

Rede Bayesiana para detecção da intensidade da dor

Anita Maria da Rocha Fernandes
anita.fernandes@univali.br
UNIVALI

Clavison Zapelini
clavison.zapelini@unisul.br
UNISUL

Eros Comuello
eros.com@univali.br
UNIVALI

Resumo: A dor é subjetiva e pessoal, e, saber a intensidade da dor que uma pessoa está sentindo possibilita a adequação de intervenções médicas necessárias, a fim de não medicá-la de forma excessiva e nem tampouco deixá-la permanecer com dor. Esta dissertação apresenta uma proposta para mensurar a intensidade de dor em seres humanos, a partir do desenvolvimento de um sistema computacional, baseado em Redes Bayesianas, que é capaz de analisar dados provenientes dos sinais biomédicos, além de outras variáveis relacionadas à dor. Com a certeza da ocorrência de qualquer variável, o sistema computacional faz a inferência para mensurar probabilisticamente a intensidade da dor que a pessoa está sentindo. A dor foi simulada com a imersão do braço no gelo de pessoas que se comunicavam verbalmente, e, analisadas as alterações biomédicas (pressão arterial, e oxigenação, temperatura, frequência cardíaca e respiratória) e emocionais (ansiedade, palidez, tensão muscular, posição corporal e expressão facial) que ocorreram em decorrência dela. A partir da comparação entre as respostas nas escalas analógicas de dor e os resultados apresentados, foi feita a modelagem de uma rede causal e estabelecidos valores probabilísticos. Os resultados obtidos comprovaram a eficiência da Rede Bayesiana para inferir probabilisticamente a intensidade da dor, porém para maior refinamento nos resultados é necessário uma amostra com um número maior de participantes.

Palavras Chave: dor - avaliação da dor - redes bayesianas - sinais biomédicos -



1. INTRODUÇÃO

Grande parte das pessoas sabe o que é sentir dor, sendo capaz inclusive de mensurar a sua própria dor de forma a identificar se é leve ou forte. Porém, ao se deparar com a reclamação de outra pessoa, a tentativa de comparar o incômodo do outro com as experiências próprias, torna-se ineficiente, pois cada pessoa a sente de forma diferente. Além dos fatores fisiológicos, a intensidade da dor que uma pessoa sente também vem carregada de uma série de fatores emocionais, como por exemplo, medo, experiências anteriores ou até mesmo restrições do possível tratamento. Todos esses fatores influenciam no grau de desconforto que se está sentindo.

A IASP (International Association for Study of Pain) define a dor como uma experiência subjetiva, desagradável, sensitiva e emocional, associada com lesão real ou potencial dos tecidos ou descrita em termos dessa lesão, sendo vivenciada por quase todas as pessoas. A dor também é, geralmente, o motivo que leva as pessoas a procurar o sistema de saúde (IASP, 2007). A tentativa de medir a intensidade da dor se justifica no sentido de amenizá-la da forma menos evasiva possível, mensurando corretamente os procedimentos e medicamentos a serem administrados, além de acompanhar a evolução do tratamento. Porém, a intensidade, ou seja, o tamanho, o grau, a quantidade, a proporção, a magnitude de dor que cada pessoa sente é única e exclusivamente da pessoa que a está sentindo, de forma que se torna subjetiva sua medição. Não existe um valor numérico, simbólico ou verbal para fazer a medida da dor, como por exemplo, a medida da temperatura corporal que se dá através de graus Celsius, ou ainda a medida da pressão arterial que pode ser feita através de um equipamento específico (SCOPEL; ALENCAR; CRUZ, 2007).

Em Scopel, Alencar e Cruz (2007), os métodos de avaliação do fenômeno doloroso foram divididos em três categorias: medida de respostas fisiológicas da dor, observações de comportamentos relacionados à dor, descrições verbais ou escritas da dor bem como variáveis associadas a esta. Neste estudo, os autores explicam cada categoria definida, de forma que as respostas fisiológicas da dor são observadas em laboratório com o objetivo de identificar a fisiologia, a tolerância e a resistência da dor, ou seja, são analisados os fatores fisiológicos independentes, mantendo o foco na causa da dor. As observações do comportamento consistem nos registros de limitações funcionais em função da dor, por exemplo, se um determinado paciente reclama de dor óssea nos membros inferiores, mas consegue caminhar, o profissional pode inferir que a dor por ele sentida é leve. Os autores concluem que o método mais utilizado pelos profissionais de saúde se refere às descrições verbais ou escritas da dor, que consistem em etapas que seguem metodologias definidas, tais como: escalas de dor, entrevistas, testes psicológicos, técnicas projetivas e acompanhamentos chamados de diários de dor. Afirmam ainda, que essas metodologias possibilitam a compreensão da subjetividade do paciente e de diversas outras variáveis não acessadas pelos dois outros métodos.

Todos esses métodos acabam sendo subjetivos pelo fato de que diversos fatores emocionais e sensoriais influenciam na percepção do paciente no momento de relatar a própria dor (IASP, 2007). Além dessas influências, os pacientes que estão impossibilitados de se comunicar, como os com doenças neurológicas severas, pós-cirúrgicos, pacientes em coma ou ainda crianças que não falam, dependem apenas da percepção do profissional que subjetivamente infere a intensidade da sua dor, considerando apenas os aspectos fisiológicos da causa da dor. Desta forma, percebe-se que as técnicas utilizadas atualmente para medir a intensidade da dor não são totalmente confiáveis e principalmente não se aplicam aos pacientes que não se comunicam (ROLO, 2009).

Uma vez que a dor é o sintoma que alerta para a ocorrência de lesões no organismo, ela é fundamental para a preservação da integridade do indivíduo, porém o desconforto



causado por ela deve ser minimizado após ser identificado o motivo que a gerou. A percepção da dor ocorre no cérebro, após os sinais do sistema nervoso serem captados e conduzidos por nervos periféricos primários que sucessivamente se conectam as sinapses e aos neurônios (TAZAWA, 2006). Teixeira (2001) afirma que, qualquer que seja a natureza da dor, dela resulta tanto modificações físicas quanto psíquicas no organismo.

