

ANDRÉ HIDEAKI SAHEKI

CONSTRUÇÃO DE UMA REDE BAYESIANA APLICADA AO
DIAGNÓSTICO DE DOENÇAS CARDÍACAS

Dissertação Apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para Obtenção do Título de Mestre em
Engenharia

São Paulo
2005

ANDRÉ HIDEAKI SAHEKI

CONSTRUÇÃO DE UMA REDE BAYESIANA APLICADA AO
DIAGNÓSTICO DE DOENÇAS CARDÍACAS

Dissertação Apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para Obtenção do Título de Mestre em
Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia Mecatrônica

Orientador:
Prof. Livre-Docente
Fabio Gagliardi Cozman

São Paulo
2005

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 4 de abril de 2005.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Saheki, André Hideaki

Construção de uma rede Bayesiana aplicada ao diagnóstico de doenças cardíacas / A.H. Saheki. -- ed.rev. -- São Paulo, 2005. 70 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos.

1.Inteligência artificial 2.Probabilidade 3.Sistemas de apoio à decisão I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos II.t.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho contou com a colaboração das seguintes pessoas, às quais gostaria de agradecer: Professor Dr. Fabio Gagliardi Cozman, pela orientação e suporte no trabalho, professor Dr. Rodolfo Sharovsky, pelo auxílio como especialista médico no desenvolvimento do trabalho, doutora Veerle Coupé, pela ajuda no processo de construção de sistemas especialistas, demais médicos do Hospital Universitário da USP que participaram do processo de escolha do problema médico, e colegas do Laboratório de Tomada de Decisão da USP.

Adicionalmente, agradeço às seguintes instituições que contribuíram ao trabalho desenvolvido: Escola Politécnica da USP, FAPESP, Instituto de Pesquisas Eldorado e HP Brasil R&D.

RESUMO

Este trabalho apresenta a construção de um sistema especialista aplicado ao diagnóstico de doenças cardíacas, usando como ferramenta computacional redes Bayesianas. O trabalho envolveu a interação entre diferentes áreas do conhecimento, engenharia e medicina, com maior foco na metodologia da construção de sistemas especialistas. São apresentados os processos de definição do problema, modelagem qualitativa e quantitativa, e avaliação. Neste trabalho, os processos de modelagem e avaliação foram realizados com o auxílio de um especialista médico e de dados bibliográficos. São apresentados como resultados a rede Bayesiana construída e um software para manipulação de redes Bayesianas denominado iBNetz.

ABSTRACT

This work presents the construction of an expert system applied to the diagnosis of heart diseases, using Bayesian networks as a modeling tool. The work involved interactions between two different fields, engineering and medicine, with special emphasis on the methodology of building expert systems. The processes of problem definition, qualitative and quantitative modeling, and evaluation are presented here. In this work, the modeling and evaluation processes have been conducted with the aid of a medical expert and bibliographic sources. The work has produced a Bayesian network for diagnosis and a software, called iBNetz, for creating and manipulating Bayesian networks.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1.....	1
Introdução.....	1
Capítulo 2.....	5
Sistemas especialistas.....	5
2.1 Sistemas especialistas aplicados à medicina.....	5
2.2 Técnicas para construção de sistemas especialistas.....	7
2.2.1 Árvores de decisão.....	7
2.2.2 Sistemas de produção.....	8
2.2.3 Redes neurais.....	8
2.2.4 Redes Bayesianas.....	9
2.2.5 Utilização de diversas técnicas.....	12
2.3 Técnica utilizada no trabalho.....	12
Capítulo 3.....	14
Escolha do problema médico.....	14
3.1 Problemas médicos considerados.....	14
3.1.1 Diagnóstico em pacientes admitidos em UTIs.....	14
3.1.2 Tratamento de pacientes com insuficiência renal.....	15
3.1.3 Operação em pacientes com neoplasias benignas da mandíbula.....	15
3.1.4 Cirurgia para retirada de metástases.....	15
3.1.5 Diagnóstico de insuficiência cardíaca congestiva causada por insuficiência coronária.....	16
3.1.6 Diagnóstico de mal de Alzheimer.....	16
3.1.7 Diagnóstico de doenças cardíacas em pacientes com dificuldades respiratórias.....	16
3.2 Escolha do problema médico.....	17
3.2.1 Critérios relativos ao problema médico.....	17
3.2.2 Critérios relativos ao médico especialista que auxiliará na construção do sistema.....	18
3.2.3 Problema médico escolhido.....	18
Capítulo 4.....	19
Modelo qualitativo da rede Bayesiana.....	19
4.1 Processo para criação do modelo da rede.....	19
4.1.1 Métodos para refinamento da estrutura da rede.....	19

4.1.2 Limitações na estrutura da rede.....	20
4.2 Características da insuficiência cardíaca.....	21
4.2.1 Definição de insuficiência cardíaca.....	21
4.2.2 Sintomas fisiológicos observados.....	21
4.2.3 Fatores de risco relacionados à doença.....	22
4.2.4 Ferramentas de diagnóstico disponíveis.....	24
4.2.5 Outras possibilidades de diagnóstico para pacientes com dificuldades respiratórias.....	25
4.3 Evolução dos modelos construídos.....	26
Capítulo 5.....	33
Probabilidades na rede Bayesiana.....	33
5.1 Elucidação de probabilidades.....	33
5.1.1 Especificação direta de probabilidades.....	33
5.1.2 Loterias.....	34
5.1.3 Métodos qualitativos.....	34
5.2 Aprendizado.....	35
5.3 Obtenção de probabilidades.....	36
5.3.1 Probabilidades marginais.....	36
5.3.2 Probabilidades condicionais.....	37
5.4 Noisy-or.....	41
Capítulo 6.....	47
Avaliação da rede.....	47
6.1 Casos de uso para a rede.....	47
6.1.1 Primeira avaliação com casos de uso.....	47
6.1.2 Segunda avaliação com casos de uso.....	49
6.1.3 Terceira avaliação com casos de uso.....	50
6.1.4 Resultado final da avaliação com casos de uso.....	56
6.2 Avaliação qualitativa com especialistas.....	57
6.2.1 Avaliação 1.....	57
6.2.2 Avaliação 2.....	58
6.2.2 Resumo das avaliações.....	59
Capítulo 7.....	60
Construção de software.....	60
Capítulo 8.....	64
Conclusão.....	64
Referências.....	67
Glossário.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Valores de $P(A)$	11
Tabela 2.2: Valores de $P(B A)$	11
Tabela 2.3: Valores de $P(C A)$	11
Tabela 2.4: Valores de $P(A, B, C)$	11
Tabela 2.5: Probabilidades condicionais para cada nó.....	12
Tabela 5.1: Doença_Chagas.....	36
Tabela 5.2: Dislipidemia.....	36
Tabela 5.3: Fumo.....	36
Tabela 5.4: Idade.....	36
Tabela 5.5: HAS.....	37
Tabela 5.6: Antecedente_Familiar_ICO.....	37
Tabela 5.7: Febre_Reumática.....	37
Tabela 5.8: DM.....	37
Tabela 5.9: Doença_Pulmonar.....	37
Tabela 5.10: Consumo_Álcool.....	37
Tabela 5.11: Doença_Arteriosclerótica_Vascular.....	37
Tabela 5.12: Alterações_EF.....	38
Tabela 5.13: Alterações_ECG.....	38
Tabela 5.14: Alterações_RaioX.....	38
Tabela 5.15: Alterações_ECO.....	38
Tabela 5.16: Valvopatia.....	39
Tabela 5.17: Insuficiência_Coronária.....	39
Tabela 5.18: Sintomas_Ins_Coronária.....	39
Tabela 5.19: Nível_Ativação_N-H.....	39
Tabela 5.20: Hipertensão_Pulmonar_Venosa_Sistêmica.....	40
Tabela 5.21: Probabilidades condicionais para Arteriosclerose_Coronária.....	40
Tabela 5.22: Probabilidades condicionais para Insuficiência_Cardíaca.....	41
Tabela 5.23: Tosse_Seca.....	41
Tabela 5.24: Ascite.....	41
Tabela 5.25: Hepatomegalia.....	41
Tabela 5.26: Edema_MMII.....	41

Tabela 5.27: Derr_Pleural.....	41
Tabela 5.28: Dispneia.....	41
Tabela 5.29: Probabilidades conjuntas de D.....	46
Tabela 6.1: Casos de uso para rede simplificada.....	48
Tabela 6.2: Casos de uso para a rede completa.....	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Rede antes da observação.....	11
Figura 2.2: Rede após observação.....	11
Figura 4.1: Primeiro modelo da rede.....	26
Figura 4.2: Segundo modelo da rede.....	28
Figura 4.3: Terceiro modelo da rede.....	30
Figura 4.4: Modelo final da rede.....	31
Figura 5.1: Exemplo noisy-or.....	45
Figura 6.1: Alto Risco: ECG, Raio-X, ECO, Chagas, HT_Média.....	51
Figura 6.2: Baixo Risco: Álcool, Raio-X, Antecedente Familiar.....	51
Figura 6.3: ECG, ECO, Raio-X negativos.....	52
Figura 6.4: ECG, ECO, Raio-X positivos.....	53
Figura 6.5: Médio/Alto Risco - Dislipidemia, Doença_Art_Vascular, RaioX, HT_Baixa.....	54
Figura 6.6: Médio/baixo risco: reduzido número de observações.....	55
Figura 6.7: Baixo risco: apenas falta de sintomas.....	56
Figura 7.1: iBNetz.....	61
Figura 7.2: Interface para a rede “Diagnóstico de Doenças Cardíacas”.....	62

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

A pesquisa na área de inteligência artificial tem como um de seus principais objetivos, senão o principal, produzir resultados que possam ser aplicados em situações práticas. Temos como exemplos robôs autônomos e sistemas de auxílio à tomada de decisão, também conhecidos como sistemas especialistas. No caso de robôs autônomos, uma das possibilidades é explorar ambientes desconhecidos em que não estejam disponíveis meios de comunicação entre o robô e operadores, deixando-se a cargo do robô a tomada de suas próprias decisões. E sistemas de auxílio à tomada de decisão podem ser usados, por exemplo, em aplicações econômicas, predizendo o comportamento de mercados de ações, em aplicações médicas, auxiliando a decisão de médicos no diagnóstico ou tratamento de doenças, em diagnóstico de falhas em equipamentos, entre outras aplicações.

Este trabalho dedicou-se à criação de um sistema de auxílio à tomada de decisão, utilizando redes Bayesianas (PEARL, 1988) e destinado à área médica (SPIEGELHALTER, 1987); (WETTER, 2002), que visou demonstrar a aplicação prática de técnicas de inteligência artificial em uma situação cotidiana. Este tem sido um grande desafio a especialistas tanto da área de inteligência artificial como para médicos, principalmente devido às dificuldades de traduzir o conhecimento médico para uma forma computacionalmente tratável.

O raciocínio médico pode ser dividido em três tarefas genéricas: diagnóstico, planejamento e tratamento. O diagnóstico refere-se à identificação de doenças em indivíduos, utilizando-se de informações sobre seus antecedentes médicos. O planejamento envolve a escolha do método de tratamento utilizado e os resultados futuros da escolha. E o gerenciamento do paciente lida com a situação presente, ou seja, a continuidade do tratamento. De forma análoga, o raciocínio médico utilizando-se de ferramentas de inteligência artificial também envolve uma ou mais destas tarefas.

Na prática médica os três tipos de tarefas são necessariamente tratados simultaneamente durante o atendimento médico, enquanto que sistemas especialistas

normalmente são construídos de forma a lidar com apenas uma das tarefas. Isso se deve à inerente complexidade em tentar-se tratar todos os aspectos envolvidos em um problema médico ao mesmo tempo.

De forma geral, as fases executadas na construção de um sistema especialista são: definição do problema (tanto o problema médico como as ferramentas computacionais), criação do modelo qualitativo, criação do modelo quantitativo e avaliação.

Existem duas metodologias para a criação dos modelos qualitativo e quantitativo: uma é utilizar-se de conhecimentos de especialistas humanos e traduzir tal conhecimento para uma forma computacional tratável; outra é utilizar-se de uma base de dados de casos anteriores, a qual é usada por um algoritmo de aprendizado para a construção do sistema.

A utilização de aprendizado tem como maior desvantagem a necessidade de uma grande base de dados pertinentes ao problema, o que pode ser caro ou impossível. Uma vantagem do aprendizado é limitar a influência de opiniões particulares dos especialistas colaboradores. Também é possível a utilização do conhecimento de especialistas juntamente com a base de dados. Em situações desse tipo, o aspecto qualitativo recebe maior participação dos especialistas enquanto que o aspecto quantitativo é obtido através da base de dados.

O trabalho aqui apresentado iniciou-se a partir de interações entre a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) e o Hospital Universitário da USP (HU-USP), resultando em um projeto conjunto entre as duas instituições, integrando conhecimentos de inteligência artificial e de medicina. Essa colaboração interunidades na USP visou avaliar o benefício que a aplicação de tecnologias de inteligência artificial podem trazer à prática médica.

O objetivo do sistema construído é auxiliar o diagnóstico de doenças cardíacas (BATLOUNI et al, 1999); (REMME; SWEDBERG, 2001); (REMME; SWEDBERG, 2002), especificamente em pessoas que se apresentam em postos de saúde com dificuldades respiratórias. Especificamente, tentou-se modelar da melhor forma possível o mecanismo que leva à ocorrência de insuficiência cardíaca. Dessa forma, pode ser feita a devida seleção entre os pacientes que devem ser encaminhados a hospitais para mais análises e tratamento, e os que podem ser

satisfatoriamente tratados nos próprios postos por apresentarem problemas de menor gravidade. A identificação correta, nos postos de saúde, dos pacientes tem como objetivo otimizar o atendimento hospitalar, limitando-se o excessivo número de atendimentos desnecessários.

A especificação das fases seguidas neste trabalho apresenta-se a seguir:

- a) O problema médico foi o diagnóstico de doenças cardíacas em pessoas que se apresentam em postos médicos com dificuldades respiratórias;
- b) A ferramenta computacional utilizada foi o modelo de redes Bayesianas;
- c) A modelagem qualitativa definiu a estrutura da rede;
- d) A modelagem quantitativa especificou os conjuntos de probabilidades;
- e) A avaliação foi realizada em conjunto com médicos.

A seleção do problema médico tratado deu-se através de convite realizado a médicos do HU-USP para que apresentassem problemas médicos de seu conhecimento. Os problemas médicos apresentados foram analisados e o diagnóstico de insuficiência cardíaca foi escolhido para ser modelado em um sistema especialista.

Para as modelagens qualitativa e quantitativa, foi utilizado o auxílio de especialistas médicos durante a construção do sistema. Tal escolha foi feita devido à inexistência de uma base de dados que pudesse ser empregada para o trabalho, assim como a consideração que a obtenção de uma base de dados estaria fora do escopo do trabalho. Dessa forma, o esforço foi concentrado na colaboração com especialistas médicos e na construção de ferramentas computacionais que pudessem auxiliar em trabalhos similares.

A avaliação também foi feita com o auxílio de especialistas, através de casos de uso para o sistema e de avaliações qualitativas.

Pretende-se, inicialmente, utilizar o modelo aqui construído com fins didáticos, em especial no ensino de conceitos de raciocínio probabilístico para médicos. Posteriormente, espera-se que seja feita uma avaliação quanto à aplicabilidade em situações reais.

O Capítulo 2 apresenta uma pesquisa bibliográfica do tema, o Capítulo 3 apresenta a escolha do problema médico, o Capítulo 4 descreve o processo de modelagem qualitativa, o Capítulo 5 a obtenção das probabilidades da rede, o

Capítulo 6 apresenta a avaliação da rede, o Capítulo 7 introduz o software construído e o Capítulo 8 conclui o trabalho. Seguem-se ao Capítulo 8 a lista de referências e o glossário.

Capítulo 2

SISTEMAS ESPECIALISTAS

Um especialista é uma pessoa com conhecimentos e habilidades específicas capazes de resolver problemas em sua área de conhecimento. Sistemas especialistas são ferramentas computacionais cujo objetivo é simular as decisões que seriam tomadas por especialistas (COWELL et al, 1999).

Um sistema especialista, em geral, utiliza uma base de conhecimento específico à área considerada e codificada de alguma forma no sistema. Além disso, o sistema deve possuir um mecanismo de inferência, o qual gera resultados utilizando-se da base de conhecimento e de parâmetros inseridos pelo usuário do sistema. Normalmente, os dois componentes - a base de conhecimento e o mecanismo de inferência – podem ser isolados, de forma que se possa desenvolver cada uma das partes isoladamente.

2.1 Sistemas especialistas aplicados à medicina

A construção de sistemas especialistas na área médica apresenta diversos desafios. Entre os quais pode-se destacar a apresentação aos médicos dos métodos utilizados, de forma que estes possam entender o funcionamento dos sistemas construídos e, por conseguinte, julgar com mais lucidez o desempenho dos sistemas. E, em um estágio posterior à construção, uma das maiores dificuldades é promover o uso dos sistemas durante a prática cotidiana. A utilização dos sistemas deve ser a mais simples possível, de modo que o atendimento médico não sofra uma inconveniente interrupção devido ao uso do sistema especialista. O entendimento e a superação destes desafios são alguns dos principais indicadores de sucesso dos sistemas especialistas. Uma aplicação que utiliza técnicas de inteligência artificial são os desfibriladores elétricos. Estes aparelhos contêm rotinas inteligentes, de modo que podem ser utilizados por pessoas sem treinamento em para-medicina no atendimento emergencial a pessoas com paradas cardíacas súbitas.

Ao longo dos anos foram desenvolvidos diversos sistemas especialistas no

campo da decisão médica (BEINLICH et al, 1989); (DIÉZ et al, 1997). O nível de sucesso destes sistemas foi altamente variado, tanto sob os aspectos da qualidade das respostas fornecidas como sob o ponto de vista da implantação na prática cotidiana.

A qualidade das respostas do sistema depende principalmente do esforço e conhecimento empregados na construção do mesmo. No entanto, observa-se que os sistemas de auxílio à decisão mais integrados aos sistemas de informação hospitalares (WETTER, 2002) têm uma maior chance de serem usados pelos médicos. Alguns dos exemplos de sistemas especialistas já construídos ou em desenvolvimento são apresentados a seguir.

- Mycin (BUCHANAN; SHORTLIFE, 1984).

Um dos mais relevantes sistemas especialistas aplicados à decisão médica é o Mycin, um programa de computador interativo destinado ao diagnóstico de doenças infecciosas, que também prescreve terapias anti-microbiais. Este sistema também demonstrou o conceito de separação entre a base de conhecimento e o mecanismo de diagnóstico, este baseado em um sistema de regras. Durante testes controlados, o sistema alcançou um grau de acerto similar ao de médicos especializados na área e, apesar de não ter sido utilizado rotineiramente na prática, exerceu grande influência no direcionamento da pesquisa em sistemas especialistas destinados ao auxílio à decisão médica.

