível em: <http://btd.egc.ufsc.br/wp-content/uploads/2011/05/Roberto_Heinzle.pdf>. Acessado em 01/06/2011

JAMBEIRO, Othon; SILVA, Helena. **Socializando informações, reduzindo distâncias**. Salvador: UFBA, 2009. 204 p.

JUNIOR, Edson Gil Alves. **Um sistema especialista para o auxílio na detecção de defeitos em hardwares de microcomputadores considerando incertezas**. Universidade do Vale do Itajaí. São José – SC, 2008. Disponível em: <<http://siaibib01.univali.br/pdf/Edson%20Gil%20Alves%20Junior.pdf>>. Acesso em: 20 de Abril de 2011

JOB, Helena et al. **Sistema Especialista de Apoio à Orientação Vocacional**. 2006. Disponível em: <http://aljmartins.hostmach.com.br/ist/dis/sad/material/18c.s_esp_or_vocacional.pdf>. Acesso em: 19 set. 2010.

LIA, Laboratório De Inteligência Artificial. **Expert SINTA** – Uma ferramenta visual para a criação de sistemas especialistas: Manual do Usuário. Disponível em: <http://aljmartins.hostmach.com.br/ist/dis/sad/material/16.Sinta_manual.pdf>. Acesso em: 19 set. 2010.

LEVINE, Robert I., DRANG, Diane E., EDELSON, Barry. **Inteligência Artificial e Sistemas Especialistas**. São Paulo : McGraw-Hill, 1988. 264 p.

LÚCIO, Cairo. **Inteligência Artificial em controle e automação**. 1ª ed. São Paulo: Edgard, 2000.

LIMA, Fernando Antônio. **Protótipo de um Sistema de Informações Executivas com Módulo Inteligente**. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciências da Computação) – Universidade Regional de Blumenau, Blumenau – SC. 1999. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/56107942/55/CLASSIFICACAO-DE-SISTEMAS-ESPECIALISTAS>>. Acesso em: 20-03-2011.

MASTELA, Laura Silveira. **Técnicas de Aquisição de Conhecimento para Sistemas Baseados em Conhecimento**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, 2004. Disponível em: <http://www.inf.ufrgs.br/bdi/administrator/components/com_jresearch/files/publications/TI1LSM.pdf>. Acesso em: 13/06/2011.

MENDES, Raquel D. **Projeto e desenvolvimento de um sistema especialista para diagnóstico de sarcomas ósseos**. Dissertação (mestrado). São Paulo: ITA, 1991.

MENDES, Raquel Dias. **Inteligência Artificial: Sistemas Especialistas no Gerenciamento da Informação**. Revista Ciência da Informação, vol. 26 nº 1, *online* – Brasília, 1997. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-19651997000100006>. Acesso em: 23-03-2011

NASCIMENTO, Raphael Luiz. Sistemas Especialistas. In: FERNANDES, Anita Maria da Rocha. **Inteligência Artificial: noções gerais**. Florianópolis, SC: Visual Books Editora, 2003. cap.2, p.11-26.

OLIVEIRA, Rosina. **Sistema Especialista Difuso para Análise de Crédito**. Dissertação (Mestrado) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 1993. Disponível em: <<http://www.ischool.drexel.edu/faculty/rweber/pdf/thesis.pdf>>. Acesso em: 20 Abril. 2011>. Acesso em: 20 set. 2010.

PEREIRA, Marcos Aurélio. **Sistema Especialista On-line de Auxílio ao Diagnóstico de Câncer de Próstata**. 2004. 179p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

QUEIROZ, G. R.; Ribeiro, REIS, K. **Tutorial sobre Banco de Dados Geográficos**. GeoBrasil 2006. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

REIS, Alessandro Cardoso. **Sistemas de conhecimento**: estudo de caso para modelagem de extensão universitária. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro Universitário Feevale – Novo Hamburgo, 2007. Disponível em: <<http://tconline.feevale.br/tc/files/1050.pdf>>. Acesso em: 09/06/2011.

REZENDE, Solange O. **Sistemas Inteligentes**: Fundamentos e Aplicações. 1. ed. São Paulo: Manole, 2005.