Após a percepção da dor pelo sistema nervoso central, o cérebro envia estímulos para todo o organismo, a fim de avisar que algo está errado (MIRANDA, 2009). Muitos órgãos do corpo, como o cérebro, por exemplo, manifestam suas funções através de atividades elétricas. Os sinais emitidos por órgãos do corpo humano são chamados de sinais biomédicos (ADUR, 2008; MIRANDA, 2009). Miranda (2009) estudou os seguintes sinais biomédicos para avaliar a dor: Pressão Arterial Sistólica, Pressão Arterial Diastólica, Frequência Respiratória (taquipnéia) e Frequência Cardíaca, com vistas a definição de um modelo de sinais biomédicos que se alteram nos momentos de dor pós-operatória de cirurgias cardíacas. Rigotti e Ferreira (2005), além dos fatores fisiológicos constatados por Miranda (2009), elencam também outros sinais emitidos pelo organismo que estão associados a dor: palidez, sudorese e alteração da tensão muscular. Além dos fatores fisiológicos, Rigotti e Ferreira (2005) também afirmam que a relação entre a lesão e a dor causada por essa lesão não é exclusiva ou direta, uma vez que na experiência dolorosa fatores sensitivos, emocionais, cognitivos e socioculturais também devem ser considerados. Andrade, Barbosa e Barichelo (2010) em seus estudos utilizam as variáveis dos estudos de Miranda (2009) e Rigotti e Ferreira (2005) acrescentando mais duas: náuseas e vômitos. As variáveis mencionadas nesses três estudos possuem padrões de normalidade, que são explicitados a seguir.

A Sociedade Brasileira de Cardiologia (2007) em suas diretrizes de hipertensão arterial aponta padrões de medidas da pressão arterial (PA) satisfatória. A pressão sistólica (que representa a contração miocárdica) apresenta-se em valores entre 130-139 mmHg e a pressão diastólica (que representa o relaxamento cardíaco no enchimento de sangue pelo coração) oscila em até 85-89 mmHg (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CARDIOLOGIA, 2007).

A avaliação dos valores para a frequência respiratória (FR) também são padronizados nas mesmas diretrizes da Sociedade Brasileira de Cardiologia, sendo consideradas satisfatórias, nos homens, quando a quantidade de ventilações no período de um minuto se mostra na faixa de 14-18 movimentos respiratórios (mrpm). Nas mulheres, a frequência padrão passa a ser de 16-20 (mrpm). A temperatura corpórea externa (T) refere-se ao calor produzido pelo organismo para manter o equilíbrio interno. Os padrões para pessoas adultas, em medida axilar, variam entre 35,8° e 37,4°. A frequência Cardíaca (FC), por sua vez, é produzida pelas contrações ventriculares, cujo padrão para pessoas adultas variam entre 60-100 batimentos por minuto (TIMBY, 2007 *apud* MIRANDA, 2009). Os estudos de Miranda (2009), Rigotti e Ferreira (2005) e de Andrade, Barbosa e Barichelo (2010), concluíram que a pressão arterial, frequência respiratória, frequência cardíaca e temperatura, os chamados sinais vitais, se alteram em decorrência de eventos dolorosos, em função da fisiologia da dor.

Além das variáveis biomédicas, Pereira e Zago (1998) estudaram os aspectos culturais que influenciam na dor. As variáveis levantadas pelas autoras consideram que a dor é uma experiência pessoal que depende da aprendizagem cultural, do significado da situação para o indivíduo e de outros fatores únicos ao indivíduo. O estudo determinou quatro categorias relacionadas com os aspectos culturais que influenciam na intensidade da dor: a primeira é o tipo de dor (variável que se refere ao local da dor e a presença de drenos, sondas, punções, pinos ou outros procedimentos médicos e de enfermagem). Quanto maior a sensibilidade do local, independente da lesão, o paciente infere uma dor maior, da mesma forma que a presença de procedimentos médicos e de enfermagem também aumentam a intensidade relatada.



A segunda categoria determinada por Pereira e Zago (1998) se refere à expectativa do paciente pela dor. Se há uma preparação para a dor, como por exemplo, procedimentos ou cirurgias agendadas, a significância pode ter dois resultados: quando a dor é esperada e aceita, considerada como normal, a intensidade sentida pelo paciente é menor. Quando a dor é esperada, mas não aceita, a intensidade é maior. Quando não há uma preparação para a dor, essa variável não interfere no sentimento da dor.

No mesmo estudo, as autoras abordam a terceira categoria que tange o significado da dor para o paciente. Quando o significado da dor traz perturbações físicas e psicológicas em que o paciente não tem perspectivas de cura, ela se torna mais intensa. Por sua vez, quando há o conhecimento de que a dor é temporária e que logo depois de amenizada tenderá a não se repetir, a intensidade é menor.

A última categoria relacionada por Pereira e Zago (1998) refere-se aos comportamentos de reação a dor. Esta categoria diz respeito ao comportamento do paciente no momento em que sentiu a dor, dirigidos pelo seu conhecimento cultural ou experiências anteriores. Quando o paciente sabe o que fazer, como por exemplo, procurar tratamento, ou ainda, se ele tem condições de acessar o tratamento, a dor é melhor suportada do que quando ele não sabe ou não pode criar uma estratégia que leve a supressão da dor. Também se houve experiência anterior em que o sofrimento em decorrência da dor foi logo amenizado, a intensidade relatada é menor do que quando a experiência anterior foi traumática. O paciente também apresenta reações não-verbais de reação a dor: expressão facial, choro e mudança constante da posição corporal (PEREIRA; ZAGO, 1998).

Com base nos estudos descritos até o momento, a intensidade da dor pode ser inferida através da análise de sinais biomédicos como também pela compreensão de fatores culturais em que está inserido o paciente que está sentindo a dor. Para inferir a intensidade da dor, todas essas variáveis devem ser consideradas e, principalmente, relacionadas de forma que a presença de uma única variável ou de mais de uma variável diminuirá ou aumentará as probabilidades de menor ou maior intensidade na dor.