- HELP System (KUPERMAN; GARDNER; PRYOR, 1991).

Sistema construído no LDS Hospital em Salt Lake, Estados Unidos, que armazena informações dos pacientes do hospital e utiliza estas informações tanto do ponto de vista gerencial como também no auxílio à tomada de decisão. Inicialmente foi concebido para ser usado no laboratório de cateterização cardíaca e na unidade de terapia intensiva pós-operatória. Posteriormente, o sistema foi expandido para atender a diversas áreas hospitalares como radiologia, enfermagem, farmácia e laboratórios. A maior integração com diversas áreas hospitalares permitiu que o HELP System fosse mais bem aceito pelos médicos e mostrou que o uso de ferramentas de auxílio à tomada de decisão pode ser benéfico no tratamento de pacientes.

- TraumAID (RYMON, 1993).

O TraumAID é um sistema desenvolvido para auxiliar no diagnóstico e

tratamento de traumas (causados por armas de fogo e perfurações) no peito e abdômen. Extensões criadas posteriormente adicionaram a capacidade de lidar-se com outros tipos de emergências médicas. Em sua última versão, o sistema utiliza a linguagem de programação LISP, sendo baseado em um conjunto de expressões simbólicas que fornecem as sugestões de diagnóstico e plano de tratamento para os casos apresentados.

- SETH (DARMONI et al, 1995).

Sistema especialista com o objetivo de fornecer conselhos a respeito do tratamento e monitoração de envenenamento por drogas. O raciocínio executado pelo sistema tenta simular a linha de pensamento utilizada por médicos reais. O conhecimento armazenado consiste de termos, requisições, regras e descrições, todos relacionados ao problema de envenenamento por drogas. O mecanismo de inferência utiliza regras, apresentadas na forma de expressões lógicas, para obter respostas partindo-se das hipóteses inseridas no sistema.

- Heart Disease Program (HEART DISEASE PROGRAM, 2004).

Projeto em desenvolvimento com o objetivo de proporcionar diagnósticos e sugestões de tratamento de doenças cardíacas, focado em disfunções hemodinâmicas, utilizando-se de raciocínio probabilístico e máquina de estados modelando as causas e efeitos de disfunções hemodinâmicas.

2.2 Técnicas para construção de sistemas especialistas

O desenvolvimento de sistemas especialistas requer a aplicação de uma técnica que possa representar o conhecimento pré-existente no domínio em que os sistemas serão usados. Este conhecimento pode existir em informações bibliográficas e experiência de profissionais.

Existem diversas técnicas utilizadas na construção de sistemas especialistas (WINSTON, 1992), sendo que algumas das mais utilizadas são apresentadas a seguir.

2.2.1 Árvores de decisão

Árvores de decisão (WINSTON, 1992) baseiam-se na construção de caminhos que podem ser seguidos com o objetivo final de obter-se uma solução. Esta

técnica tem como vantagem a facilidade de uso e a não-obrigatoriedade da presença de recursos computacionais, visto que pode ser apresentada na forma de cartões ou similares. Tem como principais desvantagens a falta de flexibilidade, visto que somente pode chegar-se a um nó final caso tenham-se todos os dados anteriores, e a suscetibilidade a erros graves caso uma única decisão esteja errada, especialmente se tal decisão for feita em um estágio inicial do caminho da árvore.

2.2.2 Sistemas de produção

Sistemas de produção (WINSTON, 1992) utilizam regras lógicas, manipulando símbolos a fim de obterem-se conclusões. As regras apresentam-se na forma “se A_1, A_2, A_n então B ” que, combinadas com algoritmos de inferência, executam inferências simbólicas nos casos apresentados ao sistema.

Diferentemente de árvores de decisão, os sistemas de produção fornecem um mecanismo prático em que novas regras podem ser adicionadas a sistemas em uso e também não é necessário que as regras do sistema sejam utilizadas em uma ordem pré-determinada.

Uma limitação dos sistemas de produção é que não existe um mecanismo automático que possibilite indicar a falta de uma informação, ou informações incompletas. Por exemplo, para uma variável A , seriam necessárias três regras indicando cada um dos casos, A , \bar{A} e A desconhecido. Isso pode fazer com que o número de regras necessário seja demasiadamente alto, dificultando a representação e compreensão do raciocínio utilizado.

2.2.3 Redes neurais

Redes neurais (FAUSETT, 1994), em sua forma mais comum (*Multilayer perceptrons*), são compostas de diversas unidades de processamento divididos em camadas, onde o valor calculado em cada unidade de processamento depende das entradas recebidas e dos pesos atribuídos a cada possível valor das unidades.

Uma das camadas contém as entradas do problema sendo analisado, outra camada as saídas do problema, e uma ou mais camadas contém unidades ocultas. O número de camadas ocultas e de unidades nestas camadas normalmente é determinado experimentalmente, escolhendo-se o valor que resulte em uma rede com

os melhores resultados possíveis. Uma função de ativação em cada unidade determina o estado das unidades ligadas a ela.

A obtenção dos pesos e da função de ativação é feita através de um algoritmo de aprendizado, entre os quais o mais conhecido é denominado *back-propagation*. Este algoritmo é executado em dois passos. No 1º. passo, as saídas e os erros na saída da rede são calculados. No 2º. passo, os erros na saída são utilizados para modificar os pesos na saída, então os erros nas unidades ocultas são calculados, propagando-se os erros nas saídas através dos pesos, e os pesos nas unidades ocultas calculados utilizando-se destes últimos valores.

Outros modelos de redes neurais podem utilizar estruturas e algoritmos diferentes, existindo alguns modelos que integram conceitos de probabilidade ou lógica.

2.2.4 Redes Bayesianas

Uma rede Bayesiana é um modelo matemático baseado em nós e arcos que representam, respectivamente, as variáveis de um universo $U=(A_1, A_2, \dots, A_n)$ e as dependências entre estas. A direção dos arcos, em geral, representa relações de causa-consequência entre as variáveis do domínio médico modelado. Por exemplo, se houver um arco indo de um nó A para um nó B , assume-se que o nó A representa uma causa de B e adota-se como nomenclatura que A é um dos pais de B ; analogamente, B é um dos filhos de A . Associado ao grafo, existe uma distribuição de probabilidades. As redes Bayesianas adotam uma representação compacta onde são definidas somente as probabilidades condicionais de cada nó em relação aos seus pais. Redes Bayesianas obedecem à condição de Markov: não existe uma relação de dependência direta entre quaisquer dois nós a não ser que exista um arco entre eles na rede. A distribuição de probabilidade correspondente à rede é calculada a partir das probabilidades condicionais:

$$P(U) = P(A_1, A_2, \dots, A_n) = \prod_{i=1}^n P(A_i | pa(A_i)),$$

onde $P(U)$ é a probabilidade conjunta para a rede, $pa(A_i)$ são os pais do nó A_i e $P(A_i | pa(A_i))$ são as probabilidades condicionais de A_i em relação aos seus pais.

Cada nó possui um número finito, maior ou igual a dois, de categorias. As

categorias, também comumente denominadas estados, representam os possíveis valores da variável representada pelo nó.

Um nó é *observado* quando há conhecimento sobre o estado da variável que representa o nó. Os nós observados têm grande importância no processo de inferência realizado na rede, pois, juntamente com as probabilidades condicionais especificadas para a rede, determinam as probabilidades dos nós não observados. As probabilidades condicionais da rede após a inferência são dadas por:

$$P(A_i | E), A_i \in U,$$

ou seja, as probabilidades de cada nó, dados o conjunto de nós observados (E).

Em aplicações práticas, os valores da probabilidade conjunta $P(U)$ não são muito significativos na análise do problema modelado. De maior interesse são as probabilidades marginais de cada nó não observado. Utilizando-se a probabilidade conjunta, podem-se obter as probabilidades marginais somando-se, para cada estado de cada variável, todas as probabilidades em que a variável encontra-se no estado desejado. Em seguida, normalizam-se as probabilidades obtidas e obtém-se as probabilidades marginais para cada nó. Esses conceitos são ilustrados a seguir através de um exemplo.

As Figuras 2.1 e 2.2 mostram uma rede com três nós antes e após a inserção de uma observação no nó B :

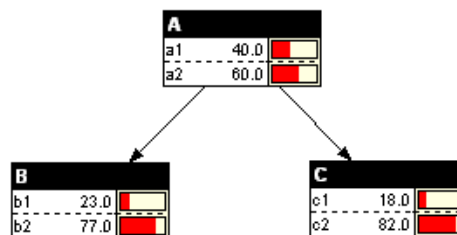


Figura 2.1: Rede antes da observação.

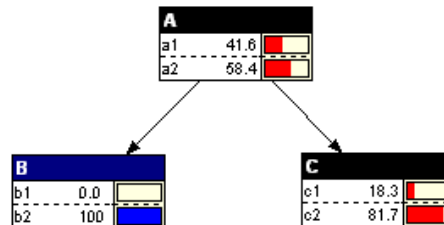


Figura 2.2: Rede após observação.

As tabelas 2.1, 2.2 e 2.3 apresentam as tabelas de probabilidades para a rede acima:

$P(a_1) = 0.4$	$P(a_2) = 0.6$
----------------	----------------

Tabela 2.1: Valores de $P(A)$.

$P(b_1 a_1) = 0.2$	$P(b_2 a_1) = 0.8$
$P(b_1 a_2) = 0.25$	$P(b_2 a_2) = 0.75$

Tabela 2.2: Valores de $P(B|A)$.

$P(c_1 a_1) = 0.3$	$P(c_2 a_1) = 0.7$
$P(c_1 a_2) = 0.1$	$P(c_2 a_2) = 0.9$

Tabela 2.3: Valores de $P(C|A)$.

A partir das tabelas acima, obtém-se a tabela conjunta $P(A, B, C)$, contendo oito valores, dados por $P(A, B, C) = P(A) * P(B|A) * P(C|A)$:

$P(a_1, b_1, c_1) = 0.024$	$P(a_1, b_2, c_1) = 0.096$	$P(a_2, b_1, c_1) = 0.015$	$P(a_2, b_2, c_1) = 0.045$
$P(a_1, b_1, c_2) = 0.056$	$P(a_1, b_2, c_2) = 0.224$	$P(a_2, b_1, c_2) = 0.135$	$P(a_2, b_2, c_2) = 0.405$

Tabela 2.4: Valores de $P(A, B, C)$.

Para o caso em que o nó B é observado como $B=b_2$, realiza-se um processo de inferência para os nós A e C . Para $P(a_1|B=b_2)$, por exemplo, realiza-se o seguinte cálculo:

$$P(a_1 | B = b_2) = \frac{(P(a_1, b_2, c_1) + P(a_1, b_2, c_2))}{(P(a_1, b_2, c_1) + P(a_1, b_2, c_2) + P(a_2, b_2, c_1) + P(a_2, b_2, c_2))}$$

Como é observado que $\{B=b_2\}$, todas as probabilidades em $P(A, B, C)$ contendo b_1 não são utilizadas. Realizando-se o processo acima para todos os estados de A e C , obtêm-se as probabilidades condicionais para cada nó, exibidas na tabela 2.5:

$P(a_1 B = b_2) = 0.416$	$P(c_1 B = b_2) = 0.183$
$P(a_2 B = b_2) = 0.584$	$P(c_2 B = b_2) = 0.817$

Tabela 2.5: Probabilidades condicionais para cada nó.

O processo de inferência realizado acima é a base da utilidade das redes Bayesianas. Existem algoritmos eficientes em tempo e espaço, que não exigem o cálculo de toda a tabela conjunta (JENSEN, 2001).

2.2.5 Utilização de diversas técnicas

É também possível a utilização de diversas técnicas em um mesmo problema. O uso de diversas técnicas pode ser útil em situações em que sistemas especialistas podem necessitar de recursos computacionais ou de tempo muito altos. Nessas situações, pode ser interessante a presença de sistemas especialistas de diferentes níveis de complexidade. Os sistemas mais simples seriam utilizados inicialmente e, caso necessário, os mais complexos funcionariam como opiniões arbitrativas.

Como exemplo de utilização de mais de uma técnica pode ser apresentada uma árvore de decisão seguida por uma rede Bayesiana. As saídas finais de uma árvore de decisão, usada no diagnóstico de uma determinada doença, poderiam ser SIM, NÃO e INDETERMINADO. No caso em que a saída obtida for INDETERMINADO, seria utilizada a rede Bayesiana como uma forma de se obter uma resposta mais precisa.

2.3 Técnica utilizada no trabalho

Neste trabalho, foi construída uma rede Bayesiana para atuar como sistema de auxílio à decisão médica. Os motivos que levaram a escolha da técnica de redes

Bayesianas foram os seguintes:

- A possibilidade de trabalhar com incertezas, pois em problemas médicos muitas vezes existem condições em que não se tem certeza sobre o diagnóstico correto ou sobre a melhor forma de tratamento para uma determinada doença.
- A construção de um sistema baseado na opinião de especialistas pode ser feita utilizando-se redes Bayesianas. Isto é necessário no caso em que não exista uma base de dados de aprendizado ou esta não forneça resultados satisfatórios.
- Facilidade de apresentação do funcionamento da rede aos médicos envolvidos, uma vez que a estrutura da rede criada representa relações causais entre as variáveis envolvidas. Esse fator possibilita aos especialistas envolvidos ter uma visão mais intuitiva do funcionamento do sistema.

Capítulo 3

ESCOLHA DO PROBLEMA MÉDICO

As duas principais questões a serem respondidas na fase inicial da construção de um sistema especialista de auxílio à decisão médica são a técnica utilizada para a construção e o problema médico a ser modelado. A técnica utilizada, introduzida anteriormente no Capítulo 2, foi uma rede Bayesiana. A escolha do problema médico é necessária devido à impossibilidade prática de se construir um único sistema que possa ser utilizado em todos os problemas médicos existentes.

Com o objetivo de se escolher o problema médico para a rede Bayesiana, foram feitas duas reuniões, contando-se com a participação de médicos do HU-USP, dedicadas a apresentar o escopo do trabalho, objetivo e processo de construção da rede. Foi solicitado aos cerca de quinze médicos presentes que apresentassem problemas médicos de seu conhecimento, como diagnóstico de doenças cardíacas, planejamento de tratamento para pacientes com doenças neurológicas degenerativas e organização do atendimento em pediatria.

As apresentações também fizeram uma introdução à teoria de redes Bayesianas e suas aplicações práticas. A importância de que os médicos tenham noções sobre as ferramentas matemáticas e computacionais utilizadas é de coordenar melhor o fornecimento de conhecimentos do domínio médico, a fim que os médicos envolvidos possam focar-se nos aspectos do problema sendo analisado que mais contribuam para a construção do sistema especialista.

3.1 Problemas médicos considerados

Os seguintes problemas foram propostos dos médicos presentes. Um deles foi escolhido para ser modelado em um sistema especialista baseado em redes Bayesianas; a escolha do problema levou em consideração aspectos práticos e de utilidade apresentados na Seção 3.2.

3.1.1 Diagnóstico em pacientes admitidos em UTIs

Este problema referia-se ao diagnóstico em pacientes admitidos em UTIs

(Unidades de Terapia Intensiva) em estado de choque. Existem várias causas possíveis de um choque, tais como hipovolemia, problemas cardíacos e sepse. Um sinal comum é uma baixa pressão arterial, e outros sinais que podem ser observados são febre, dificuldade respiratória e edemas.

Como muitos dos sinais são similares, independentemente da causa do choque, existe uma dificuldade em obter-se o diagnóstico correto. No entanto, para cada possível causa, existe um tratamento diferente, assim sendo, uma incorreta identificação pode levar a resultados fatais. O sistema especialista teria como objetivo indicar quais são as causas mais prováveis para o estado de choque, dados os sinais e as características do paciente.

3.1.2 Tratamento de pacientes com insuficiência renal

Existem três opções no tratamento de pacientes com insuficiência renal. O paciente pode receber tratamento paliativo até sua morte, utilizar-se de um sistema de purificação (hemodiálise) ou receber transplante. As várias opções estão associadas com diferentes expectativas e qualidade de vida, assim como custos de tratamento. O problema de decisão consistiria em escolher o tratamento que tenha o melhor custo/benefício no tratamento da insuficiência renal.

3.1.3 Operação em pacientes com neoplasias benignas da mandíbula

Este problema referia-se à decisão se pacientes idosos com neoplasias benignas da mandíbula devem ser operados. A cirurgia realizada tem como principal objetivo melhorar a qualidade de vida do paciente, no entanto devem ser considerados os riscos envolvidos ao submeter-se uma pessoa idosa a uma cirurgia, assim como a possibilidade de que a melhora não seja significativa. O sistema teria como objetivo separar os pacientes em que a operação seria benéfica daqueles em que seria mais recomendado um tratamento não-invasivo.

3.1.4 Cirurgia para retirada de metástases

No tratamento de pacientes com tumores malignos no pulmão e metástases em outros órgãos, existe o problema relacionado à decisão se deve ou não ser feita

cirurgia com o objetivo de removerem-se as metástases. Uma alternativa à cirurgia é o tratamento com quimioterapia, com o objetivo de reduzir o volume de células cancerígenas. Ambas as alternativas contém riscos e limitações, tais como os efeitos colaterais da quimioterapia e os riscos da cirurgia. O sistema seria destinado a auxiliar na escolha do procedimento mais recomendado.

3.1.5 Diagnóstico de insuficiência cardíaca congestiva causada por insuficiência coronária

O problema tratado aqui se referiria à identificação de insuficiência cardíaca congestiva causada por insuficiência coronária. Além da insuficiência coronária, existem outras possíveis causas, como consumo excessivo de álcool e doença de Chagas. Como os sintomas são similares, torna-se difícil isolar a insuficiência coronária como causa e proceder-se ao seu tratamento.

3.1.6 Diagnóstico de mal de Alzheimer

O sistema de decisão proposto para este problema deveria auxiliar a distinguir a presença de mal de Alzheimer entre outras doenças degenerativas e o envelhecimento normal. O mal de Alzheimer tem um grande impacto na vida do paciente, que sofre com disfunções em sua memória recente, expressão verbal, percepção e funções motoras. O diagnóstico correto do mal de Alzheimer abre possibilidades de tratamento, apesar de que os tratamentos disponíveis são limitados e de alto custo.