RICH, Elaine. KNIGHT, Kevin. **Inteligência Artificial**. 2. ed. São Paulo, Makron Books, 1994. 696 p.

RIBEIRO, Horácio. **Introdução aos Sistemas Especialistas**. Rio de Janeiro: Ltc., 1987.

RUSSEL, S., NORVIG, P., **Artificial Intelligence: A Modern Approach**, Prentice Hall 1995.

RUSSELL, Stuart J. **Inteligência Artificial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004. 1021 p.

SAVARIS, Silvana Valdemara Aparecida Michelotto. **Sistema Especialista Para Socorros Para Cães**. 2002. 156 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

SHEKHAR, S.; COYLE, M.; GOYAL, B.; LIU, D.; SARKAR, S. **Data models in geographic information systems**. Communications of the ACM, v. 40, n.4, 1997. p. 103-111.

TURBAN, E. **Expert System and Applied Artificial Intelligence**. New York: Macmillan Publishing Company, 1992.

WOLFOVITCH, Moysés, et al. **A história da ortopedia no estado da Bahia**. Universidade Federal da Bahia – Salvador, 2007. Disponível em: <<http://www.gmbahia.ufba.br/ojs/index.php/gmbahia/article/viewFile/105/98>>. Acesso em 30/06/2011.

ANEXO

ANEXO 1

Modelo de questionário utilizado na entrevista com o especialista do domínio.

Quais os procedimentos para a realização de um diagnóstico?

Quais fatores são levados em consideração?

Porque se chegou a esse resultado?

É possível encontrar mais de um resultado?

É possível não encontrar algum resultado?

Como se chegou a esse resultado?

É a única forma existente? (Se não, quais outras formas?)

É possível diagnosticar essa doença baseada apenas em parte dos sintomas?

Existem doenças com sintomas em comum?

Quais as dificuldades e facilidades encontradas no processo de diagnóstico?

ANEXO 2

Doenças que podem ser diagnosticadas utilizando o SE.

| REGIÃO | PATOLOGIAS |
|--------------|---|
| Quadril/Coxa | <p>Doença articular degenerativa</p> <p>Distensões e lacerações musculares</p> <p>Bursite trocantérica</p> <p>Pontada no quadril</p> <p>Meralgia parestésica</p> <p>Miosite ossificante</p> <p>Doença de Legg-Calvé-Perthes</p> <p>Deslocamento da epífise da cabeça do fêmur</p> <p>Luxação congênita do quadril</p> <p>Artroplastia total do quadril</p> |
| Joelho | <p>Entorse/laceração do ligamento colateral medial</p> <p>Entorse/laceração do ligamento colateral lateral</p> <p>Entorse (deficiência) do LCA</p> <p>Entorse do LCP</p> <p>Tendinite quadricipital ou patelar (joelho do saltador)</p> <p>Ruptura do tendão quadricipital ou patelar</p> <p>Bursite patelar</p> <p>Bursite anserina (da pata de ganso)</p> <p>Síndrome da plica</p> <p>Síndrome do atrito do trato ileotibial (TIT)</p> <p>Lacerações meniscais</p> <p>Tríade infeliz (O'Donoghue)</p> <p>Osteoartrite</p> <p>Osteocondrite dissecante</p> <p>Meniscectomia</p> <p>Síndrome de dor patelofemoral</p> <p>Luxação/subluxação patelar</p> |

| | |
|-----------|--|
| Tornozelo | Entorse/lacerações agudas do tornozelo lateral Instabilidade crônica do tornozelo lateral Doença de Sever Entorses sindesmóticas (diastese do tornozelo) Tendinite do tibial posterior Tendinite do Aquileu Ruptura do tendão-de-Aquiles Lacerações do gastrocnêmio Síndrome compartimental por esforço crônico Síndrome compartimental aguda Fraturas de estresse Fraturas do tornozelo Reparo no tendão de Aquiles |
| Pé | Fasciite plantar Síndrome do túnel do Tarso Neuroma de Morton Artelho da grama artificial Pronação anormal Supinação anormal |