Cabe salientar, que em nenhum dos trabalhos mencionados anteriormente foi proposto um modelo computacional ou mesmo uma técnica para solucionar o problema. Buscou-se, na verdade, apenas apresentar as variáveis e, eventualmente, as relações causa e efeito no diagnóstico da dor. Uma técnica computacional utilizada para modelar a incerteza, bem como as relações de causa e efeito através de probabilidades são as Redes Bayesianas, ou também conhecidas como Sistemas Especialistas Probabilísticos. Uma Rede Bayesiana (RB) é um modelo matemático baseado em nós e arcos que representam, respectivamente, as variáveis de um universo $U=(A1,A2,..., An)$ e as dependências entre estas (KORB; NICHOLSON, 2004). Deste modo, pode-se dizer que uma RB é a representação compacta das variáveis do universo de um problema através de um modelo probabilístico. O modelo matemático utilizado na representação das RBs possibilita lidar com incertezas através de técnicas probabilísticas. As Redes Bayesianas permitem que quaisquer variáveis possam ser consideradas como pergunta (*query*) ou evidência (*evidence*), permitindo quatro tipos de inferências: diagnóstico (de efeito para causa); causal (de causas para evidências); inter-causal (entre causas de um efeito comum) e mista (combina duas ou mais das anteriores) (MILHO; FRED, 2002).

A medicina, por exemplo, é uma área em que a utilização de redes probabilísticas vem sendo difundida. Elas são utilizadas para modelar as incertezas quanto aos diagnósticos. Um exemplo é a aplicação para apoio ao diagnóstico de cardiopatias congênitas fetais, desenvolvida no âmbito do projeto SEAMED probabilístico, que realizou testes no Instituto de Cardiologia de Porto Alegre no Rio Grande do Sul (LADEIRA, 2000). Além do sistema



SEAMED, as Redes Bayesianas estão sendo utilizadas na saúde para o diagnóstico da doença de Alzheimer, do sono e de doenças cardíacas.

Cinco etapas para a modelagem de uma Rede Bayesiana foram definidas por Peter (2004):

1 – **Seleção de variáveis relevantes:** faz-se necessário fazer um levantamento de todas as possíveis variáveis que fazem parte do problema. Para isso, costuma-se realizar entrevistas com o especialista na área do processo.

2 – **Identificação do relacionamento entre as variáveis:** após a identificação das variáveis, é necessário verificar como as mesmas se relacionam, ou seja, definir a causa e efeito que leva uma variável a interferir na outra. Essas casualidades também estão relacionadas com o conhecimento do especialista sobre o acontecimento de determinados eventos.

3 – **Identificação das probabilidades qualitativas e restrições lógicas:** identificar o tipo de distribuição das probabilidades requeridas para a construção da rede. A restrição lógica objetiva limitar o universo de probabilidades que devem ser avaliadas. Geralmente, esta etapa consiste em mapear uma base de dados.

4 – **Avaliação das probabilidades:** neste estágio, a distribuição de probabilidade é atribuída a cada nó da rede.

5 – **Análise da sensibilidade e avaliação:** com a rede já modelada, é necessário verificar a sua validade. O autor enfatiza que na avaliação deve-se, a partir de dados reais, submeter em outros sistemas probabilísticos para comparar os resultados.

Dentro desse contexto, este trabalho procura contribuir para a área da saúde, com a definição de um modelo computacional capaz de mensurar a intensidade de dor através do desenvolvimento de um sistema inteligente utilizando Redes Bayesianas. Após a definição das variáveis e das probabilidades nos sinais biomédicos que o corpo expressa em momentos de dor, o sistema deve mensurar a intensidade da dor de uma pessoa, sem estar sujeito aos vieses encontrados nos métodos atuais, além de ser sensível às mudanças na intensidade. Uma vez que, mesmo pacientes impossibilitados de se comunicar verbalmente, continuam emitindo sinais biomédicos, a solução desenvolvida pode ser aplicada em todas as pessoas, independente de possuírem ou não as faculdades mentais e físicas que são necessárias ao preenchimento das atuais escalas analógicas.

Nas próximas seções deste artigo serão apresentados o desenvolvimento da rede bayesiana, bem como os resultados obtidos.

2. COLETA DE DADOS PARA A REDE BAYESIANA

Para a implementação de uma rede bayesiana é necessário ter em mãos os dados referentes ao problema em questão. Sendo assim, a seguir será apresentado o experimento para a coleta dos dados

O experimento se caracterizou pela manipulação de algumas variáveis e pela observação de outras, em uma situação real, através do levantamento dos dados em ambiente preparado, em que os indivíduos foram submetidos à dor através da imersão do braço no gelo. Em qualquer experimento deve haver uma preocupação com a validade interna e externa, ou seja, ter a confiabilidade de que o efeito obtido é devido a manipulação feita e não devido a outros fatores, além de que o efeito observável possa ser generalizado. Para minimizar as ameaças à validade interna e externa, foram definidos os seguintes parâmetros para o experimento:



População: foi composta por funcionários, alunos, professores e pacientes da clínica-escola de fisioterapia da Universidade do Sul de Santa Catarina (Campus Sul), de diferentes faixas etárias (adultos e jovens), de ambos os sexos e de diferentes etnias. Os indivíduos não podiam estar utilizando de nenhuma medicação analgésica e foram selecionadas pessoas que possuíam todas as aptidões físicas e cognitivas para o preenchimento dos requisitos do instrumento de coleta de dados.

Amostra: a técnica de amostragem utilizada, de acordo com Barbetta, Reis e Bornia (2010), foi a seleção de amostragem acidental ou a esmo. Os autores esclarecem que esta técnica se difere bastante da técnica por amostragem aleatória simples, mas é bastante utilizada quando não é possível conhecer anteriormente todas as variáveis de cada elemento da população. A clínica escola de fisioterapia da Unisul possui 3 funcionários (secretária, assistente social e atendente). No semestre de 2011-B, em que ocorreu a coleta dos dados, 3 professores coordenavam os estágios de 12 alunos. Estavam em atendimento 144 pacientes adultos, totalizando uma população de 162 indivíduos. A intenção inicial era fazer um censo, ou seja, a amostra deveria contemplar todos os elementos da população. Porém, pela característica do experimento, nem todos os elementos poderiam participar, pela exclusão por estarem utilizando medicação analgésica e também por não se disponibilizarem. Foi utilizada então uma amostra de 120 indivíduos selecionados de forma aleatória, conforme a disponibilidade, o que segundo Barbetta, Reis e Bornia (2010) caracteriza amostragem acidental ou a esmo. Dessas 120 amostras, 80 foram utilizadas para o treinamento da rede e 40 para a validação. A escolha das amostras para o treinamento e validação foi aleatória controlada.