3.1.7 Diagnóstico de doenças cardíacas em pacientes com dificuldades respiratórias

Este problema de diagnóstico compreenderia pacientes que se apresentam em postos de saúde com dificuldades respiratórias. As dificuldades respiratórias podem ter uma causa cardíaca, uma causa pulmonária ou ainda podem estar relacionados a outros problemas como ansiedade e obesidade. A falha em identificar-se uma causa cardíaca pode resultar em piora significativa na saúde do paciente e até sua morte. Entretanto, sem os testes de diagnóstico apropriados é difícil identificar doenças

cardíacas nos pacientes, e nos postos de saúde os equipamentos adequados não estão disponíveis. Por esse motivo, a maior parte dos pacientes com dificuldades respiratórias que se apresentam em postos de saúde é encaminhada a hospitais, apesar de que apenas uma pequena parcela destes realmente tenha doenças cardíacas.

3.2 Escolha do problema médico

A escolha do problema médico foi feita a partir de considerações sobre a praticidade de construir-se um sistema especialista modelando o problema e também sobre os possíveis benefícios que um sistema traria à área médica envolvida. Os critérios adotados são descritos a seguir:

3.2.1 Critérios relativos ao problema médico

a) Nível de complexidade do problema médico.

Como esta foi a primeira experiência na construção de um sistema de auxílio à decisão médica com colaboração entre a Laboratório de Tomada de Decisão da Escola Politécnica da USP e o Hospital Universitário-USP, um problema de complexidade limitada seria o mais adequado.

b) Nível de especialização dos médicos que atualmente lidam com o problema.

Um dos pontos considerados foi o possível benefício que um sistema de auxílio à decisão traria aos médicos usuários do sistema. Um médico especializado que atua em certa área tem menor necessidade de dispor de um sistema especialista do que outro que fornece atendimento inicial a pacientes, em geral em situações em que o paciente ainda não tem uma noção exata de sua enfermidade.

Em termos práticos, isso significa que médicos trabalhando em postos de saúde teriam um ganho maior se dispusessem de um sistema especialista do que médicos atuando em clínicas especializadas ou hospitais.

c) Possível benefício que o sistema de decisão traria ao problema.

Este item considerou os possíveis benefícios em termos financeiros e de saúde ganhos com um sistema de auxílio à decisão. Os ganhos podem tanto se referir a anos de vida, melhora de qualidade de vida, ou ganhos monetários obtidos com a

escolha de melhores procedimentos médicos.

3.2.2 Critérios relativos ao médico especialista que auxiliará na construção do sistema

a) Disponibilidade do médico para entrevistas durante a construção do sistema.

Dado que a construção do sistema necessitaria de reuniões periódicas, foi preciso considerar a disponibilidade do especialista para reuniões durante a modelagem qualitativa e quantitativa do sistema.

b) Conhecimento ou interesse do médico em sistemas de auxílio à decisão.

Este item analisou se o especialista conhecia ou teria interesse em conhecer sistemas de auxílio à decisão, o que facilitaria a construção do sistema.

3.2.3 Problema médico escolhido

O problema escolhido foi “Diagnóstico de doenças cardíacas em pacientes com dificuldades respiratórias”, e o principal critério de decisão foi o fato de que este problema poderia trazer o maior benefício à área médica em questão. Esta conclusão foi obtida a partir de dois fatos. Primeiramente, o problema aplica-se a diagnósticos realizados em postos de saúde, onde existem mais limitações de equipamentos e médicos especializados em comparação a hospitais. Em segundo, os benefícios seriam maiores por ser um problema médico de grande prevalência na população.

Outros fatores que também levaram a escolha deste problema foram um nível de complexidade limitado, visto que se trata de uma situação específica e cuja literatura médica é abundante; e a disponibilidade do especialista em participar da construção do sistema.

Capítulo 4

MODELO QUALITATIVO DA REDE BAYESIANA

Informações relativas ao sistema cardíaco e às doenças cardíacas são essenciais na construção de um sistema especialista destinado ao auxílio à tomada de decisão nessa área médica. Dessa forma, juntamente com a obtenção de dados bibliográficos, foram realizadas reuniões com a participação de um médico especialista, que auxiliou na construção da estrutura da rede e sua posterior quantificação. Foram discutidos aspectos do domínio médico, com o intuito de estabelecer um vocabulário comum entre todos os envolvidos, o que seria útil nas próximas fases. Os assuntos discutidos foram características da insuficiência cardíaca, progressão, conseqüências, sintomas, tratamento, incidência e testes de diagnóstico.

4.1 Processo para criação do modelo da rede

A obtenção do modelo estrutural da rede, usando-se o conhecimento de médicos e fontes bibliográficas, buscou identificar quais informações relativas ao problema médico poderiam ser representadas como variáveis na rede, assim como as relações causais entre estas variáveis. Para a realização desta tarefa foram obtidas informações médicas específicas ao problema que, posteriormente, foram colocadas na versão inicial da estrutura da rede. O refinamento iterativo da estrutura inicial, que envolveu a inserção e remoção de nós e arcos, entre outras modificações, levou à estrutura final para quantificação.

4.1.1 Métodos para refinamento da estrutura da rede

A modificação da rede, visando obter um modelo que representasse melhor o funcionamento do sistema cardiovascular e que fosse de mais fácil compreensão aos usuários do sistema, foi feita utilizando-se dos seguintes métodos:

- Inserção de nós que não haviam sido considerados anteriormente.
- Remoção de nós por serem desnecessários ou de difícil arranjo no restante da

rede.

- Inserção ou remoção de arcos de forma a representar as relações causais existentes no problema médico.
- Fusão de nós, isto é, nós mais específicos foram trocados por nós mais genéricos. Por exemplo, nós representando diferentes doenças cardíacas foram trocados por um único nó que representaria doenças cardíacas de forma genérica.
- Divisão de nós. O processo oposto à fusão de nós, isto é, nós genéricos foram trocados por nós mais específicos.
- Alteração das categorias dos nós.

4.1.2 Limitações na estrutura da rede

Alguns dos fatores relativos ao problema médico não puderam ser colocados na rede. Os motivos que levaram a essa limitação são:

- Necessidade de limitar o tamanho (número de nós e arcos) da rede. Uma rede com um número excessivamente alto de nós e arcos dificultaria a quantificação de suas probabilidades. Além disso, o uso da rede poderia tornar-se mais complexo devido ao grande número de nós, já que o usuário do sistema teria sempre que verificar quantos e quais nós devem ser observados.
- Dificuldade na definição de relações causais. Alguns nós, mesmo que fossem relevantes ao problema médico, não poderiam ser facilmente inseridos na rede pela dificuldade em definir os arcos que entrariam ou sairiam dos nós, isto é, os filhos e pais dos nós.
- Dificuldade na quantificação das probabilidades. A presença de um nó influiria diretamente na especificação das probabilidades condicionais de seus nós filhos, e o próprio nó precisaria ter suas probabilidades condicionais especificadas de acordo com seus pais. Dependendo do nível de conhecimento do problema médico por parte do especialista e da disponibilidade de informações bibliográficas, poderia ser difícil ou impossível a obtenção dessas probabilidades.

4.2 Características da insuficiência cardíaca

As seguintes informações foram obtidas, combinando-se os dados bibliográficos sobre insuficiência cardíaca e o conhecimento repassado pelo especialista:

4.2.1 Definição de insuficiência cardíaca

A insuficiência cardíaca ocorre quando há uma incapacidade do músculo cardíaco em bombear sangue em quantidade adequada para atender às necessidades metabólicas do corpo.

4.2.2 Sintomas fisiológicos observados

Em pacientes com insuficiência cardíaca, algumas características físicas podem ser observadas, sendo que algumas das características podem ser constatadas ao exame físico pelo médico, enquanto outras requerem exames através de equipamentos auxiliares.

- Dispnéia.

A dispnéia, ou falta de ar, é causada pelo acúmulo de líquido nos pulmões, diminuindo a eficiência do sistema respiratório. O líquido se acumula devido à maior pressão apresentada nos pulmões, devido à deficiência no lado esquerdo do coração.

- Edema nos membros inferiores.

Os membros inferiores (pés e pernas) podem sofrer inchamento caso o lado direito do coração não consiga realizar a circulação de sangue venoso de maneira eficiente.

- Hepatomegalia.

Aumento do volume do fígado. Os problemas hepáticos podem ser tanto anteriores à ocorrência de doenças cardíacas, sendo causados, por exemplo, pelo consumo excessivo de álcool, ou posteriores, neste caso devido à transmissão retrógrada de pressão elevada através da veia cava inferior e das veias hepáticas, produzindo congestão hepática.

- Cardiomegalia.

Aumento da área do coração, causada por infarto no miocárdio, ou devido à

insuficiência cardíaca. Normalmente, quando o coração não consegue mais executar suas funções apropriadamente, a parede do coração engrossa para aumentar a força necessária para bombear o sangue na aorta. E quando tal engrossamento não é mais suficiente como forma de compensação da deficiência do bombeamento, ocorre o aumento da área do coração.

- Cansaço.

Observa-se um visível cansaço em pacientes com insuficiência cardíaca.

- Desnutrição.

O paciente com insuficiência cardíaca pode sentir falta de apetite podendo resultar em desnutrição.

- Sopro cardíaco.

Provocado pelo estreitamento das válvulas, provocando anomalias na circulação do sangue.

4.2.3 Fatores de risco relacionados à doença

A ocorrência de insuficiência cardíaca está relacionada a diversos fatores de comportamento e histórico do paciente. E a combinação destes fatores é um dos principais indicadores da presença de insuficiência cardíaca.

- Falta de condicionamento físico.

O sedentarismo aumenta a probabilidade de ocorrência de insuficiência cardíaca.

- Idade.

O aumento da idade aumenta as chances de insuficiência cardíaca, sendo que no sexo masculino há aumento acentuado de risco a partir dos 40 anos e no sexo feminino a partir dos 50 anos.

- Obesidade.

Uma quantidade elevada de gordura dificulta a circulação sanguínea sendo, portanto, um fator de risco que pode elevar a probabilidade de ocorrência de insuficiência cardíaca.

- Diabetes *melitus*.

A influência causada por diabetes no risco de insuficiência cardíaca pode ser quantificada a partir de três fatores:

- complicações vasculares devido a diabetes.
- uso ou não de insulina.
- tempo com a doença.
- Hipertensão arterial.

A pressão alta pode levar ao infarto, pois leva a um maior esforço do sistema circulatório e, com o passar dos anos, ao desgaste excessivo. Existem duas situações de desgaste, uma é devida ao aumento da pressão intra-cavitária no coração, exigindo maior esforço para a contração cardíaca e podendo resultar em falência do músculo cardíaco. Outra é a maior pressão nos vasos, causando lesões e, por conseguinte, o acúmulo de plaquetas.

- Fumo.

Pode causar alterações no ritmo cardíaco e diminuição de oxigênio no sangue.

- Álcool.

O consumo excessivo de álcool lesa o músculo cardíaco, e este terá partes substituídas por fibras. Diferentemente do músculo, as fibras não são capazes de realizar contração.

- Infarto no miocárdio.

A contração do músculo do coração requer energia, obtida através de reações químicas consumindo glicose e oxigênio. Quando existe o entupimento de vasos levando sangue ao coração, ocorre uma lesão nas organelas das células do músculo e, conseqüentemente, morte da área afetada do músculo. Tal processo é denominado infarto.

O entupimento dos vasos é causado, principalmente, pelo acúmulo de plaquetas na luz dos vasos. As plaquetas acumulam-se em resposta a lesões causadas por excesso de gordura no sangue. O infarto pode causar um desgaste do músculo cardíaco, no decorrer dos anos.

A principal causa de insuficiência cardíaca é a ocorrência de infartos.

- Colesterol.

Causa lesões nas paredes dos vasos sanguíneos e aumenta a ocorrência de infartos.

- Grupo racial.

Não é causa de insuficiência cardíaca, mas exerce influência na hipertensão e

obesidade, dado que alguns grupos raciais apresentam maior incidência destas características.

- Doença de Chagas.

Em resposta ao protozoário *Trypanosoma cruzi*, causador da doença de Chagas, o organismo humano reage produzindo anticorpos que migram para o coração e provocam arritmias cardíacas, alargamento do coração e substituição de partes do músculo por fibras. Portanto, apesar do parasita não afetar diretamente o coração, a sua presença leva à insuficiência cardíaca ao longo dos anos, ou mesmo à morte súbita.

4.2.4 Ferramentas de diagnóstico disponíveis

O diagnóstico preciso de insuficiência cardíaca normalmente é realizado por meio de ultra-som cardíaco. No entanto, equipamentos de ultra-som não são normalmente encontrados em postos de saúde. Por esse motivo, nessas localidades são utilizados meios mais simples e baratos para identificar-se pacientes com alto risco de insuficiência cardíaca, a fim de que seja feito o encaminhamento do paciente a locais mais adequados para seu diagnóstico e tratamento. Os meios utilizados para fazer a identificação de alto risco de insuficiência cardíaca são os seguintes.

- Histórico do paciente.

Se o paciente já sofreu um (ou mais) infarto(s) no miocárdio, aumentam-se as chances de insuficiência cardíaca. A dificuldade existente é que muitos infartos não são conhecidos pelos pacientes. A ocorrência de infartos pode ser verificada através de ECG ou ultra-som cardíaco.

- ECG (eletrocardiograma).

Um exame de ECG pode fornecer diversas informações a respeito da situação cardíaca do paciente, entre as quais:

- Sinais de sobrecarga no ventrículo esquerdo, causado pelo engrossamento da parede do coração.

- Arritmia cardíaca.

- Bloqueios cardíacos, provocados principalmente pela doença de Chagas.

- Infarto no miocárdio.

- Raios-X.

Visualização da área do coração, que pode ter sido aumentada por infarto ou doenças cardíacas.

- Frequência cardíaca.

A medição de frequência cardíaca pode ser utilizada como um mecanismo simplificado, na ausência de ECG.

- Medição de pressão arterial.

A hipertensão é uma característica frequentemente encontrada em pacientes com insuficiência cardíaca.

- Exame de sangue.

Determinação do nível de colesterol. Um alto nível de colesterol representa maiores riscos de infarto e, conseqüentemente, de insuficiência cardíaca.

4.2.5 Outras possibilidades de diagnóstico para pacientes com dificuldades respiratórias

Os pacientes que se apresentam em postos de saúde com dificuldades respiratórias podem na realidade ter outra doença, ou até mesmo nenhuma doença. A correta identificação destes pacientes tem como objetivo diminuir os custos do sistema de saúde, eliminando testes diagnósticos e tempo de atendimento que seriam mais bem apreciados por outros pacientes.

- Falta de ar psicogênica.

O paciente não apresenta nenhum problema de saúde, mas reclama de dificuldades respiratórias. Normalmente ocorre em pessoas jovens.

- Falta de condicionamento físico ou obesidade.

Um eventual esforço físico pode levar a dificuldades respiratórias, sem que a pessoa possua uma doença.

- Doenças pulmonares.

Um dos diagnósticos mais comuns para dificuldades respiratórias são doenças pulmonares, cujos principais sintomas são chiado no peito e tosse, e cujos principais fatores de risco são bronquite, histórico de doenças pulmonares e fumo.

4.3 Evolução dos modelos construídos

A construção da estrutura da rede foi feita de forma iterativa, com a construção de quatro modelos para a rede. O início do trabalho de construção deu-se após três reuniões com o especialista, utilizando-se anotações das reuniões e dados bibliográficos.

O primeiro modelo construído é mostrado na Figura 4.1. Este modelo contém também partes desconexas, como o nó *Idade*, que posteriormente foram integradas ao restante da rede. O principal objetivo deste modelo foi pré-selecionar quais seriam os nós da rede, utilizando-se como fonte os resultados das reuniões anteriores e dados bibliográficos, discutidos na Seção 4.2.

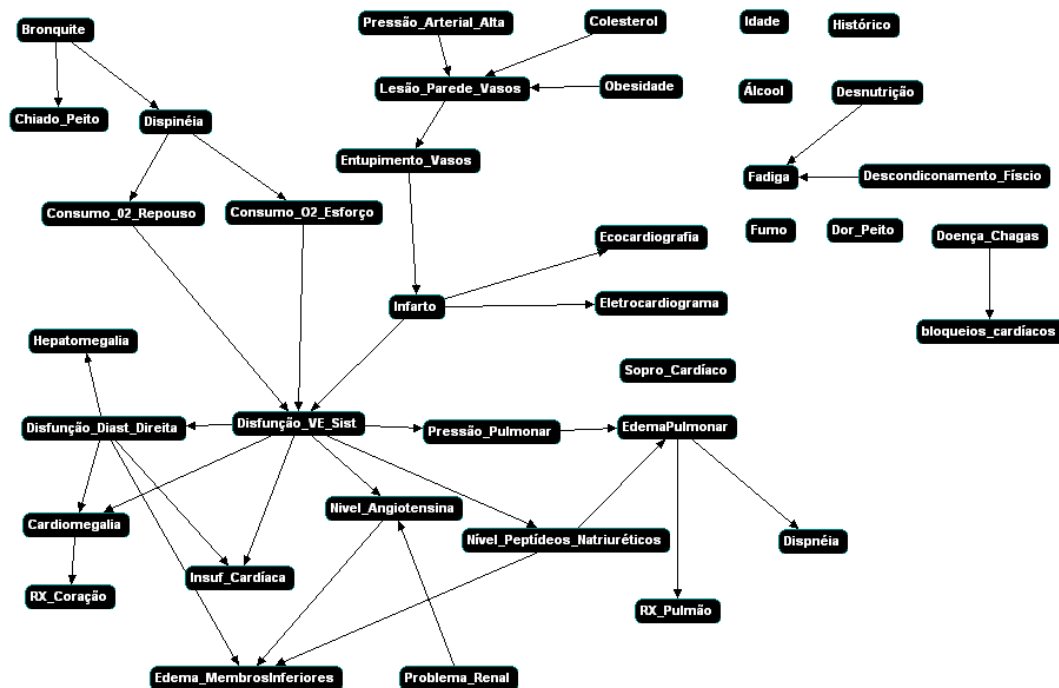


Figura 4.1: Primeiro modelo da rede.

A partir de interações com o médico especialista, foram realizadas algumas alterações, assim como a conexão de parte dos nós isolados ao restante da rede.

- Substituição dos nós *RX_Pulmão* e *RX_Coração* por *RX_Tórax*. Tanto o pulmão como o coração podem ser analisados pelo raio-X do tórax.
- Diferenciação entre as seguintes disfunções:
 1. Disfunção da função sistólica do ventrículo esquerdo (*Disfunção_VE_Sist*).
 2. Disfunção da função diastólica do ventrículo esquerdo (*Disfunção_VE_Diast*).
 3. Disfunção do ventrículo direito (*Disfunção_VD*).

A diferenciação entre as funções sistólica e diastólica do ventrículo direito não foi colocada por não ser uma prática comum na avaliação de pacientes.

- Eliminação do nó *Insuficiência_cardíaca*. Este nó foi substituído por outros que representam as disfunções nos ventrículos.
- Eliminação dos nós *Nível_Angiotensina* e *Problema_renal*. Estes nós não teriam utilidade prática no funcionamento da rede, pois não podem ser facilmente observados e também de difícil quantificação em relação às suas probabilidades.
- Atribuições de arcos entre as principais causas e efeitos relacionados às disfunções do coração, conforme apresentado no modelo da Figura 4.2.
- Alteração da posição do nó *Dispneia* de um nó causal inicial para um nó resultante de disfunção diastólica do ventrículo esquerdo.
- Inserção de um nó adicional (*Falência_miocárdio*) resultante de hipertensão arterial. Este nó tem a característica de causar disfunções no coração, mesmo na ausência de entupimento de vasos.
- Ligação do nó *Doença_Chagas* como causa de disfunção cardíaca.
- Eliminação do nó *Dispneia*, que se encontrava repetido.

Tais modificações levaram à criação do modelo na Figura 4.2:

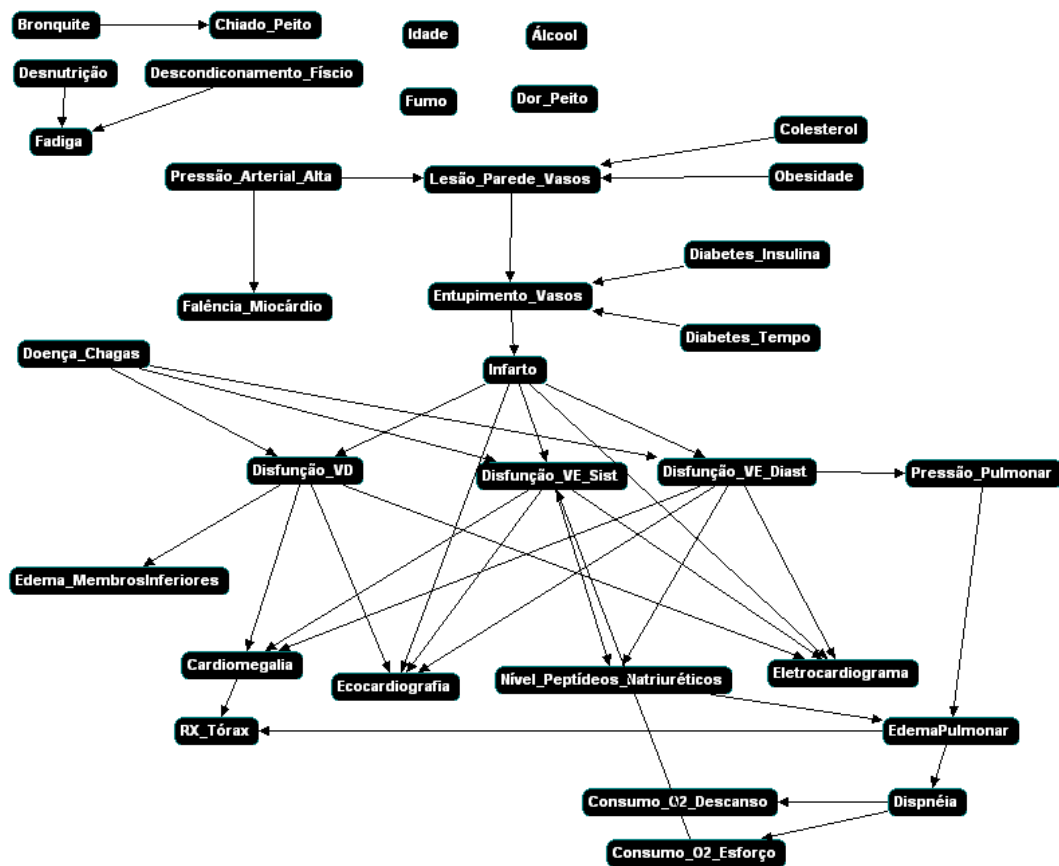


Figura 4.2: Segundo modelo da rede.

Uma nova iteração trouxe as seguintes modificações à rede:

- Os nós *Disfunção_VD*, *Disfunção_VE_Sist* e *Disfunção_VE_Diast* foram substituídos por um único nó denominado *Cardiomiopatia*. A intenção foi simplificar a compreensão por parte dos médicos usuários do sistema, que passarão a analisar apenas um nó representando o diagnóstico de interesse.
- A representação de doença nos vasos cardíacos foi trocada de

Lesão_Parede_Vasos e *Entupimento_Vasos* para *Arteriosclerose_Coronária*. Esse nó seria mais facilmente observado em uma situação de uso do sistema.

- Nós representando fatores de risco, como *Idade* e *Álcool*, foram conectados à estrutura da rede.
- Exames diagnósticos (*Eletrocardiograma*, *Ecocardiografia* e *Raio-X*) foram modificados de forma a diferenciar-se somente condições normais e alteradas.

Também neste momento iniciou-se a discussão sobre quais seriam as categorias que cada nó possuiria. De forma geral, foram escolhidos nós discretos e binários, exceto em casos em que fosse necessário fazer uma diferenciação maior. O principal fator que levou a essa escolha foi a simplificação durante a fase de quantificação da rede.

O terceiro modelo da rede obtida encontra-se na Figura 4.3:

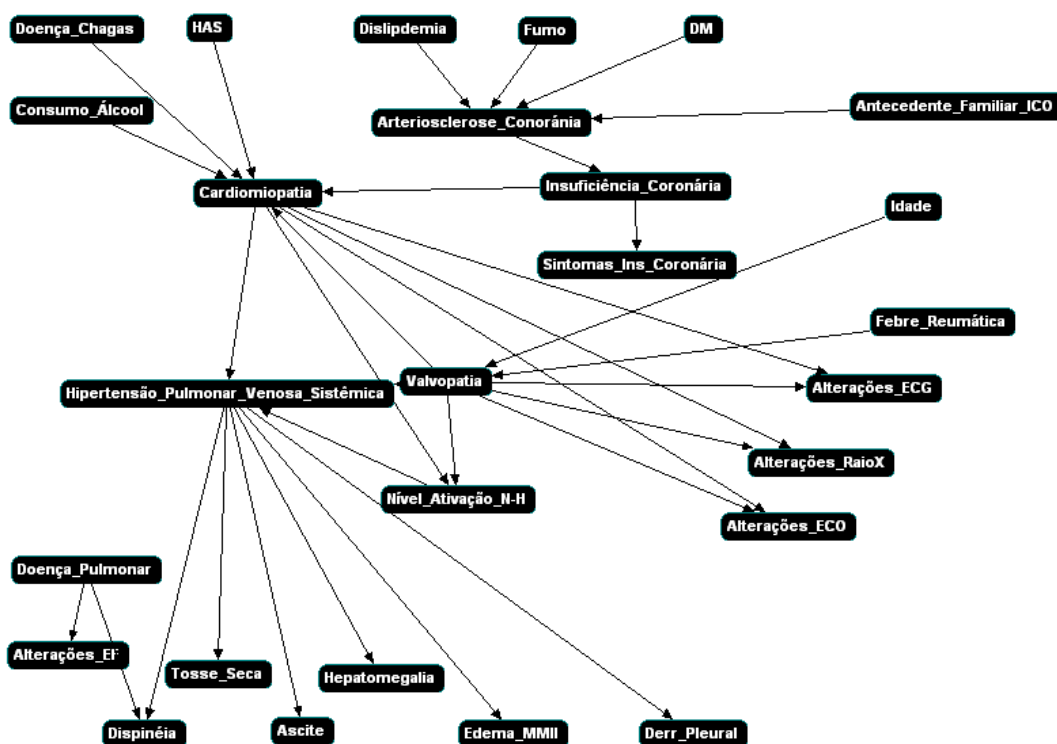


Figura 4.3: Terceiro modelo da rede.

Uma última iteração no modelo da rede levou à inclusão do nó *Doença_Arteriosclerótica_Vascular*, que representa a ocorrência de doenças circulatórias levando a problemas como derrame. Foi também efetuada uma alteração de nomenclatura, trocando-se o nome *Cardiomiopatia* por *Insuficiência_Cardíaca*. Estes dois nomes têm significados distintos, no entanto foi considerado que *Insuficiência_Cardíaca* representaria melhor o objetivo da rede. Demais alterações corresponderam somente a correções gramaticais nos nomes de alguns nós.

Em relação a categorias, para a maior parte dos nós foram definidas apenas duas: *Sim* e *Não*.

Para os seguintes nós, existem mais de duas categorias:

- *Idade*: 5 faixas de idade: <41, 41-55, 56-65, 66-75, >75 anos.
- *HAS* (hipertensão arterial sistêmica): *normal*, *normal-alta*, *hipertensão leve*, *hipertensão moderada* e *hipertensão elevada*.

A estrutura final da rede é apresentada a seguir:

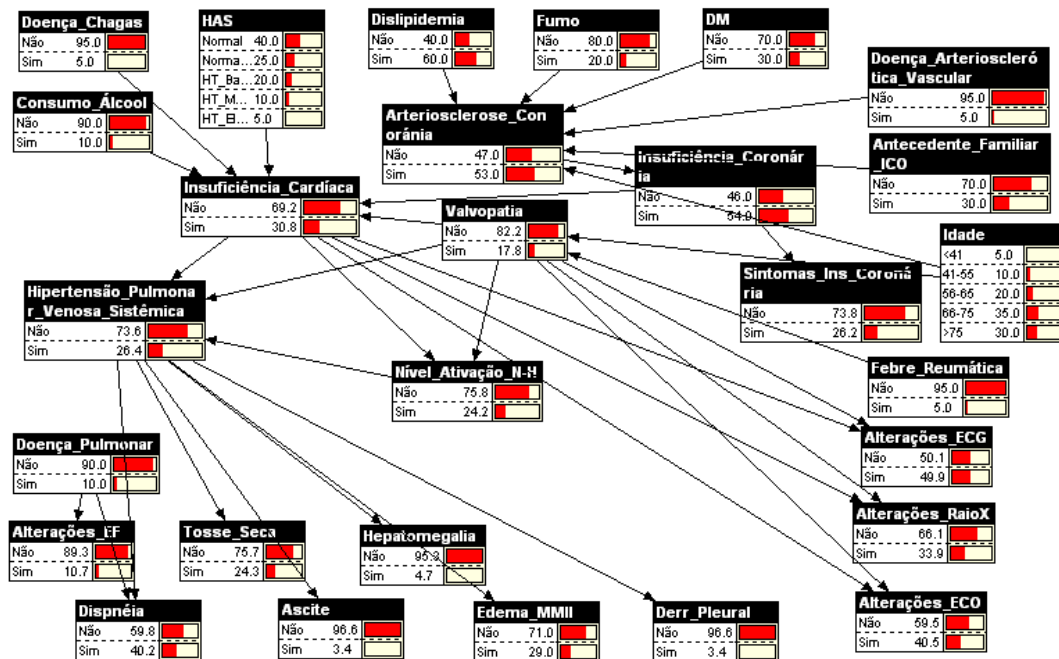


Figura 4.4: Modelo final da rede.

Neste modelo, os nós da rede podem ser divididos em 3 grupos:

1. Causas/fatores de risco – Variáveis que ativam os mecanismos fisiológicos.

- *Doença_Chagas* – doença de Chagas.
- *Dislipidemia* – dislipidemia.
- *Fumo* – hábito de fumar.
- *Idade* – idade do paciente.
- *HAS* – hipertensão arterial sistêmica.
- *Antecedente_Familiar_ICO* – antecedente familiar de insuficiência coronária.
- *Febre_Reumática* – febre reumática.
- *DM* – diabetes melitus.
- *Doença_Pulmonar* – doença pulmonar.
- *Consumo_Álcool* – consumo excessivo de bebidas alcoólicas.
- *Doença_Arteriosclerótica_Vascular* – doença arteriosclerótica vascular.

2. Mecanismos fisiológicos – Modelo do funcionamento das doenças cardíacas.

- *Valvopatia* – valvopatia.
- *Insuficiência_Coronária* – insuficiência coronária.
- *Nível_Ativação_N-H* – nível de ativação neuro-hormonal.
- *Hipertensão_Pulmonar_Venosa_Sistêmica* – hipertensão pulmonar venosa sistêmica.
- *Insuficiência_Cardiaca* – insuficiência cardíaca.
- *Arteriosclerose_Coronária* – arteriosclerose coronária.

3. Sintomas/exames – Manifestações físicas das doenças e resultados de exames.

- *Alterações_EF* – exame físico com resultado fora do normal.
- *Alterações_ECG* - eletrocardiograma com resultado fora do normal.
- *Alterações_RaioX* – raio-x com resultado fora do normal.
- *Alterações_ECO* – ecocardiografia com resultado fora do normal.

- *Sintomas_Ins_Coronária* – sintomas da insuficiência coronária.
- *Tosse_Seca* – tosse seca.
- *Ascite* – ascite.
- *Hepatomegalia* – hepatomegalia.
- *Edema_MMII* – edema nos membros inferiores.
- *Derr_Pleural* – derrame pleural.
- *Dispneia* – dispnéia.

A forma de utilização da rede ocorre a partir da inserção de observações nos nós dos grupos um e três, de acordo com a quantidade de informações disponíveis ao médico. Por exemplo, algumas localidades podem estar equipadas com ecocardiografias enquanto outras não. Após a realização do processo de inferência, o médico obterá a probabilidade condicional dos demais nós da rede. O nó *Insuficiência_Cardíaca* é o que lhe fornecerá o maior auxílio em sua decisão, sendo que os demais nós também podem ser úteis na avaliação do estado do paciente.

Capítulo 5

PROBABILIDADES NA REDE BAYESIANA

Um estágio posterior à criação da estrutura de uma rede Bayesiana é a especificação de suas probabilidades. Essas probabilidades podem ser obtidas de duas maneiras: a partir de especialistas; ou aprendido a partir uma base de dados. É possível também a combinação das duas alternativas. A utilização de especialistas requer a aplicação de técnicas de elucidação, de forma a tornar o mais ágil possível a obtenção de uma grande quantidade de probabilidades para uma rede. O aprendizado a partir de uma base de dados requer, além da base de dados em si, um algoritmo de aprendizado. Por fim, a combinação das duas alternativas requer todos os recursos mencionados acima.

5.1 Elucidação de probabilidades

A elucidação de probabilidades é feita contando-se com o auxílio de um ou mais especialistas no domínio tratado pela rede Bayesiana. Existem métodos mais diretos, como a especificação direta das probabilidades, e mais indiretos, como a utilização de classificações qualitativas dos arcos da rede. Dependendo do método utilizado e do tamanho da rede, o processo de elucidação pode ser extremamente demorado. Por esse motivo, muitas vezes tenta-se adotar estratégias que agilizem o processo. Essas estratégias incluem modelos matemáticos simplificados para algumas partes da rede e a especificação qualitativa de probabilidades.

Alguns dos principais métodos de elucidação (VAN DER GAAG et al, 2002); (RENOOIJ, 2001) são descritos a seguir:

5.1.1 Especificação direta de probabilidades

O método mais direto de obter as probabilidades requeridas é especificando-se um valor numérico, entre 0% e 100%, para cada probabilidade da rede. É necessária uma tabela para cada nó, com campos para preenchimento das probabilidades correspondentes à combinação das categorias de todos os pais. Por

exemplo, em um nó binário, isto é, com duas categorias, que tenha cinco pais também binários será necessário definir “2 categorias * 2⁵ combinações de pais = 64 probabilidades”.

Este método tem como principal vantagem a simplicidade na obtenção de probabilidades, que podem ser inseridas diretamente na rede. Por outro lado, pode causar efeitos adversos, como o aparecimento de um número excessivo de probabilidades múltiplas de 10% (0%, 10%, ..., 90%, 100%). Isso se deve à tendência das pessoas de utilizar números “redondos”.

Algumas variações deste método são possíveis, tais como o uso de régua com marcas para 0%, 25%, 50%, 75% e 100%, onde o especialista marca uma posição, ou a utilização de gráficos em formato de pizza com funcionalidade equivalente. Essas variações têm como vantagem fornecerem aspectos visuais, que trazem uma perspectiva de proporcionalidade às probabilidades.

5.1.2 Loterias

Um processo mais elaborado para a elucidação é a aplicação de métodos indiretos. O uso de loterias é um dos métodos mais comuns para quantificar valores subjetivos. O funcionamento deste método baseia-se em apresentar ao especialista duas loterias. Em uma das loterias, a probabilidade de ganhar corresponde à probabilidade que se deseja esclarecer. Para a outra loteria, um valor é arbitrariamente definido como a probabilidade de se ganhar a loteria. A seguir, o especialista deverá decidir qual destas loterias é a melhor para se fazer uma aposta. Caso o especialista decida que ambas as loterias são igualmente vantajosas, a probabilidade procurada é a mesma da segunda loteria. Caso contrário, esta última terá sua probabilidade modificada até que se consigam loterias igualmente vantajosas.

Apesar deste método normalmente resultar em uma melhor especificação das probabilidades, pode tornar-se inviável devido ao longo tempo necessário para aplicá-lo a todas as probabilidades de uma rede Bayesiana.

5.1.3 Métodos qualitativos

É possível ainda utilizar-se de métodos qualitativos (RENOOIJ, 2001), em

que, em vez de serem especificados valores numéricos, são fornecidas opções qualitativas como “alto”, “baixo” e “muito baixo”. Cada uma dessas opções será convertida para um valor numérico e, se necessário, as probabilidades serão refinadas usando-se algum outro método. Este método requer um cuidado maior na preparação do processo de elucidação, porém pode apresentar resultados melhores que os demais métodos devido à natureza qualitativa presente. O fato de se utilizar adjetivos para as probabilidades tende a diminuir a quantidade de erros grosseiros, isto é, valores muito diferentes dos corretos. Posteriormente, essas classificações devem ser transformadas em forma numérica, ou então utilizar algoritmos de inferência para redes Bayesianas qualitativas.

5.2 Aprendizado

O aprendizado em redes Bayesianas (HECKERMAN; GEIGER; CHICKERING, 1995) pode ter como objetivo a obtenção das probabilidades da rede, da estrutura da rede, ou ambos. Os objetos utilizados no aprendizado são um algoritmo de aprendizado e uma base de dados, esta correspondente ao domínio do problema modelado pela rede. No caso de problemas médicos, a base corresponde, na maior parte dos casos, a dados clínicos de casos anteriores.