Dada a natureza da rede bayesiana, faz-se necessário o pré-teste e o pós teste. Para a realização do pré-teste, com o objetivo de levantar as probabilidades da rede causal, foi preenchida uma ficha, que teve a participação do indivíduo e do pesquisador. Antes do procedimento, o indivíduo indicou o nível de dor que está sentindo na escala visual, o pesquisador preencheu os valores para os sinais biomédicos especificados e para as observações que devem ser feitas sobre as variáveis que não podem ser medidas por equipamentos específicos. Logo após o procedimento, os mesmos dados foram coletados do indivíduo, que preencheu novamente a escala de dor, indicando a intensidade que sentiu durante o procedimento, sendo feita também uma nova medição dos sinais biomédicos para constatar os sinais que se alteraram em decorrência da dor causada no procedimento. Para a realização do pós-teste, com o objetivo de validar o sistema desenvolvido, foi preenchida a mesma ficha do pré-teste, porém agora apenas após o procedimento (imersão do braço no gelo). Após a inserção dos dados no sistema, foi feita a comparação dos resultados. Algumas variáveis foram coletadas por observação do pesquisador, outras foram coletadas através de entrevista com o indivíduo e, ainda, os valores para as variáveis que se referem à medição dos sinais biomédicos foram coletadas através de aparelhos específicos (Termômetro digital auricular, Esfigmomanômetro digital de pulso, Oxímetro e Escala digital analógica). Os mesmos aparelhos foram utilizados em todos os indivíduos para evitar diferenças nas aferições.

Inicialmente, a coleta dos dados seria feita em pacientes internados em hospitais, que realizariam procedimentos médicos e de enfermagem que causassem dor. O enfermeiro seria o pesquisador que além de solicitar o preenchimento do TCLE (Termo de Consentimento Livre e Esclarecido) pelo paciente, faria a coleta dos dados (medição dos sinais biomédicos), entrevistas e observações pertinentes antes e depois do procedimento. A coleta dos dados foi iniciada no Hospital e maternidade Socimed, em Tubarão, SC, nos departamentos de pronto-atendimento, CTI, Socicor (setor de cardiologia) e setor A (internação de pacientes adultos).



No decorrer de dois meses, foram identificadas algumas dificuldades que iriam interferir no resultado da pesquisa:

- Os enfermeiros, na maioria das vezes, não tinham o tempo necessário durante o procedimento para executar todas as fases necessárias da coleta de dados, tendo assim, muitos formulários incompletos e sem a assinatura no TCLE, anulando muitas amostras.
- Não houve a utilização dos equipamentos adquiridos para a coleta de dados, de forma que cada profissional utilizou os seus próprios equipamentos, que não eram os mesmos em todos os pacientes. Essa dificuldade poderia criar vieses na pesquisa em função da calibração dos equipamentos.
- Não havia possibilidade de controlar o ambiente da coleta de dados, por exemplo, alguns pacientes estavam deitados, outros sentados, alguns em repouso e outros que acabavam de chegar ao pronto-atendimento. Algumas salas estavam com o ar-condicionado ligado e outras não. Essas diferentes circunstâncias interferiram diretamente nos dados. Da mesma forma, não houve o cuidado de selecionar os pacientes que não estavam utilizando medicação analgésica.
- Ainda em função do tempo necessário para a coleta de dados, alguns enfermeiros optaram por não mais realizá-la, justificando que estava atrapalhando o fluxo de trabalho. Em dois meses de coleta de dados, apenas 8 formulários puderam ser aproveitados.

Identificadas essas dificuldades que inviabilizariam a pesquisa, foi determinado um novo cenário para a coleta de dados que passou a ser feita na clínica-escola de fisioterapia da Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL, simulando a dor a partir do contato com o gelo. A amostra então passou a ser pacientes da clínica-escola de fisioterapia, bem como alunos e funcionários da Universidade (todos ligados a clínica de fisioterapia, como estagiários e professores). Esse novo cenário apresentou algumas vantagens: o pesquisador passou a ser o próprio autor da pesquisa, o que facilitou o rigor na utilização dos equipamentos adequados, bem como o controle do tempo necessário para realizar a coleta de dados; os indivíduos participantes da amostra puderam ser escolhidos de acordo com os critérios necessários, como por exemplo, não estar utilizando nenhuma medicação analgésica e estar em condições de se comunicarem verbalmente para responder aos questionários; e o ambiente passou a ser mais controlado, de forma que foi utilizada uma sala reservada, climatizada e com móveis nas alturas adequadas para todos os dados coletados.

3. ESTABELECIMENTO DAS VARIÁVEIS

De acordo com os estudos realizados no referencial teórico, foram definidas as variáveis utilizadas na modelagem da RedeBayesiana para inferir a intensidade da dor. As mesmas foram validadas por dois profissionais da saúde consultados. À seguir tais variáveis serão apresentadas, com uma breve explicação, e com os padrões de normalidade definidos.

Etnia: a etnia de uma pessoa é definida pela sua origem, traços físicos e culturais. A etnia foi levantada através de entrevista, de forma que o próprio indivíduo fez a escolha de qual grupo étnico pertence: mulato (descendentes de negros e brancos), caboclos (descendentes de índios e brancos), cafuzo (descendentes de índios e negros), indígena (nativos da região brasileira), brancos (apresentam pouca pigmentação na pele, ou seja, pele clara) e negros (apresentam grande pigmentação na pele, ou seja, pele escura).

Sexo: de acordo com estudos correlatos, o sexo (masculino ou feminino) pode influenciar na intensidade da dor por fatores culturais e fisiológicos. Além disso, essa variável foi utilizada



como probabilidade condicional para a variável frequência respiratória e foi levantada através da observação do pesquisador.

Idade: de acordo com a idade, foi feita a classificação do indivíduo pelas seguintes faixas etárias: 15–20, 21-30, 31-40, 41-50, 51-60, 61-70, 71-80, e acima de 80 anos . A idade foi condicional para as variáveis frequência cardíaca, temperatura e choro e foi levantada através de entrevista.

Pressão Arterial Sistólica: de acordo com as VI Diretrizes Brasileiras de Hipertensão (2010), a PA sistólica representa a contração miocárdica e tem como valores: normal (130-139 mmHg), limítrofe (140 – 160 mmHg) e hipertensão (acima de 16 mmHg). Foi coletada com o esfigmomanômetro e a entrada da Rede Bayesiana se dá através da alteração antes e depois do procedimento.