Há também a possibilidade de combinar-se o conhecimento de especialistas com técnicas de aprendizado. Por exemplo, a estrutura inicial da rede pode ser obtida a partir de especialistas e ser usada como ponto de partida para algoritmos de aprendizado. Ou então pode-se obter as probabilidades por aprendizado, que seriam posteriormente verificadas por especialistas. De qualquer forma, o objetivo final é obter as probabilidades que melhor correspondam à realidade do problema modelado pela rede Bayesiana.

Em redes Bayesianas para auxílio à decisão médica, o principal obstáculo em utilizar o aprendizado é a dificuldade na obtenção da base de dados, pois a coleta de dados que possam auxiliar a construção de sistemas especialistas não é uma prática comum no atendimento médico.

5.3 Obtenção de probabilidades

Para a quantificação da rede Bayesiana apresentada neste trabalho foi utilizada a especificação direta de probabilidades, utilizando tabelas preenchidas pelo médico especialista, a partir de sua experiência profissional e dados bibliográficos. Tal método possibilitou a obtenção das probabilidades de uma forma rápida, seguida de correções nos valores de algumas probabilidades que se mostraram incoerentes durante as avaliações realizadas. As probabilidades apresentadas referem-se ao universo de pacientes que se apresentam em postos de saúde na cidade de São Paulo com queixas de dificuldades respiratórias.

5.3.1 Probabilidades marginais

As probabilidades marginais são as mais simples de serem obtidas e correspondem a nós sem pais. Estas probabilidades correspondem à prevalência da doença na população em questão, isto é, nas pessoas que se apresentam em postos de saúde com dificuldades respiratórias. Graficamente, são representadas na parte superior da rede apresentada na Figura 4.4.

As tabelas a seguir contêm as probabilidades marginais da rede. A primeira linha de cada tabela representa as categorias do nó, e a segunda a prevalência para cada categoria.

Sim	Não
5 %	95 %

Tabela 5.1: Doença_Chagas.

Sim	Não
60 %	40 %

Tabela 5.2: Dislipidemia.

Sim	Não
40 %	60 %

Tabela 5.3: Fumo.

<41	41-55	56-65	66-75	>75
5 %	10 %	20 %	35 %	30 %

Tabela 5.4: Idade.

Normal	Normal-Alta	Hipertensão Baixa	Hipertensão Média	Hipertensão Elevada
40 %	25 %	20 %	10 %	5 %

Tabela 5.5: HAS.

Sim	Não
30 %	70 %

Tabela 5.6: Antecedente_Familiar_ICO.

Sim	Não
5 %	95 %

Tabela 5.7: Febre_Reumática.

Sim	Não
30 %	70 %

Tabela 5.8: DM.

Sim	Não
10 %	90 %

Tabela 5.9: Doença_Pulmonar.

Sim	Não
10 %	90 %

Tabela 5.10: Consumo_Álcool.

Sim	Não
5 %	95 %

Tabela 5.11: Doença_Arteriosclerótica_Vascular.

5.3.2 Probabilidades condicionais

A maior parte dos nós da rede tem probabilidades condicionais em relação aos respectivos pais. Para a especificação destas probabilidades, os nós foram divididos em três grupos: exames diagnósticos, funcionamento fisiológico e sintomas observados. Os exames diagnósticos correspondem a nós que podem ou não ser observados, dependendo dos equipamentos disponíveis no local onde o paciente for atendido. Os nós do grupo funcionamento fisiológico representam características da doença que, apesar de difícil medição, são variáveis importantes para a modelagem de insuficiência cardíaca. Por fim, sintomas observados são características físicas do paciente, algumas internas e outras externas.

As tabelas a seguir contêm as probabilidades condicionais da rede. A primeira

coluna de cada tabela mostra as possíveis combinações de pais, a primeira linha as categorias do nó, e cada linha subsequente as probabilidades condicionais para cada combinação de pais.

a) Exames diagnósticos

Categorias das variáveis condicionantes	Sim	Não
Doença Pulmonar = Sim	80 %	20 %
Doença Pulmonar = Não	3 %	97 %

Tabela 5.12: Alterações_EF.

Categorias das variáveis condicionantes	Sim	Não
Valvopatia = Sim, Insuficiência_Cardíaca = Sim	90 %	10 %
Valvopatia = Sim, Insuficiência_Cardíaca = Não	70 %	30 %
Valvopatia = Não, Insuficiência_Cardíaca = Sim	80 %	20 %
Valvopatia = Não, Insuficiência_Cardíaca = Não	30 %	70 %

Tabela 5.13: Alterações_ECG.

Categorias das variáveis condicionantes	Sim	Não
Valvopatia = Sim, Insuficiência_Cardíaca = Sim	80 %	20 %
Valvopatia = Sim, Insuficiência_Cardíaca = Não	60 %	40 %
Valvopatia = Não, Insuficiência_Cardíaca = Sim	70 %	30 %
Valvopatia = Não, Insuficiência_Cardíaca = Não	10 %	90 %

Tabela 5.14: Alterações_RaioX.

Categorias das variáveis condicionantes	Sim	Não
Valvopatia = Sim, Insuficiência_Cardíaca = Sim	99,9 %	0,1 %
Valvopatia = Sim, Insuficiência_Cardíaca = Não	99 %	1 %
Valvopatia = Não, Insuficiência_Cardíaca = Sim	98 %	2 %
Valvopatia = Não, Insuficiência_Cardíaca = Não	2 %	98 %

Tabela 5.15: Alterações_ECO.

b) Funcionamento Fisiológico

Categorias das variáveis condicionantes	Sim	Não
Idade = <41, Febre Reumática = Sim	30 %	70 %
Idade = 41-55, Febre Reumática = Sim	32 %	68 %
Idade = 56-65, Febre Reumática = Sim	36 %	64 %
Idade = 66-75, Febre Reumática = Sim	42 %	58 %
Idade = >75, Febre Reumática = Sim	60 %	40 %
Idade = <41, Febre Reumática = Não	2 %	98 %
Idade = 41-55, Febre Reumática = Não	3 %	97 %
Idade = 56-65, Febre Reumática = Não	6 %	94 %
Idade = 66-75, Febre Reumática = Não	15 %	85 %
Idade = >75, Febre Reumática = Não	30 %	70 %

Tabela 5.16: Valvopatia.

Categorias das variáveis condicionantes	Sim	Não
Arteriosclerose Coronária = Sim	100 %	0 %
Arteriosclerose Coronária = Não	2 %	98 %

Tabela 5.17: Insuficiência_Coronária.

Categorias das variáveis condicionantes	Sim	Não
Insuficiência Coronária = Sim	40 %	60 %
Insuficiência Coronária = Não	10 %	90 %

Tabela 5.18: Sintomas_Ins_Coronária.

Categorias das variáveis condicionantes	Sim	Não
Valvopatia = Sim, Insuficiência_Cardíaca = Sim	85 %	15 %
Valvopatia = Sim, Insuficiência_Cardíaca = Não	50 %	50 %
Valvopatia = Não, Insuficiência_Cardíaca = Sim	50 %	50 %
Valvopatia = Não, Insuficiência_Cardíaca = Não	2 %	98 %

Tabela 5.19: Nível_Ativação_N-H.

Categorias das variáveis condicionantes	Sim	Não
Valvopatia = Sim, Insuficiência_Cardíaca = Sim, Nível Ativação N-H = Sim	99 %	1 %
Valvopatia = Sim, Insuficiência_Cardíaca = Sim, Nível Ativação N-H = Não	20 %	80 %
Valvopatia = Sim, Insuficiência_Cardíaca = Não, Nível Ativação N-H = Sim	90 %	10 %
Valvopatia = Sim, Insuficiência_Cardíaca = Não, Nível Ativação N-H = Não	10 %	90 %
Valvopatia = Não, Insuficiência_Cardíaca = Sim, Nível Ativação N-H = Sim	95 %	5 %
Valvopatia = Não, Insuficiência_Cardíaca =	15 %	85 %

Categorias das variáveis condicionantes	Sim	Não
Sim, Nível Ativação N-H = Não		
Valvopatia = Não, Insuficiência_Cardíaca = Não, Nível Ativação N-H = Sim	80 %	20 %
Valvopatia = Não, Insuficiência_Cardíaca = Não, Nível Ativação N-H = Não	2 %	98 %

Tabela 5.20: Hipertensão_Pulmonar_Venosa_Sistêmica.

As tabelas as seguir referem-se aos nós *Arteriosclerose_Coronária* e *Insuficiência_Cardíaca*. Para estes dois nós, foi utilizado o modelo *noisy-or*, apresentado na Seção 5.4. As tabelas necessárias para o *noisy-or* contém as probabilidades condicionais do nó em questão em relação a cada um de seus pais, de forma não combinada, isto é, como se o nó tivesse apenas um pai de cada vez.

Categorias das variáveis condicionantes	Sim	Não
Dislipidemia = Sim	30 %	70 %
Dislipidemia = Não	10 %	90 %
Fumo = Sim	35 %	65 %
Fumo = Não	10 %	90 %
DM = Sim	40 %	60 %
DM = Não	8 %	92 %
Antecedente Familiar ICO = Sim	25 %	75 %
Antecedente Familiar ICO = Não	12 %	88 %
Doença Arteriosclerótica Vascular = Sim	55 %	45 %
Doença Arteriosclerótica Vascular = Não	14 %	86 %
Idade = <41	5 %	95 %
Idade = 41-55	8 %	92 %
Idade = 56-65	15 %	85 %
Idade = 66-75	35 %	65 %
Idade = >75	50 %	50 %

Tabela 5.21: Probabilidades condicionais para Arteriosclerose_Coronária.

Categorias das variáveis condicionantes	Sim	Não
HAS = Normal	10 %	90 %
HAS = Normal-Alta	11 %	89 %
HAS = Hipertensão Baixa	20 %	80 %
HAS = Hipertensão Média	25 %	75 %
HAS = Hipertensão Elevada	30 %	70 %
Doença Chagas = Sim	70 %	30 %
Doença Chagas = Não	15 %	85 %
Consumo Álcool = Sim	30 %	70 %
Consumo Álcool = Não	18 %	82 %
Insuficiência Coronária = Sim	35 %	65 %
Insuficiência Coronária = Não	10 %	90 %
Valvopatia = Sim	40 %	60 %

Valvopatia = Não	15 %	85 %
------------------	------	------

Tabela 5.22: Probabilidades condicionais para Insuficiência_Cardíaca.

c) Sintomas

Categorias das variáveis condicionantes	Sim	Não
Hipertensão Pulmonar Venosa Sistêmica = Sim	50 %	50 %
Hipertensão Pulmonar Venosa Sistêmica = Não	15 %	85 %

Tabela 5.23: Tosse_Seca.

Categorias das variáveis condicionantes	Sim	Não
Hipertensão Pulmonar Venosa Sistêmica = Sim	10 %	90 %
Hipertensão Pulmonar Venosa Sistêmica = Não	1 %	99 %

Tabela 5.24: Ascite.

Categorias das variáveis condicionantes	Sim	Não
Hipertensão Pulmonar Venosa Sistêmica = Sim	15 %	85 %
Hipertensão Pulmonar Venosa Sistêmica = Não	1 %	99 %

Tabela 5.25: Hepatomegalia.

Categorias das variáveis condicionantes	Sim	Não
Hipertensão Pulmonar Venosa Sistêmica = Sim	40 %	60 %
Hipertensão Pulmonar Venosa Sistêmica = Não	25 %	75 %

Tabela 5.26: Edema_MMII.

Categorias das variáveis condicionantes	Sim	Não
Hipertensão Pulmonar Venosa Sistêmica = Sim	10 %	90 %
Hipertensão Pulmonar Venosa Sistêmica = Não	1 %	99 %

Tabela 5.27: Derr_Pleural.

Categorias das variáveis condicionantes	Sim	Não
Hipertensão_Pulmonar_Venosa_Sistêmica = Sim, Doença_Pulmonar = Sim	90 %	10 %
Hipertensão_Pulmonar_Venosa_Sistêmica = Sim, Doença_Pulmonar = Não	60 %	40 %
Hipertensão_Pulmonar_Venosa_Sistêmica = Não, Doença_Pulmonar = Sim	50 %	50 %
Hipertensão_Pulmonar_Venosa_Sistêmica = Não, Doença_Pulmonar = Não	30 %	70 %

Tabela 5.28: Dispneia.

5.4 Noisy-or

O excessivo número de probabilidades necessárias para a quantificação de

uma rede é uma das maiores dificuldades na aplicação prática de redes Bayesianas. Em um nó X com k categorias o número de probabilidades a serem especificadas é

$$\text{No.de elementos da tabela}(X) = k * \prod_{pa(X)} n_{\text{categorias } pa(X)}$$

No entanto, para determinados tipos de nós, estas probabilidades podem ser calculadas a partir de outras em vez de serem especificadas diretamente. O modelo *noisy-or* (HECKERMAN; BREESE, 1994) permite tal cálculo, com a restrição que os pais do nó possam contribuir independentemente para a probabilidade do nó em que é aplicado o *noisy-or*, e que o efeito combinado de diversos pais contribua cumulativamente na probabilidade do nó. Neste trabalho, também é necessário que o nó em questão seja binário, isto é, possua somente duas categorias, com uma categoria para representar verdadeiro e outra para falso.

Em problemas médicos, tal representação é adequada quando existe uma doença com diversos fatores de risco/causas ou um sintoma causado por diversas doenças. Por exemplo, para o nó *Insuficiência_Cardíaca* da rede construída neste trabalho, os fatores de risco e causas são *Consumo_Álcool*, *Doença_Chagas*, *HAS*, *Insuficiência_Coronária* e *Valvopatia*. Neste trabalho, o modelo *noisy-or* foi utilizado para os nós *Arteriosclerose_Coronária* e *Insuficiência_Cardíaca*.

Utilizando nomes adequados para nós em redes modelando problemas médicos, tem-se um nó D com categorias d e \bar{d} representando uma doença, cujas causas são R_1, R_2, \dots, R_n , as probabilidades para D são dadas pela tabela conjunta de probabilidades condicionais $P(D|R_1, R_2, \dots, R_n)$.

O modelo *noisy-or* permite o cálculo da tabela conjunta de probabilidades condicionais a partir das probabilidades $P(D|R_i)$ para cada nó pai R_i , desde que seja respeitada a restrição em relação aos pais posta anteriormente.

No caso de ter-se somente nós binários R_i , com estados r_i (verdadeiro) e \bar{r}_i (falso), estas probabilidades condicionais são conhecidas como sensibilidade $P(d|r_i)$ e especificidade $P(\bar{d}|\bar{r}_i)$ que, muitas vezes, estão disponíveis em estudos populacionais. Já as probabilidades conjuntas $P(D|R_1, R_2, \dots, R_n)$ são de mais difícil obtenção a partir de especialistas ou de informações bibliográficas por envolverem

um alto número de combinações de condições.

A expressão que representa a probabilidade de cada fator causar a doença independentemente é calculada como

$$p_i = P(d | r_i \text{ apenas}) = P(d | \bar{r}_1, \bar{r}_2, \dots, r_i, \dots, \bar{r}_n).$$

As probabilidades p_i são conhecidas como probabilidades de ligação e cada valor da probabilidade conjunta é calculado como:

$$P(d | H) = 1 - \left(\prod_{R_i \in H^+} [1 - p_i] \right),$$

onde H é uma configuração de (R_1, R_2, \dots, R_n) e H^+ é o subconjunto de nós definidos como verdadeiros.

A maneira proposta por (NIKOVSKI, 2000) para calcular-se as probabilidades de ligação parte das sensibilidades e especificidades para cada nó pai. A probabilidade de ligação p_i é estimada considerando-se que D pode ser causada por um fator R_i ou pela atuação combinada de todos os outros fatores que levam a D , isto é, os outros R . Esta outra causa pode ser chamada de R_{tudo} , com uma probabilidade de ligação p_{tudo} . Assim,

$$P(d | r_i) = p_i + p_{tudo} - p_i * p_{tudo}.$$

$$P(d | \bar{r}_i) = p_{tudo}.$$

Simplificando,

$$p_i = \frac{P(d | r_i) - P(d | \bar{r}_i)}{1 - P(d | \bar{r}_i)}.$$

Após calcular todos os p_i , é possível obter os valores para todas as hipóteses H.

Neste trabalho, foi feita uma generalização para nós pais que não sejam binários. Esta generalização difere-se de outras já apresentadas (DIÉZ, 1993); (HECKERMAN; BREESE, 1994); (SRINIVAS, 1993) por não requerer a especificação direta das probabilidades de ligação, que serão determinadas a partir de

probabilidades condicionais. Esta generalização segue os conceitos matemáticos utilizados por (NIKOVSKI, 2000), apresentados anteriormente.

Um pré-requisito para a aplicação do método proposto é que haja uma relação de ordenação entre as categorias de cada nó R_i . Definindo-se as categorias de R_i como sendo $r_iC_1, r_iC_2, \dots, r_iC_m$, deve valer a relação $r_iC_1 \geq r_iC_2 \geq \dots \geq r_iC_m$, isto é, existe uma variação gradual entre influência nula r_iC_1 até influência máxima r_iC_m . Um exemplo seria um nó *pressão arterial* (R_1) com as categorias normal (r_1C_1), alta (r_1C_2) e muito alta (r_1C_3). Neste nó todos os efeitos causados pela categoria normal também estão presentes na categoria alta, e a categoria muito alta contém os efeitos das duas categorias inferiores.

Assim, muda-se a forma de cálculo da tabela conjunta para:

$$P(d|H) = 1 - \left(\prod_{\substack{r_iC_k \in H^+ \\ k \neq 1}} [1 - p_{r_iC_k}] \right).$$

Para a configuração H, H^+ é o subconjunto de variáveis cujo valor é diferente de r_iC_1 , ou seja, que exercem alguma influência positiva em D . As probabilidades de ligação $p_{r_iC_k}$ são as probabilidades para cada estado r_iC_k de R_i , sendo r_iC_k diferente de r_iC_1 .

O cálculo de $p_{r_iC_k}$ parte dos valores $P(D|R_iC_k)$ obtidos de um especialista ou de uma pesquisa bibliográfica. Porém, para nós pais não-binários, não bastam somente a especificidade e a sensibilidade. São necessárias as probabilidades condicionais para cada um dos estados r_iC_k de R_i . As probabilidades de ligação serão dadas pelas equações abaixo:

$$P(d|r_iC_k) = p_{r_iC_k} + p_{tudo} - p_{r_iC_k} * p_{tudo}, se k \neq 1.$$

$$P(d|r_iC_1) = p_{tudo}.$$

Obtemos a partir das fórmulas acima que,

$$p_{r_iC_k} = \frac{P(d|r_iC_k) - P(d|r_iC_1)}{1 - P(d|r_iC_1)}, se k \neq 1.$$

No caso em que $k=1$, não há probabilidade de ligação, uma vez que $k=1$ corresponde à influência nula.