Pressão Arterial Diastólica: também de acordo com a Sociedade Brasileira de Cardiologia, a pressão diastólica, que representa o relaxamento cardíaco no enchimento de sangue pelo coração, tem como valores: normal (85-89 mmHg), limítrofe (90-100 mmHg) e hipertensão (acima de 100 mmHg). Também foi coletada com o esfigmomanômetro e a entrada da Rede Bayesiana se dá através da alteração antes e depois do procedimento.

Frequência Cardíaca: a frequência cardíaca representa a quantidade de contrações do coração em um minuto. Foi medida por um oxímetro (que possui também monitor cardíaco) e os padrões estabelecidos em repouso são condicionais à idade: normal em adultos e jovens (média de 80 bpm), normal em crianças (média de 140 bpm). Os valores de entrada na Rede Bayesiana serão as alterações antes e depois do procedimento.

Temperatura: a temperatura externa auricular foi medida por um termômetro digital e na Rede Bayesiana foram considerados os valores: baixou, inalterada e aumentou. Em adultos e jovens a temperatura normal possui as variações entre 36° e 37°. Quando a temperatura esteve fora da normalidade antes do procedimento, a amostra foi descartada.

Frequência Respiratória: a avaliação dos valores para a frequência respiratória também são padronizados nas mesmas diretrizes da Sociedade Brasileira de Cardiologia, sendo consideradas satisfatórias nos homens quando a quantidade de ventilações no período de um minuto se mostra na faixa de 14-18 mrpm. Nas mulheres, a frequência padrão passa a ser de 16-20 mrpm. A coleta dos valores para essa variável foi feita através da medição manual pelo pesquisador e foram inseridos na Rede Bayesiana os valores: diminuiu, inalterada, aumentou.

Sudorese: esta variável teve apenas dois valores: sim ou não. Foi coletada através da observação do pesquisador nas extremidades (narinas, mãos, pés e axilas). Para evitar subjetividade nesta variável, foi utilizado um lenço de papel. Caso o volume de suor tenha sido suficiente para marcar o lenço em pelo menos uma extremidade, foi atribuído valor positivo.

Tensão Muscular: foi observada pelo pesquisador que preencheu os valores sim e não. O valor “sim” foi estabelecido caso o indivíduo tenha esticado o braço, perna ou costas durante o procedimento.

Choro: o pesquisador observou se o indivíduo chorou. Essa variável será na Rede Bayesiana condicional a idade, e foi atribuído valor positivo apenas caso houvesse lacrimejamento nos olhos. Reclamações não foram atribuídas como choro.

Oxigenação: a quantidade de oxigênio no sangue foi coletada por meio de um oxímetro. Os valores para a Rede Bayesiana foi a diferença de valores antes e depois do procedimento com faixas especificadas. Valores normais são da ordem de 95% a 100% para um paciente respirando ar-ambiente.

Vômito/Náusea: o pesquisador registrou “sim” ou “não” de acordo com a observação feita. A atribuição seria positiva apenas caso o indivíduo tivesse vomitado ou apresentado ânsia de vômito. Em virtude do novo cenário essa variável não foi referenciada.

Palidez: o pesquisador também registrou “sim” ou “não”, de acordo com a observação feita ao indivíduo referente à palidez cutânea no rosto, que se caracteriza por pele pálida embranquecida, lábios e olhos sem sinal de sangue.

Posição Corporal: o pesquisador registrou “sim”, caso o indivíduo tenha alterado de posição corporal pelo menos uma vez enquanto estava com o braço imerso no gelo.

Expressão Facial: o pesquisador também registrou caso a expressão facial do indivíduo, durante o procedimento indique que ele esteja sentindo dor. Essa indicação foi positiva quando houve franzimento da testa, olhos ou boca.

Experiência Anterior: foi coletada através de entrevista com o paciente, perguntando se já passou por este procedimento ou por procedimento similar anteriormente.

Traumático: condicional a variável experiência anterior, que foi coletada através de entrevista. Caso o paciente já tenha passado por experiência similar foi registrado se foi traumático ou não na referida ocasião.

Procedimentos médicos ou de enfermagem: seria registrado conforme a observação do pesquisador: “sim”, caso houvesse no indivíduo algum procedimento médico ou de enfermagem, como por exemplo, sondas, pinos, suturas, etc. Em virtude do novo cenário não houve ocorrência para essa variável.

Ansiedade: foi registrado “sim” caso o pesquisador tenha constatado sinais de ansiedade, como por exemplo, aflição, impaciência, tremores, etc. Para evitar subjetividade foi estabelecido o seguinte critério: Caso tenha expressado verbalmente uma das frases: “que medo”, “vai doer?”, “vai demorar?”, “se eu não agüentar?” e “ai”. Também foi registrado “sim” caso o paciente estivesse apresentando tremores.

Local Sensível: seria registrado “sim” através da observação do pesquisador, caso o procedimento fosse realizado nos flancos (região lateral do tórax), olhos ou genitais. Em virtude do novo cenário não houve ocorrência para essa variável.

4. MODELAGEM DA REDE BAYESIANA

Para modelar e testar a Rede Bayesiana foi utilizada a ferramenta GeNIe, um software livre que dá suporte para criação, manipulação e avaliação de Redes Bayesianas, com o auxílio de uma interface gráfica.

A rede é representada graficamente através de um diagrama, em que as variáveis são exibidas como nós e as dependências condicionais exibidas como arcos em forma de setas entre os nós. A cada nó é atribuída uma tabela de probabilidades, que serão especificadas no decorrer da análise dos dados. Após a definição das probabilidades, podem ser definidas evidências na rede para que ocorram inferências a respeito das probabilidades condicionais a determinado fator de certeza. A interface gráfica do geNIe também possibilita que a Rede Bayesiana modelada possa ser facilmente validada pelos especialistas, sem que precisem compreender efetivamente a lógica computacional. A Figura 1 exibe a Rede Bayesiana modelada com os nós, os valores possíveis para cada nó bem como os relacionamentos condicionais. Os valores para o nó central “Dor” são os mesmos valores utilizados na escala analógica. Os pontos de interrogação em cada nó é uma indicação da ferramenta geNIe que as probabilidades ainda não foram preenchidas. Os nós representados na cor amarela indicam que são variáveis que necessitam de entrevista com o paciente, os representados pela cor



verde necessitam da observação do profissional de saúde, e, por sua vez, os na cor azul são as variáveis que podem ser medidas pelos equipamentos específicos.

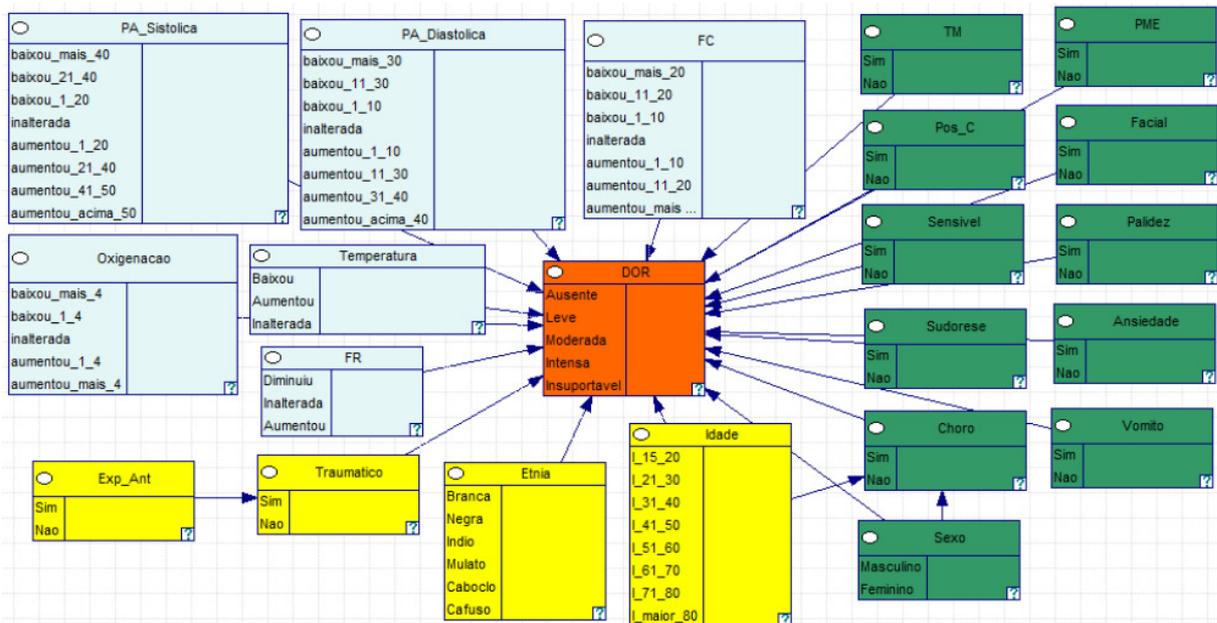


Figura 1: Rede Bayesiana modelada.

Percebe-se, ainda, na Figura 1, que o nó “idade” é condicional ao nó “Choro”. Da mesma forma, o nó “Sexo” também é condicional ao nó “Choro” e o nó “Exp_Ant” é condicional ao nó “Traumático”. Com a alteração no cenário de coleta de dados, algumas variáveis não se fizeram presentes com o novo perfil da amostra. Sendo assim, a Rede Bayesiana foi remodelada (Figura 2), retirando variáveis que não são compatíveis com o novo cenário e incluindo a variável “Tempo” (tempo de permanência no gelo). Os valores para essa variável são: “Sim”, para quando o voluntário aguentou o tempo mínimo de permanência e “Não” quando não aguentou o tempo mínimo de permanência.

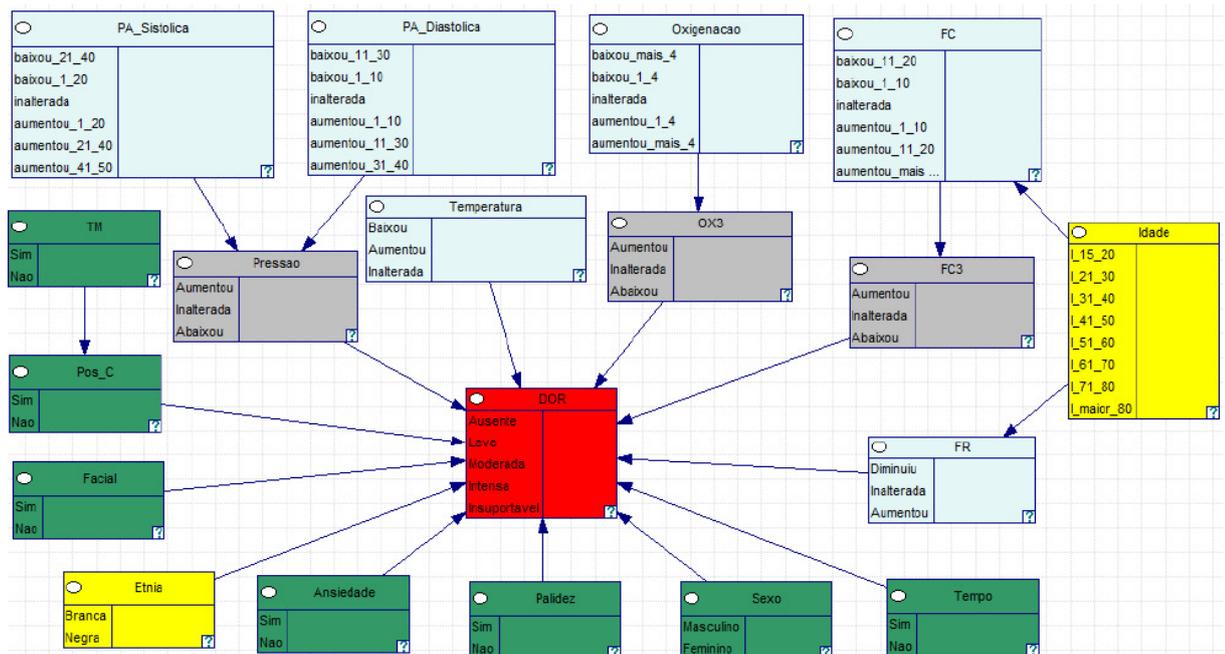


Figura 2: Rede Bayesiana remodelada



4.2. A Ferramenta desenvolvida

A partir do preenchimento das probabilidades condicionais, foi desenvolvido um software, chamado RB-Pain, para auxiliar os especialistas nas inferências. O software teve como principal requisito possuir uma interface gráfica amigável, para que o especialista utilize de forma intuitiva. No desenvolvimento do software foram utilizadas as seguintes ferramentas: Java, como linguagem de programação com interface desktop; MySQL, como sistema gerenciador de banco de dados; e Jsmile, *shell* do geNIe para Java que contém a implementação da máquina de inferência para Redes Bayesianas.