Segue abaixo um exemplo da aplicação do *noisy-or* para um nó binário D , com categorias d e \bar{d} , e pais R_1 e R_2 . R_1 tem as categorias r_1C_1 , r_1C_2 e r_1C_3 , e r_1R_2 tem as categorias r_2C_1 e r_2C_2 .

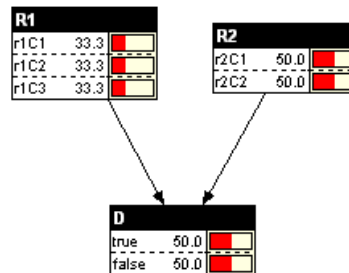


Figura 5.1: Exemplo noisy-or

Os valores iniciais para o cálculo são as probabilidades condicionais $P(D|R_i C_k)$, obtidas a partir de especialistas ou dados bibliográficos.

$$P(d|r_1 C_1) = 0.010 .$$

$$P(d|r_1 C_2) = 0.100 .$$

$$P(d|r_1 C_3) = 0.400 .$$

$$P(d|r_2 C_1) = 0.100 .$$

$$P(d|r_2 C_2) = 0.800 .$$

Obtém-se as probabilidades de link a partir das probabilidades condicionais, calculando-se:

$$p_{r_i C_k} = \frac{P(d|r_i C_k) - P(d|r_i C_1)}{1 - P(d|r_i C_1)}, \text{ se } k \neq 1 .$$

Assim,

$$p_{r_1c_2} = 0.091 .$$

$$p_{r_1c_3} = 0.394 .$$

$$p_{r_2c_2} = 0.778 .$$

O último passo é calcular as probabilidades conjuntas para D , utilizando-se para tal as probabilidades de ligação.

Hipótese	Verdadeiro	Falso
r_1C_1, r_2C_1	0.000	1.000
r_1C_2, r_2C_1	0.091	0.909
r_1C_3, r_2C_1	0.394	0.606
r_1C_1, r_2C_2	0.778	0.222
r_1C_2, r_2C_2	0.798	0.202
r_1C_3, r_2C_2	0.865	0.135

Tabela 5.29: Probabilidades conjuntas de D .

A aplicação do *noisy-or* como apresentado acima desconsidera fatores não modelados. Em qualquer representação do mundo real, existirão alguns fatores que não foram modelados. A falta desses fatores pode ser intencional, para evitar um modelo demasiadamente complexo, ou acidental, por mero desconhecimento de quais seriam estes fatores. Uma maneira de considerar-se a influência destes fatores é colocando-se um *nó de escape* como um pai adicional invisível de D , para o qual uma probabilidade de ligação p_{escape} pode ser atribuída pelo especialista ou calculada dentro do modelo *noisy-or* como mais um nó pai. Neste trabalho, foi utilizado o valor de 5% para a probabilidade de escape nos nós em que foi aplicado o *noisy-or*, sendo este o valor atribuído pelo especialista durante a quantificação da rede.

Capítulo 6

AVALIAÇÃO DA REDE

A avaliação da rede tem como objetivo verificar se o modelo construído atende às necessidades do problema médico de interesse. Esta avaliação pode ser feita de forma simulada, utilizando-se médicos ou voluntários que testem a rede, ou de forma prática, instalando-se o sistema em um ambiente no qual seja possível testar o sistema com dados reais.

Neste trabalho, a avaliação foi feita de forma simulada, a partir da opinião de especialistas médicos. Na primeira etapa da avaliação foram apresentados casos de uso a um especialista, correspondentes a pacientes que se apresentam em postos de saúde com dificuldades respiratórias. E, na segunda etapa, foi feita uma avaliação da estrutura da rede, com o auxílio de outros médicos.

6.1 Casos de uso para a rede

Os casos de uso da rede simulam diversas situações que podem aparecer durante o atendimento a pacientes em um posto de saúde. Cada caso apresenta um conjunto de observações; o médico faz a inserção das observações na rede e analisa os valores das probabilidades condicionais dos nós não-observados. Para todos os casos de uso apresentados, foi solicitado o auxílio do especialista que auxiliou na construção da rede e na quantificação das probabilidades. Os casos foram apresentados em forma de tabela, contendo as observações e o resultado da rede, e, posteriormente, codificados em um software no qual podiam-se demonstrar as influências de cada observação sendo inserida. O software, denominado iBNetz, é apresentado no Capítulo 7.

6.1.1 Primeira avaliação com casos de uso

Nos primeiros casos foi utilizada uma rede simplificada, utilizando-se o modelo *noisy-or* somente com nós binários. Nessa simplificação, os nós *HAS* e *Idade* foram transformados em binários, com estados *Sim* e *Não* representando apenas se os

nós aumentam o risco de doenças cardíacas. Três casos utilizados foram utilizados, representando baixo, alto e médio risco.

	1 – Baixo Risco	2 – Alto Risco	3 – Médio Risco
Rede	2.1 %	99.2 %	0.04 %
Médico	7 %	96 %	15 %
Concorda?	Parcialment e	Sim	Não
Consumo Álcool	Sim	Não	Não
Doença Chagas	Não	Sim	Não
HAS	Não	Não	Sim
Dislipidemia	Não	Não	Sim
Fumo	Não	Não	Não
DM	Não	Não	Não
Antec Familiar ICO	Sim	Não	Não
Doença Art Vascular	Não	Não	Sim
Idade	Não	Não	Sim
Febre Reumática	Não	Não	Não
Alterações ECG	Não	Sim	Não
Alterações RaioX	Sim	Sim	Não
Alterações ECO	Não	Sim	Não
Doença Pulmonar	Não	Não	Não
Alterações EF	Não	Não	Não
Dispneia	Sim	Não	Não
Tosse Seca	Não	Não	Não
Ascite	Não	Não	Não
Hepatomegalia	Não	Não	Não
Edema MMII	Não	Não	Não
Derr Pleural	Não	Não	Não
Sintomas Ins Cor	Não	Não	Não

Tabela 6.1: Casos de uso para rede simplificada

A linha *Rede* da tabela acima representa o resultado fornecido pela rede para o nó *Insuficiência_Cardíaca*. A linha *Médico* é a probabilidade dada pelo médico para o mesmo nó, e a linha *Concorda?* representa a opinião do médico em relação ao desempenho da rede. Todas as linhas abaixo de *Concorda?* representam observações inseridas na rede.

Conforme se observa na Tabela 6.1, as simplificações feitas na rede em relação a categorias de alguns nós podem ter sido responsáveis pelos erros observados na rede. Correções de algumas das probabilidades da rede e a aplicação do modelo *noisy-or* para nós pais não-binários trouxeram novos resultados que são

mostrados nos próximos casos de uso.

6.1.2 Segunda avaliação com casos de uso

Após a aplicação do modelo *noisy-or* para nós pais não-binários, foi feita outra avaliação, desta vez com a rede na sua estrutura atual. Apresentam-se a seguir os resultados desta avaliação:

	1 – Baixo Risco	2 – Alto Risco	3 – Médio Risco
Rede	1 %	96 %	15 %
Médico	7 %	96 %	15 %
Concorda?	Parcialment e	Sim	Sim
Consumo Álcool	Sim	Não	Não
Doença Chagas	Não	Sim	Não
HAS	Normal	HT Baixa	HT Média
Dislipidemia	Não	Não	Sim
Fumo	Não	Não	Não
DM	Não	Não	Não
Antec Familiar ICO	Sim	Não	Não
Doença Art Vascular	Não	Não	Sim
Idade	41-55	56-65	56-65
Febre Reumática	Não	Não	Não
Alterações ECG	Não	Sim	Não
Alterações RaioX	Sim	Sim	Não
Alterações ECO	Não	Sim	Não
Doença Pulmonar	Não	Não	Não
Alterações EF	Não	Não	Não
Dispneia	Sim	Não	Não
Tosse Seca	Não	Não	Não
Ascite	Não	Não	Não
Hepatomegalia	Não	Não	Não
Edema MMII	Não	Não	Não
Derr Pleural	Não	Não	Não
Sintomas Ins Cor	Não	Não	Não

Tabela 6.2: Casos de uso para a rede completa

A Tabela 6.2 apresenta as mesmas linhas da Tabela 6.1, e contém também os casos de baixo, alto e médio risco de insuficiência cardíaca. A principal constatação obtida com os testes da Tabela 6.2 foi a baixa probabilidade de *Insuficiência Cardíaca* no caso de baixo risco, mesmo colocando-se observações

como *Alterações_RaioX* e *Consumo_Álcool* como fatores de risco presentes. Este resultado levou a uma reavaliação das probabilidades condicionais da rede, que sofreram algumas modificações até chegar-se aos números apresentados no Capítulo 6 desta dissertação.

6.1.3 Terceira avaliação com casos de uso

De posse das probabilidades corrigidas, foi feita uma última avaliação com casos de uso. Nesta avaliação foram utilizados casos mais variados, nos quais alguns nós de diagnóstico não foram observados, simulando-se ambientes em que nem sempre todos os equipamentos médicos estão disponíveis. A falta de algumas observações também pode representar um histórico clínico incompleto do paciente. O resultado da avaliação para estes casos é apresentado na Seção 6.1.1.

Os casos utilizados são ilustrados nas Figuras 6.1 a 6.7:

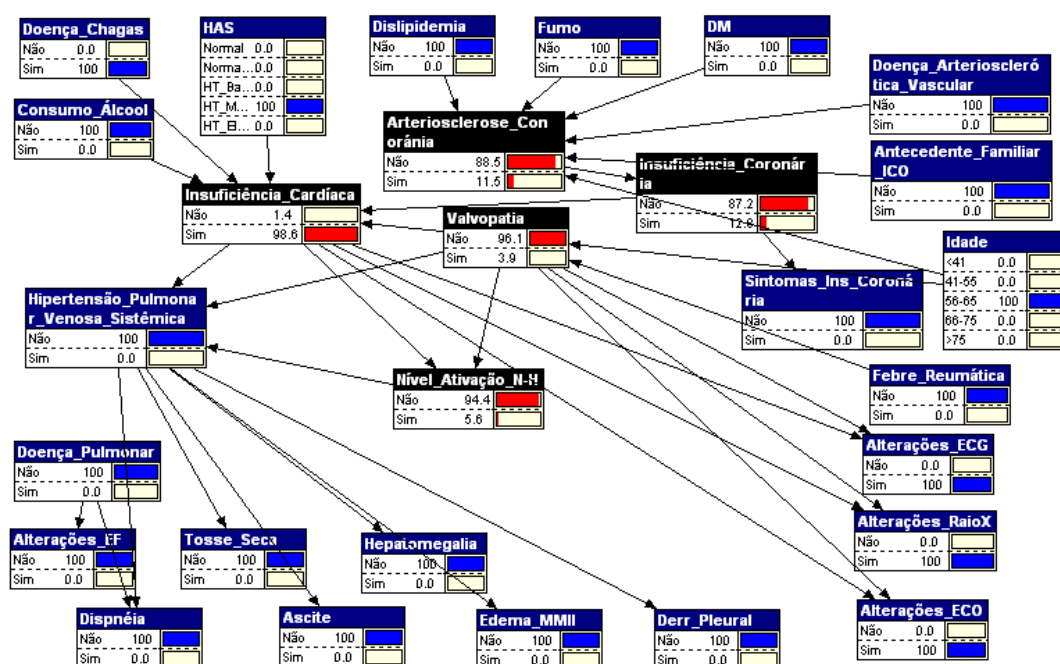


Figura 6.1: Alto Risco: ECG, Raio-X, ECO, Chagas, HT_Média.

A Figura 6.1 representa um caso de alto risco de insuficiência cardíaca, com alterações nos exames de eletrocardiograma, raio-X e ecocardiografia positivos. Observa-se que este seria um caso raro, pois a maior parte dos sintomas e dados do paciente indicam uma pessoa saudável. Apesar disso, a presença de resultados de exames aumenta significativamente a probabilidade do nó *Insuficiência_Cardíaca* ser igual a *Sim*.

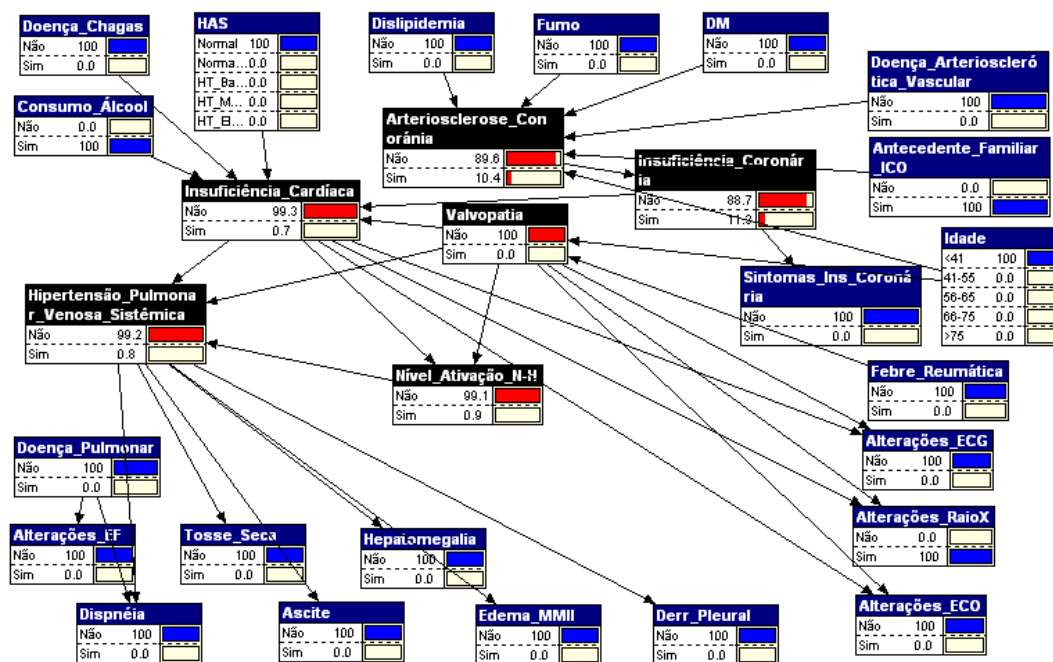


Figura 6.2: Baixo Risco: Álcool, Raio-X, Antecedente Familiar.

O caso apresentado na Figura 6.2 é para um paciente de baixo risco, em que apenas os nós *Consumo_Álcool*, *Antecedente_Familiar_ICO* e *Alterações_RaioX* têm valor *Sim*. Este caso não apresenta nenhuma anormalidade, e dessa forma todos os nós que não são observados têm uma probabilidade baixa para a categoria *Sim*.

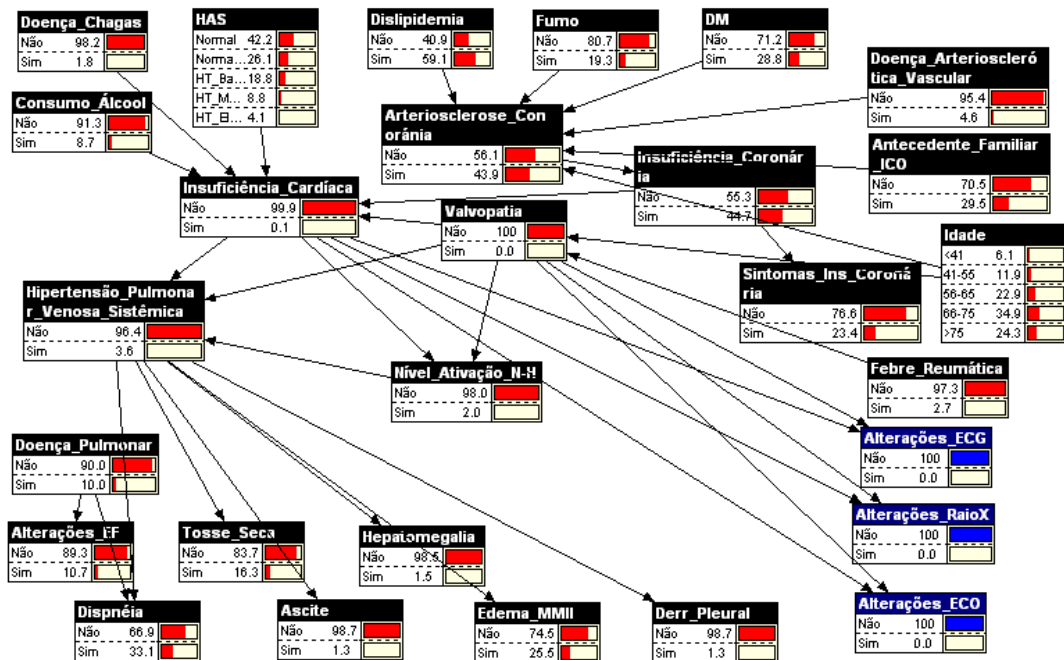


Figura 6.3: ECG, ECO, Raio-X negativos

A Figura 6.3 representa um caso hipotético em que somente os exames de eletrocardiograma, raio-X e ecocardiografia são inseridos como observações. Como as observações são negativas, a probabilidade de *Insuficiência Cardíaca* ser positiva é baixa.

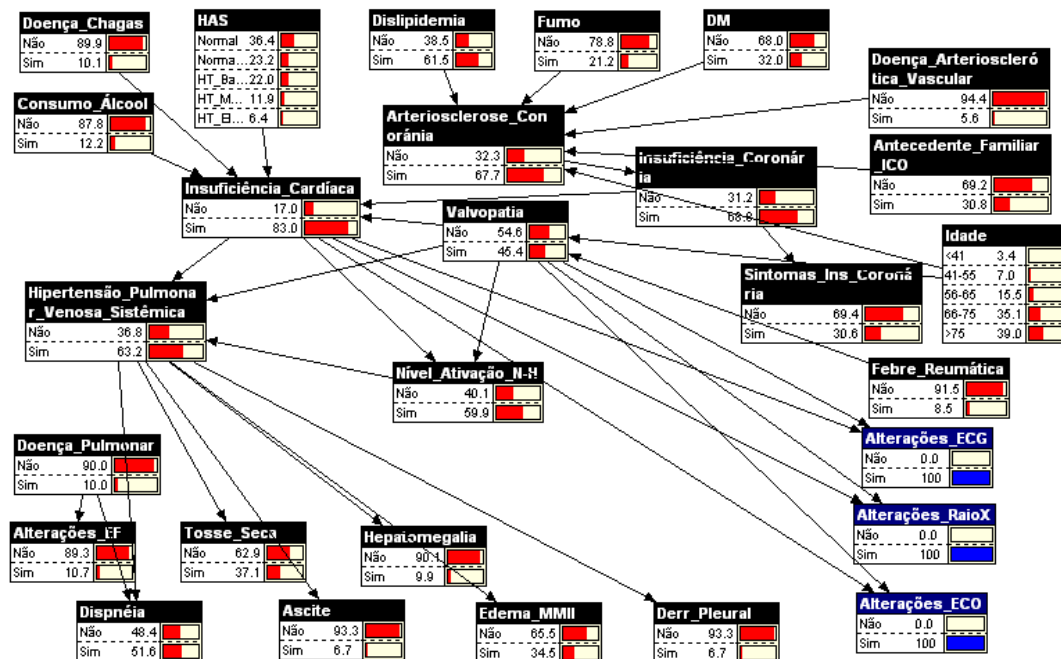


Figura 6.4: ECG, ECO, Raio-X positivos

O caso acima representa a situação oposta da Figura 6.3, isto é, agora todos os exames apresentam resultado positivo. Da mesma forma que exames com resultados negativos diminuem a probabilidade de ocorrência de *Insuficiência Cardíaca*, resultados positivos aumentam esta probabilidade.