O *shell* JSmile, permite a configuração dos algoritmos de inferência. Foram utilizados na Rede Bayesiana implementada o algoritmo RB exato chamado *Clustering Algorithm*, também conhecido como *Junction Three* e para resolver os diagramas de influência no grafo foi utilizado o algoritmo conhecido como *Policy Evaluation*.

O *Clustering Algorithm* tem como característica o funcionamento em duas fases: primeiro ocorre a compilação da rede modelada para uma estrutura de árvore, logo após são atualizadas as probabilidades na árvore gerada no primeiro passo. Desta forma, todo o processamento ocorre na versão compilada, o que costuma melhorar o desempenho.

O *Policy Evaluation* por sua característica permite verificar as probabilidades de cada estado das variáveis que compõem a rede, e não somente a melhor decisão. Essa característica possibilita a análise das causas para a decisão que a rede apresenta. Foi utilizado na rede modelada pelo fato de que as diferenças percentuais das probabilidades foram pequenas, em função da representatividade probabilística da amostra não atender todos os relacionamentos possíveis entre as variáveis levantadas.

Não houve a necessidade de fazer a estimação por parâmetros e de estrutura, bem como trabalhar com aprendizado e treinamento na rede modelada, uma vez que as probabilidades foram calculadas a partir da massa de dados levantada no experimento.

A principal tela do sistema RB-Pain é a que faz a inferência da dor de acordo com as evidências marcadas. Ao marcar a evidência em alguma variável o sistema (preenchendo no mínimo 3 evidências), através da máquina de inferência JSmile, é calculada a probabilidade da intensidade da dor. Basta marcar uma única evidência que o sistema já faz o cálculo. Os resultados são exibidos de forma textual, destacando a maior probabilidade e também em forma de gráfico de barras. Também é possível verificar a probabilidade de cada variável marcando a certeza na variável dor, atendendo assim, a verificação de efeito para causa. Ao utilizar essa opção diálogos são exibidos com as probabilidades de cada estado das variáveis.

A tela principal do sistema RBPain pode ser vista na Figura 3, que possui as evidências marcadas com a maior probabilidade para dor moderada. A Figura 4 exibe o sistema com a evidência marcada para dor insuportável.



Figura 3. Principal tela do RB-Pain com evidências nas variáveis.

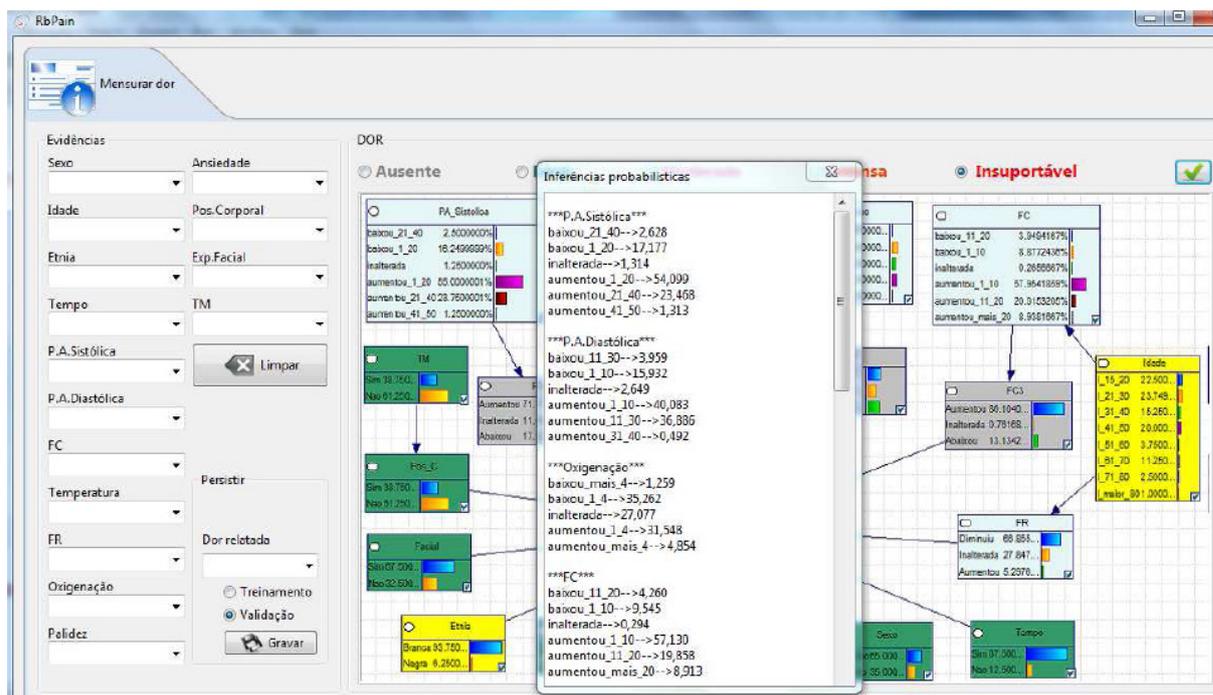


Figura 4. Principal tela do RB-Pain com evidência na dor.

4.3 Resultado

Para validar a eficiência da Rede Bayesiana implementada no sistema RB-Pain, foram feitos testes com dados dos 80 indivíduos utilizados para treinamento da rede, com o objetivo de verificar se as probabilidades gerais causam influências nos registros individuais e também testes com os dados reservados especificamente para validação.

No primeiro grupo de testes, ou seja, com os dados utilizados para calcular as probabilidades da rede, em 100% dos testes o sistema fez a inferência correta, o que já era esperado. Em 93,75% dos testes, a probabilidade inferida foi superior a 90% de certeza e o



restante (6,25%), a certeza foi superior a 40%. Os testes mais relevantes para avaliar o sistema se referem aos dados dos 40 indivíduos que foram reservados aleatoriamente com controle de representatividade das variáveis. Os seguintes testes foram realizados com esse grupo:

- Inserindo evidências para todas as variáveis.
- Inserindo as evidências somente para as variáveis que podem ser medidas e observadas de forma objetiva: pressão sistólica e diastólica, frequências cardíaca e respiratória, temperatura, oxigenação, sexo, idade e etnia, desconsiderando a variável tempo.
- Inserindo as evidências somente para as variáveis subjetivas: palidez, ansiedade, posição corporal, expressão facial e tensão muscular.