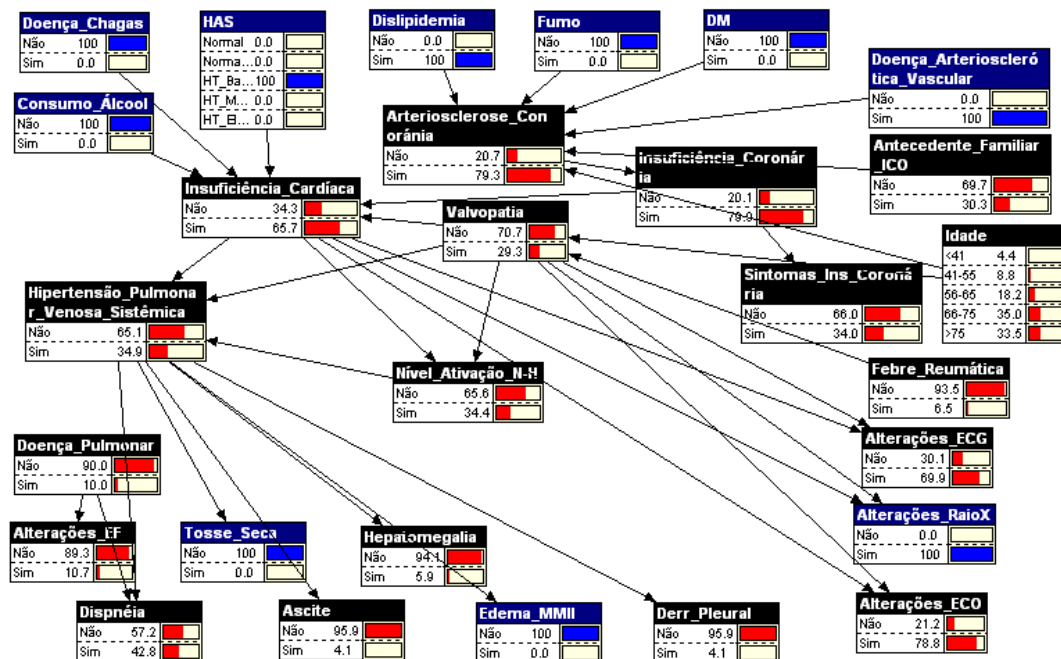


Figura 6.5: Médio/Alto Risco - Dislipidemia, Doença_Art_Vascular, RaioX, HT_Baixa

O caso de uso da Figura 6.5 é referente a um paciente com um risco moderadamente alto para a ocorrência de insuficiência cardíaca. Dentre as variáveis observadas, apenas *Dislipidemia*, *Doença_Arteriosclerótica_Vascular*, *Alterações_Raio-X*, e *HAS=HT_Baixa* representam nós que influem para o aumento da probabilidade do nó *Insuficiência_Cardíaca*. No entanto, como *Doença_Arteriosclerótica_Vascular* e *Alterações_Raio-X* positivos exercem alta influência em *Insuficiência_Cardíaca*, tem-se a probabilidade de 65.7% para esta última.

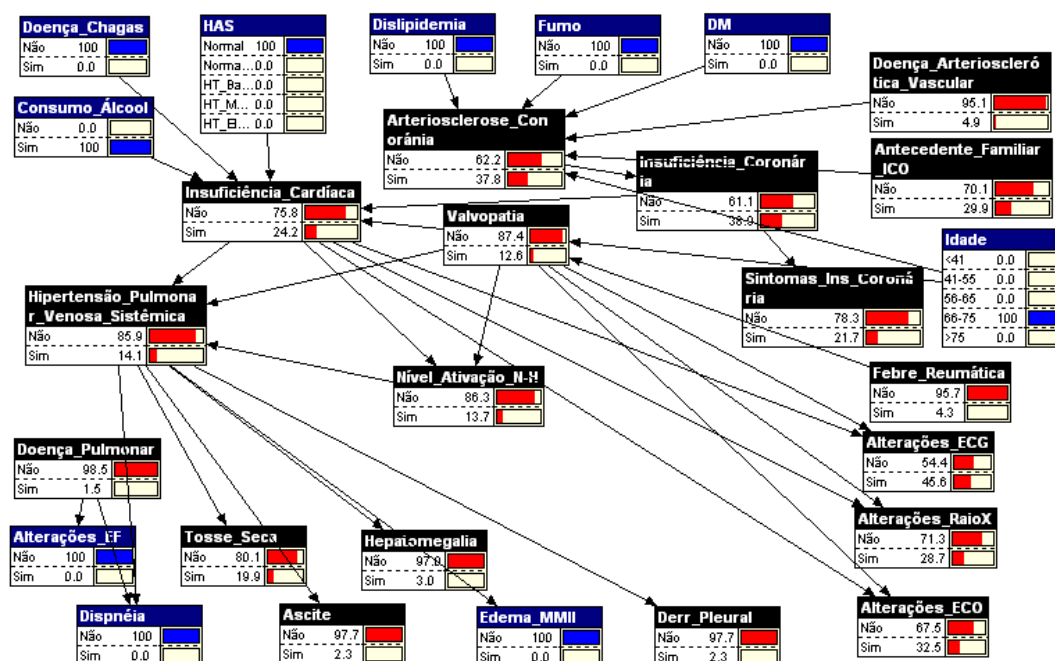


Figura 6.6: Médio/baixo risco: reduzido número de observações

Tem-se na Figura 6.6 um caso em que é limitado o número de observações inseridas, não havendo nenhuma observação que qualifique o paciente como um possível portador de insuficiência cardíaca, assim como não existem observações que indiquem fortemente que o paciente não possui insuficiência cardíaca. Este caso mostra que um reduzido número de observações acarreta em ineficácia da rede em apresentar um diagnóstico apropriado.

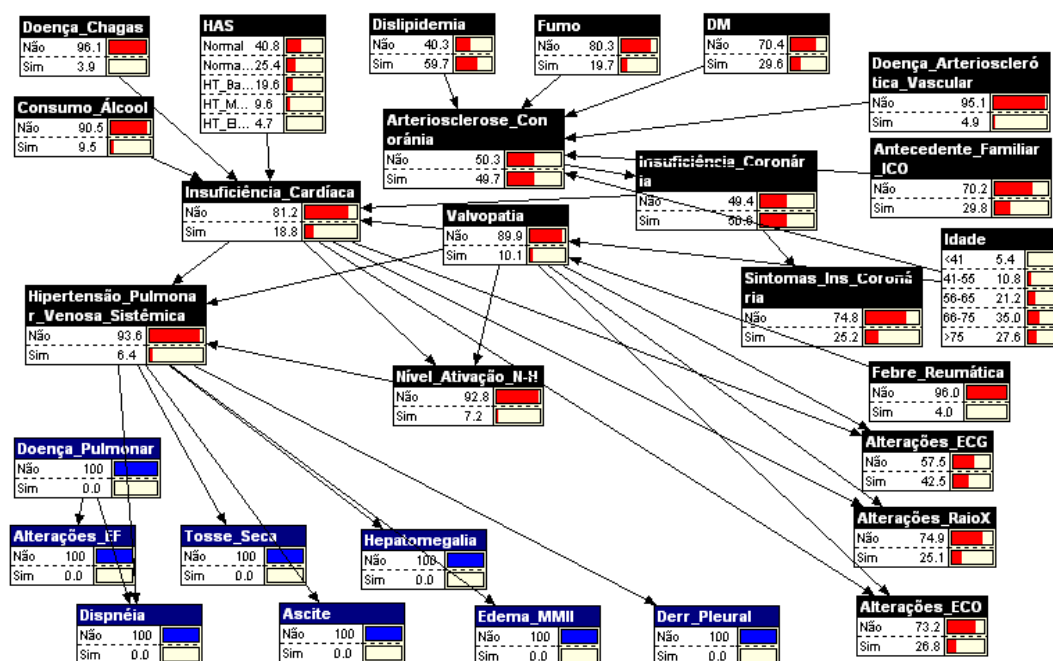


Figura 6.7: Baixo risco: apenas falta de sintomas

A Figura 6.7 mostra a influência dos nós representando a ausência de sintomas do paciente no diagnóstico de insuficiência cardíaca. Apesar da indicação de ausência de sintomas diminuir a probabilidade do nó *Insuficiência Cardíaca*, não se tem uma probabilidade próxima a 0% devido à falta de outras informações, como dados do paciente e resultados de exames diagnósticos.

6.1.4 Resultado final da avaliação com casos de uso

O desempenho da rede obtido na última etapa da avaliação com casos de uso foi considerado adequado pelo especialista, ou seja, as probabilidades fornecidas pela rede correspondem às expectativas do especialista. Tal fato representa principalmente a adequação das probabilidades condicionais especificadas no Capítulo 5 em relação ao funcionamento geral da rede. É possível que outro

especialista, que não tenha participado da construção da rede, possa discordar dos resultados.

Uma outra observação é que não foi notado um prejuízo no desempenho da rede devido à utilização do modelo *noisy-or*, visto que não foram apontadas incoerências nas probabilidades dos nós onde o modelo foi aplicado.

6.2 Avaliação qualitativa com especialistas

O segundo tipo de avaliação foi feito de forma qualitativa, a fim de obter a opinião de outros especialistas médicos quanto à estrutura da rede. Esta avaliação considerou apenas a estrutura de nós, incluindo suas categorias, e arcos da rede. Os aspectos relativos às probabilidades e desempenho da rede não fizeram parte desta avaliação.

Para a realização desta avaliação, foram utilizados questionários, que foram preenchidos e comentados por dois especialistas convidados. As questões fornecidas e as respostas obtidas são apresentadas nesta seção.

6.2.1 Avaliação 1

Local de trabalho (Hospital/Departamento): Hospital Universitário da USP/Unidade de Terapia Intensiva

a) Você concorda com a organização dos arcos da rede?

Sim.

b) Os nós que representam fatores de risco, causas diretas ou indiretas de doenças cardíacas são: *Doença_Chagas*, *Consumo_Álcool*, *HAS*, *Dislipidemia*, *Fumo*, *DM*, *Doença_Arteriosclerótica_Vascular*, *Antecedente_Familiar_ICO*, *Idade* e *Febre_Reumática*. Quais destes nós não deveriam estar presentes e quais outros fatores deveriam ser adicionados? Por que?

HAS deveria ter um arco para Arteriosclerose Coronária.

c) A mesma questão para os nós referentes ao mecanismo fisiológico – *Insuficiência_Cardíaca*, *Arteriosclerose_Coronária*, *Insuficiência_Coronária*, *Sintomas_Ins_Coronária*, *Valvopatia*, *Hipertensão_Pulmonar_Venosa_Sistêmica*,

Nível_Ativação_N-H, Doença_Pulmonar.

Sem alteração.

d) A mesma questão para os nós referentes a sintomas e resultados de exames – *Dispnéia, Tosse_Seca, Ascite, Hepatomegalia, Edema_MMII, Derr_Pleural, Alterações_EF, Alterações_ECG, Alterações_RaioX, Alterações_ECO.*

Sem alterações.

e) Existe algum nó que deveria possuir mais ou menos categorias?

Nível de Ativação Neurohormonal -> deveria ser definido por outros critérios (está muito vago).

f) Qual a sua opinião sobre o nível de complexidade da rede?

Complexidade baixa.

6.2.2 Avaliação 2

Local de trabalho (Hospital/Departamento): Hospital Universitário da USP/Divisão de Clínica Médica.

a) Você concorda com a organização dos arcos da rede?

Sim.

b) Os nós que representam fatores de risco, causas diretas ou indiretas de doenças cardíacas são: *Doença_Chagas, Consumo_Álcool, HAS, Dislipidemia, Fumo, DM, Doença_Arteriosclerótica_Vascular, Antecedente_Familiar_ICO, Idade e Febre_Reumática.* Quais destes nós não deveriam estar presentes e quais outros fatores deveriam ser adicionados? Por que?

Doença arteriosclerótica vascular não é causa ou fator de risco de dc cardíaca, é apenas um marcador da presença de doença coronária.

c) A mesma questão para os nós referentes ao mecanismo fisiológico – *Insuficiência_Cardíaca, Arteriosclerose_Coronária, Insuficiência_Coronária, Sintomas_Ins_Coronária, Valvopatia, Hipertensão_Pulmonar_Venosa_Sistêmica,*

Nível_Ativação_N-H, Doença_Pulmonar.

Como o nó nível de ativação N-H será medido (ou que parâmetro será usado para entrar com um dado numérico – uma probabilidade neste nó?).

d) A mesma questão para os nós referentes a sintomas e resultados de exames – *Dispnéia, Tosse_Seca, Ascite, Hepatomegalia, Edema_MMII, Derr_Pleural, Alterações_EF, Alterações_ECG, Alterações_RaioX, Alterações_ECO.*

Acho que dispnéia tem que ser mais bem especificada, o mesmo em relação a alterações E.F. (estase jugular, ictus desviado, etc).

e) Existe algum nó que deveria possuir mais ou menos categorias?

Alterações de E.F. – mais categorias.

Dispnéia – mais categorias.

f) Qual a sua opinião sobre o nível de complexidade da rede?

Bom.

6.2.2 Resumo das avaliações

Os especialistas consultados concordaram com a maior parte da rede, sendo notadas apenas duas sugestões de alterações estruturais e três em relação a categorias. As alterações estruturais referem-se à adição de um arco entre *HAS* e *Arteriosclerose_Coronária*, e à remoção de *Doença_Arteriosclerótica_Vascular*. As modificações em relação a categorias referem-se a um maior número de categorias para os nós *Alterações_EF*, *Nível_Ativação_N-H* e *Dispnéia*.

Dado que a quantificação das probabilidades da rede já tinha sido realizada e alterações, especialmente na estrutura de nós e arcos, requerem uma significativa modificação nas probabilidades, as sugestões apresentadas serão consideradas em uma possível revisão futura da rede.

Capítulo 7

CONSTRUÇÃO DE SOFTWARE

Durante o desenvolvimento do sistema especialista, também foi um construído um software, livremente distribuído, que tem como objetivo a criação e manipulação de redes Bayesianas. O objetivo da construção deste software foi obter uma ferramenta, de uso livre e gratuito, que possibilitasse a utilização da rede Bayesiana desenvolvida neste trabalho de uma forma prática, o que não se encontrava em outras ferramentas para redes Bayesianas livremente disponíveis. A principal limitação entre outros softwares de uso livre pesquisados era a impossibilidade de visualizar todas as probabilidades marginais da rede em uma única tela.

O software, denominado iBNetz, foi programado na linguagem de programação Java (JAVA, 2004), utiliza a biblioteca EmBayes (EMBAYES, 2004) para inferência bayesiana, e a biblioteca SWT/GEF (ECLIPSE, 2004) para componentes gráficos. O software pode ser executado em ambientes Windows, Unix, Linux e similares, desde que estejam disponíveis o ambiente de execução Java e a biblioteca SWT/GEF.

As principais funcionalidades do iBNetz estão relacionadas à manipulação de redes Bayesianas, como abrir e salvar redes, impressão, alteração de nós, arcos e probabilidades, inserção de observações, e execução de inferências. Outras funcionalidades auxiliares incluem a configurações visuais, idioma, e console para exibição de mensagens.

Para executar o software é necessária a instalação de uma máquina virtual Java, versão 1.2 ou superior, e das bibliotecas SWT e GEF, versão 2.0 ou superior.

O iBNetz pode ser obtido no site <http://www.pmr.poli.usp.br/ltd/People/asaheki>. Para sua instalação é necessário descompactar o arquivo no disco local. O software pode ser iniciado a partir do comando:

```
java iBNetzStart -classpath .:[caminho para swt.jar];[caminho para gef.jar]
```

Na primeira utilização do software, deve-se escolher o idioma no qual o

software será usado (português ou inglês). Após isso, é possível iniciar a manipulação de redes Bayesianas.

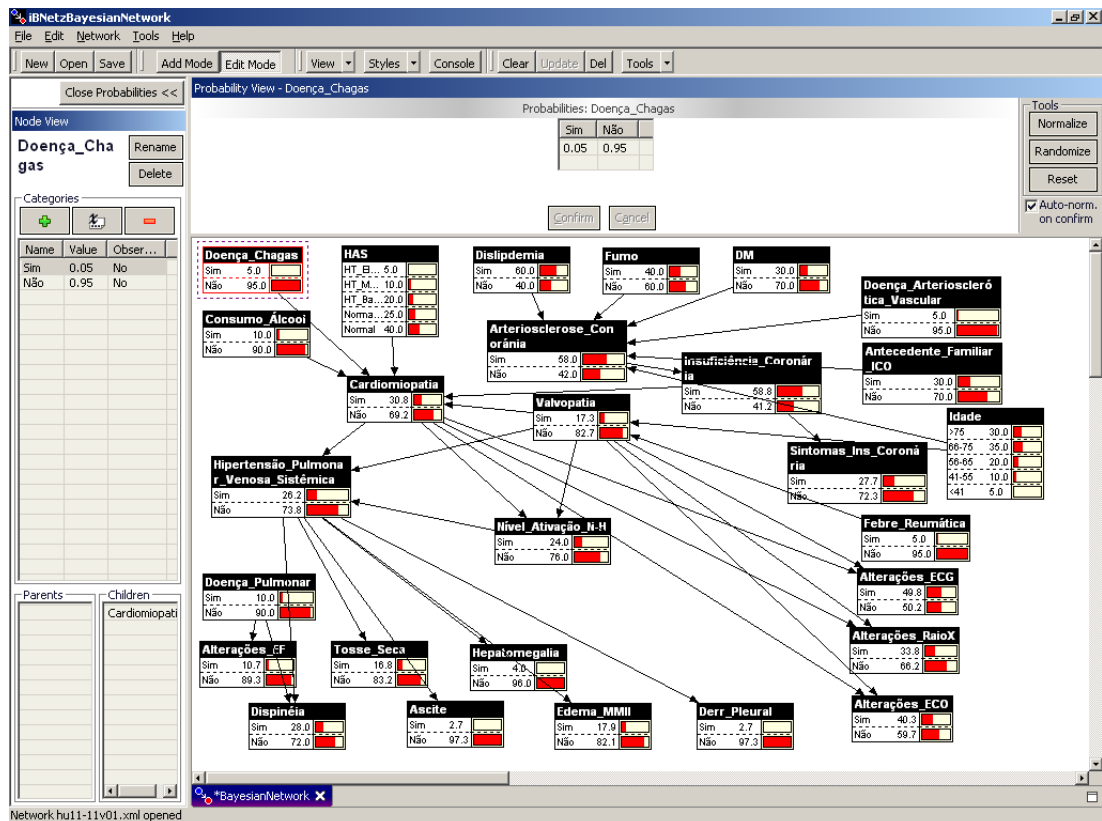


Figura 7.1: iBNetz

A Figura 7.1 mostra a interface do programa iBNetz. Todas as funções do software estão disponíveis a partir da interface gráfica, com navegação a partir de mouse e teclado.

Uma das considerações no desenvolvimento do iBNetz foi relativo à facilidade de uso do mesmo. Um dos principais públicos-alvo para o software são médicos interessados em conhecer ou utilizar a rede construída neste trabalho. Para

os médicos, deve ser mais interessante observar os resultados práticos da rede do que conhecer o mecanismo de funcionamento das redes Bayesianas.

A consideração anterior levou à criação de uma interface específica para a rede de diagnóstico de doenças cardíacas. Esta interface foi adicionada ao iBNetz e pode ser utilizada ao invés da interface usual para redes Bayesianas.

Dados paciente		Exames e sintomas		Probabilidades calculadas	
Idade	41-55	Edema_MMII	Desc.	Valvopatia	22.3 %
HAS	Desc.	Alterações_EF	Desc.	Nível_Ativação_N-H	53.1 %
Doença_Chagas	Desc.	Alterações_ECO	Sim	Insuficiência_Coronária	53.7 %
Dislipidemia	Desc.	Alterações_ECG	Sim	Arteriosclerose_Coronária	51.7 %
DM	Desc.	Alterações_RaioX	Desc.	Insuficiência_Cardiaca	87.2 %
Consumo_Álcool	Desc.	Doença_Pulmonar	Desc.	Hipertensão_Pulmonar_Venosa_Sistêmica	57.1 %
Antecedente_Familiar_ICO	Não	Ascite	Desc.	Doença_Arteriosclerótica_Vascular	6.1 %
Fumo	Desc.	Febre_Reumática	Desc.		
		Tosse_Seca	Desc.		
		Hepatomegalia	Desc.		
		Dispnéia	Desc.		
		Derr_Pleural	Desc.		
		Sintomas_Ins_Coronária	Desc.		

Figura 7.2: Interface para a rede “Diagnóstico de Doenças Cardíacas”

A Figura 7.2 mostra a interface para a utilização da rede desenvolvida neste trabalho. Esta interface limita as variáveis que podem ser observadas de modo que somente seja possível inserir observações correspondentes a dados normalmente

disponíveis no uso da rede. As variáveis presentes na coluna esquerda referem-se aos dados do paciente, na coluna central aos exames e sintomas, e na coluna direita aos mecanismos fisiológicos. As colunas esquerda e central podem ser modificadas, inserindo-se observações, enquanto que a coluna direita é utilizada apenas para visualização do resultado do processo de inferência.

Capítulo 8

CONCLUSÃO

Este trabalho teve como foco a construção de um sistema especialista destinado ao auxílio à decisão médica. O sistema desenvolvido é voltado, inicialmente, ao ensino de conceitos probabilísticos e sistemas especialistas a médicos, e à demonstração de uma aplicação prática de inteligência artificial. Pode-se, no futuro, analisar a viabilidade de utilizar-se a rede desenvolvida em um ambiente real. O texto desta dissertação seguiu, em linhas gerais, a ordem cronológica em que as diversas fases do processo foram executadas.

Para a construção de qualquer sistema especialista voltado à área médica, as fases iniciais - escolha de metodologia de construção e definição do problema médico - são de crucial relevância para as fases seguintes. A escolha das redes Bayesianas como ferramenta computacional é uma das maneiras de possibilitar a criação de sistemas especialistas de forma gradual, à medida que são obtidas informações do domínio médico. O desenvolvimento da estrutura de uma rede Bayesiana, com o auxílio de especialistas médicos, pode ser feito independentemente das probabilidades da rede, até que se chegue a uma rede cujos nós e arcos reflitam um consenso entre as pessoas envolvidas no trabalho.

A quantificação das probabilidades, em um estágio posterior, pode encaminhar-se de duas maneiras: a partir de especialistas do domínio médico escolhido ou utilizando-se uma base de dados de casos clínicos. Cada uma destas maneiras tem vantagens e desvantagens, que devem ser analisadas a fim de se escolher o processo de quantificação mais apropriado para cada sistema especialista.

Nesta dissertação, foi apresentada uma rede destinada ao diagnóstico de doenças cardíacas, em especial a insuficiência cardíaca, cujo ambiente proposto de uso são postos de saúde da rede pública da cidade de São Paulo.

A criação da estrutura da rede e a quantificação das probabilidades foi feita com o auxílio de especialistas. A estrutura da rede foi obtida a partir de dados bibliográficos e reuniões com um especialista médico. As probabilidades foram obtidas através de técnicas de elucidação e posterior correções dos valores iniciais.

Uma das maiores dificuldades durante a elucidação é o excessivo número de probabilidades a serem obtidas, sendo muitas vezes conveniente e benéfica a utilização de modelos matemáticos simplificados.

Um destes modelos, denominado *noisy-or*, foi utilizado neste trabalho. A obtenção de resultados coerentes entre as probabilidades especificadas através do modelo *noisy-or* e o funcionamento da rede mostra que, em determinados casos, esse tipo de modelagem pode ser usado de forma proveitosa. O caso em que este modelo mostra-se mais adequado é em nós com um elevado número de pais, e em que os pais têm características em comum, por exemplo, todos representam fatores de risco de uma doença. O trabalho desenvolvido também propôs um aprimoramento do modelo *noisy-or*, fornecendo uma extensão do modelo para nós pais não-binários.

A última fase executada no trabalho foi a avaliação da rede, através da simulação de casos de uso e avaliação por especialistas. Os casos de uso tiveram como resultados a constatação da coerência da rede face às probabilidades especificadas e desempenho considerado adequado segundo o especialista consultado. A avaliação com outros especialistas proporcionou a obtenção de pontos de vista distintos em relação a partes da rede, podendo tais opiniões virem a ser utilizadas em revisões futuras.

Paralelamente à construção da rede, foi desenvolvido um software destinado à criação e manipulação de redes Bayesianas. Este software tem como características o código fonte aberto, disponibilidade pela Internet e uma interface gráfica que possibilita uma melhor apresentação visual de redes Bayesianas em relação a outros softwares existentes.

Para a realização de trabalhos futuros propõe-se a realização de testes práticos com a rede, análise de sensibilidade, e desenvolvimento de interfaces e aplicações. Os testes práticos podem ser feitos em postos de saúde ou hospitais, com a cooperação de médicos e outros profissionais desses estabelecimentos. Tal avaliação pode ser altamente valiosa para determinar a viabilidade do uso da rede na prática médica. A análise de sensibilidade determina a influência que as alterações nas probabilidades dos nós têm no comportamento da rede. Dessa forma, pode-se escolher da maneira mais proveitosa em quais partes da rede será concentrado o esforço em obter-se probabilidades mais “corretas”, isto é, que reflitam melhor a

realidade. Também podem ser estudadas novas interfaces que possibilitem uma utilização mais intuitiva da rede Bayesiana do que as oferecidas pelo iBNetz. Esse tipo de melhoria pode facilitar o uso da rede em situações práticas e também em aplicações de ensino. Algumas aplicações de ensino sugeridas são apresentação de sistemas especialistas a médicos e criação de páginas na Internet demonstrando o raciocínio médico.

Conclui-se aqui esperando ter sido possível apresentar de forma clara a construção de sistemas especialistas baseados em redes Bayesianas, a utilização do modelo matemático *noisy-or* e sua extensão proposta neste trabalho, e a apresentação do software iBNetz para redes Bayesianas.

REFERÊNCIAS

(BATLOUNI et al, 1999) BATLOUNI, M. et al. II Diretrizes da Sociedade Brasileira de Cardiologia para o Diagnóstico e Tratamento da Insuficiência Cardíaca. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, v.72, suplemento I, 1999.

(BEINLICH et al, 1989) BEINLICH, I.A et al. The ALARM monitoring system: a case study with two probabilistic inference techniques for belief networks. *Proceedings of the Second Conference on Artificial Intelligence in Medicine*, p.247-256, 1989.

(BUCHANAN; SHORTLIFE, 1984) BUCHANAN, B. G.; SHORTLIFE, E.H. *Rule-Based Expert Systems: The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1984.

(COWELL et al, 1999) COWELL, R.G. et al. *Probabilistic Networks and Expert Systems*. New York: Springer, p.5-23, 1999.

(DARMONI et al, 1995) DARMONI, S.J. et al. *From general reasoning in drug poisoning to specific attitudes in human and in SETH. Computer as an aid in poison centres*. Lille, 1995.

(DIÉZ, 1993) DIÉZ, F.J. Parameter adjustment in BN's. The generalized noisy OR-gate. In: *Proceedings of the 9th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*. Morgan Kaufmann, p. 99-105, 1993.

(DIÉZ et al, 1997) DIÉZ, F.J. et al. DIAVAL, a Bayesian expert system for echocardiography. *Artificial Intelligence in Medicine*, v.10, p.59–73, 1997.

(ECLIPSE, 2004) ECLIPSE. *The Eclipse Project Main Page*. Disponível em: <<http://www.eclipse.org/>>. Acesso em: out. 2004.

(EMBAYES, 2004) EMBAYES. *Embedded Bayesian Networks*. Disponível em: <<http://www.pmr.poli.usp.br/ltd/>>. Acesso em: out. 2004.

(FAUSETT, 1994) FAUSETT, L.V. *Fundamentals of Neural Networks*. Prentice Hall, 1994.

(HEART DISEASE PROGRAM, 2004) HEART DISEASE PROGRAM. *Clinical Decision Making Group MIT*. Disponível em: <<http://medg.lcs.mit.edu/projects/hdp/>>. Acesso em: out. 2004.

(HECKERMAN; GEIGER; CHICKERING, 1995) HECKERMAN, D.; GEIGER, D.; CHICKERING, D. Learning Bayesian networks: The combination of knowledge and statistical data. *Machine Learning*, v.20, n.3, p.197-243, 1995.

(HECKERMAN; BREESE, 1994) HECKERMAN, D.; BREESE, J. A new look at causal independence. In: *Proceedings of the 10th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*. Morgan Kaufmann, p.286-226, 1994.

(JAVA, 2004) JAVA. *Java Technology*. Disponível em: <<http://java.sun.com/>>. Acesso em: out. 2004.

(JENSEN, 2001) JENSEN, F.V. *Bayesian Networks and Decision Graphs*. New York: Springer, 2001.

(KUPERMAN; GARDNER; PRYOR, 1991) KUPERMAN, G.J.; GARDNER, R.M.; PRYOR, T.A. *The HELP System*. Springer-Verlag: New York, 1991.

(NIKOVSKI, 2000) NIKOVSKI, D. Constructing Bayesian networks for medical diagnosis from incomplete and partially correct statistics. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, v.12, n.4, p.509–516, 2000.

(PEARL, 1988) PEARL, J. *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference*. San Mateo: Morgan Kaufmann, 1988.

(REMME; SWEDBERG, 2001) REMME, W.J.; SWEDBERG, K. Task force for the diagnosis and treatment of chronic heart failure of the European Society of Cardiology, guidelines for the diagnosis and treatment of chronic heart failure. *European Heart Journal*, v.22, p.1527-1560, 2001.

(REMME; SWEDBERG, 2002) REMME, W.J.; SWEDBERG, K. Comprehensive guidelines for the diagnosis and treatment of chronic heart failure. *European Journal of Heart Failure*, v.4, n.1, p.11-22, 2002.

(RENOOIJ, 2001) RENOOIJ, S. *Qualitative Approaches to Quantifying Probabilistic Networks*. Ph.D. Thesis - Institute for Information and Computing Sciences, Utrecht University. The Netherlands, 2001.

(RYMON, 1993) RYMON, R. *TraumAID 2.0 - Integrating Goal-Directed Diagnosis and Planning*. Ph.D. Thesis - University of Pennsylvania. United States of America, 1993.

(SPIEGELHALTER, 1987) SPIEGELHALTER, D.J. Probabilistic expert systems in medicine. *Statistical Science*, v.2, n.1, p.3-44, 1987.

(SRINIVAS, 1993) SRINIVAS, S. A generalization of the noisy-OR model. In: *Proceedings of the 9th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*. Morgan Kaufmann, p.208-218, 1993.

(VAN DER GAAG et al, 2002) VAN DER GAAG, L.C. et al. Probabilities for a probabilistic network: a case study in oesophageal cancer. *Artificial Intelligence in Medicine*, v.25, p.123-148, 2002.

(WETTER, 2002) WETTER, T. Editorial, Lessons learnt from bringing knowledge-based decision support into routine use. *Artificial Intelligence in Medicine*, v.24, p.195-203, 2002.

(WINSTON, 1992) WINSTON, P. *Artificial Intelligence*. Addison-Wesley Publishing Company, 1992.

GLOSSÁRIO

Nota: parte das definições foram extraídas ou adaptadas dos sites “Hospital Das Clínicas Da Faculdade De Medicina Da Universidade de São Paulo – Dicionário Médico para Leigos” (<http://www.hcnet.usp.br/dicionario/>) e Boa Saúde – Dicionário Médico (<http://boasaude.uol.com.br/dic/>).

Angiotensina: hormônio que causa aumento da pressão de filtração, por exercer efeito vasoconstritor.

Arritmia cardíaca: o coração possui atividade elétrica própria que consiste na geração e transmissão de estímulos. Distúrbios destas propriedades resultam em alterações do ritmo cardíaco ou arritmia cardíaca.

Arteriosclerose coronária: doença degenerativa das artérias coronárias, caracterizada por espessamento a parede por acúmulo de camadas de material depositado, principalmente cristais de colesterol e cálcio.

Ascite: presença de líquido na cavidade peritoneal (abdome).

Bloqueio cardíaco: alterações na condução de impulsos elétricos no coração, causando uma diminuição da frequência de batimentos cardíacos.

Cardiomegalia: aumento da área do coração.

Derrame pleural: acúmulo de líquido no espaço pleural (tórax)

Diabetes melitus: doença sistêmica, metabólica, crônica, causada por deficiência de insulina.

Dislipidemia: alterações da concentração de lipídeos no sangue. Os lipídeos são responsáveis por várias funções (produção e armazenamento de energia, absorção de vitaminas, etc.), mas o excesso está relacionado à arteriosclerose. Este processo ocorre em vasos onde há instalação de lesões em forma de placas, causando obstrução ao fluxo sanguíneo.

Dispneia: dificuldades respiratórias, falta de ar.

Doença arteriosclerótica vascular: estreitamento dos vasos sanguíneos que levam sangue aos membros periféricos.

Doença de Chagas: doença causada pelo protozoário *Trypanosoma cruzi*, que tem como uma de suas principais conseqüências a lesão dos vasos sanguíneos.

Ecocardiografia: procedimento de complementação diagnóstica que fornece informações sobre anatomia (válvulas, septos, vasos da base, paredes e cavidades), fisiologia (funções ventriculares direita e esquerda), parâmetros hemodinâmicos e avaliação dos fluxos sanguíneos e intracardíacos.

Edema: infiltração difusa em diversos tecidos especialmente subcutâneo e submucoso devido ao aumento do líquido intersticial.

Eletrocardiograma: exame que avalia a atividade do músculo cardíaco.

Exame físico: avaliação das propriedades respiratórias de um paciente durante a prática de atividades físicas.

Febre reumática: complicação causada pela infecção da bactéria estreptococo.

Função sistólica/diastólica: a função sistólica refere-se à contração cardíaca e a diastólica ao relaxamento.

Hemodiálise: filtragem do sangue por meio de aparelhos destinada a pacientes com problemas renais.

Hepatomegalia: aumento anormal do tamanho do fígado.

Hipertensão arterial sistêmica: pressão arterial elevada.

Hipertensão pulmonar venosa sistêmica: pressão aumentada na circulação pulmonar ocasionada por diversa doenças.

Hipovolemia: diminuição do volume de sangue secundário a hemorragias, desidratação ou seqüestro de sangue para um terceiro espaço (por exemplo, peritônio).

Infarto do miocárdio: lesão do músculo cardíaco decorrente da falta de aporte de oxigênio por obstrução da artéria que o irriga por placa de aterosclerose.

Insuficiência coronária: deficiência das artérias coronárias em realizar adequadamente suas funções.

Insulina: hormônio produzido pelo pâncreas, cuja função mais importante é a regulação da entrada de glicose no interior das células. Sua carência, absoluta ou relativa, determina a aparição de diabetes Melitus.

Mal de Alzheimer: doença mental cujos principais sintomas são esquecimentos, dificuldade de concentração, desorientação no tempo e no espaço, dificuldade para encontrar palavras e para nomear objetos, dificuldade para fazer cálculos e desenhos simples.

Metástases: tumor em localização diferente do local do tumor primário.

Miocárdio: músculo cardíaco

Neoplasia: crescimento e multiplicação anormal de células, podendo ser maligna, também denominado câncer, com as características de invasão e destruição tecidual ou benigna, forma não invasiva e localizada.

Nível de ativação neuro-hormonal: nível dos hormônios que regulam o sistema circulatório.

Psicogênico: causado por motivos psicológicos.

Sepse: infecção produzida por um germe capaz de provocar uma resposta inflamatória em todo o organismo

Sopro cardíaco: som produzido pela alteração na turbulência dos fluxos cardíacos, devido a anormalidades nas válvulas e divisões cardíacas. Também pode ser ouvido em pessoas normais sem doença prévia (sopro benigno ou inocente).

Tosse seca: tosse devida a doenças pulmonares.

Tratamento paliativo: tratamento destinado a redução dos sintomas de uma doença.

Valvopatia: doença adquirida ou congênita de uma válvula cardíaca. A alteração resultante pode ser manifestada por uma diminuição da abertura da mesma (estenose), pela incapacidade de fechamento da mesma (insuficiência) ou por uma combinação dos dois tipos de defeitos.