Na execução dos testes foi especificada a quantidade de acertos, quantidade de erros e quantidade de situações em que o sistema não foi capaz de inferir uma intensidade de dor.

Os acertos foram computados quando o sistema inferiu a mesma dor que a relatada pelo voluntário e ocorre quando é encontrada na Rede Bayesiana uma situação similar a das evidências inseridas. As diferenças nos acertos são os percentuais de certeza que a rede infere, os quais também foram analisados. A situação de não identificada ocorre quando as probabilidades são idênticas para todas as intensidades de dor, impossibilitando um percentual de certeza em um valor específico. Isso acontece quando não existe nenhuma probabilidade para determinada situação na rede, tornando todos os valores para as intensidades de dor com a mesma chance de ocorrer, ou seja, 20%. Já os erros ocorrem quando existem probabilidades similares na Rede Bayesiana, mas que por algum motivo, a dor relatada pelo voluntário se diferencia da dor relatada pela maioria, estando fora da faixa do desvio padrão. Estes também foram analisados separadamente.

5. CONCLUSÕES

Nos estudos sobre a fisiologia da dor, percebeu-ser que diversas áreas do corpo humano se alteram em decorrência da dor, e o corpo expressa a dor através de uma série de sinais vitais (biomédicos), além de que a intensidade também é influenciada por aspectos culturais. Sendo assim, poderia ser descartada a análise apenas cerebral e incluir esses sinais objetivos e também subjetivos para inferir a intensidade da dor, após serem estabelecidos os padrões.

Em decorrência de estudos na área de inteligência artificial, chegou-se ao conceito de Redes Bayesianas que, através de cálculos probabilísticos entre variáveis condicionais e não condicionais modela a incerteza.

Os dados utilizados para alimentar as probabilidades da rede, inicialmente seriam coletados em procedimentos médicos e de enfermagem que causassem dor, de forma que os sinais pudessem ser medidos antes do procedimento e durante/depois para constatar o que se alterou em decorrência da dor. Ao iniciar este tipo de experimento problemas na coleta de dados ocorreram, causando vieses não planejados que inviabilizaram a pesquisa. Optou-se, então, por simular a dor através do contato com o gelo, ou seja, passou a fazer parte do experimento apenas a dor causada por estímulo térmico em ambiente preparado. O contato com o gelo, nos primeiros 30 segundos, causa a dor que pode variar de leve a insuportável, conforme a sensibilidade de cada indivíduo. Após esse tempo inicial ele inicia um processo anestésico. Essa opção facilitou o controle do experimento, porém limitou o universo de tipos de dor e sintomas que poderiam fazer parte das probabilidades.

Com a associação dos sinais biomédicos (variáveis) que o corpo altera em decorrência da dor, juntamente aos fatores culturais e definidas as probabilidades em uma determinada população, foi possível inferir a intensidade da dor em posse de evidências.

Com isso, o objetivo principal do trabalho foi atingido, uma vez que foi possível inferir a intensidade da dor em seres humanos, com o apoio de um sistema computacional baseado em Redes Bayesianas, analisando os sinais biomédicos e variáveis culturais que o corpo alterou em decorrência da dor.

A maior dificuldade na obtenção de resultados mais precisos foi justamente o número grande de combinações entre as variáveis, que ficou em torno de 20 milhões. Uma vez que a técnica computacional escolhida utiliza-se de probabilidades, um número muito maior de dados deveria ser utilizado para treinamento da rede.

Outra dificuldade foi a coleta dos dados, pois os vieses humanos que a literatura aborda também se fizeram presentes, uma vez que o próprio paciente fez a inferência da intensidade de dor que sentiu. Este problema também é minimizado com um número maior de amostras, para que a representatividade probabilística seja padronizada a partir dos valores da maioria, sendo desconsiderados os valores fora do desvio padrão.

6. REFERÊNCIAS

ADUR, Robson. Sistema de processamento de sinais biomédicos: Módulo didático de eletroencefalograma. 2008. Dissertação (mestrado) – Pós-graduação em engenharia elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ANDRADE, Erica V., BARBOSA, Maria H., BARICHELLO, Elizabeth. Avaliação da dor em pós-operatório de cirurgia cardíaca. Acta Paulista de Enfermagem. São Paulo, v.23, n.2, p. 224-229. 2010. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-21002010000200012>. Acesso em out/2010.

BARBETTA, Pedro Alberto, REIS, Marcelo Menezes, BORNIA, Antonio Cezar. Estatística para os cursos de engenharia e matemática. 3.ed. São Paulo: Atlas, 2010.

BARTILOTTI, Carlona Bunn, SCOPEL, Evânea Joana, CRUZ, Roberto Moraes. Medidas de avaliação da percepção da dor utilizadas no Brasil. 2006. Disponível em:<<http://www.psicologia.com.pt>>. Acesso em dez/2010.

IASP - International Association for the Study of Pain. IASP Pain Terminology: pain terms (Pain). Disponível em: <http://www.iasp-pain.org/AM/Template.cfm?Section=Pain_Defi...isplay.cfm&ContentID=1728>. Acesso em set/2010.

KORB, Kevin B., NICHOLSON, Ann E. Bayesian Artificial Intelligence. 1.ed. Washington D.C: Chapman & Hall, 2004.

LADEIRA, Marcelo. Diagramas de Influência Múltipla Secionadas. 2000. Tese(Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Computação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MILHO, Isabel, FRED, Ana. Apoio ao Diagnóstico Médico baseado em Redes Bayesianas. In: ISEL - Conferência Científica e Tecnológica em Engenharia/Jornadas de Engenharia de Telecomunicações e Computadores, 2., 2002, Lisboa. Anais Eletrônicos... Disponível em <<http://www.deetc.isel.ipl.pt/jetc05/CCTE02/papers/finais/jetc/342%20update2.pdf>>. Acesso em 26 out. 2010.



MIRANDA, Adriana de Fátima Alencar. Avaliação da Intensidade da Dor e Sinais Vitais: respostas a um procedimento de enfermagem. 2009. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Enfermagem. Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza - Ceará.

PEREIRA, Ana Paula Silveira , ZAGO, Márcia Maria Fontão. As influências culturais na dor do paciente cirúrgico. Rev. esc. enferm. São Paulo, v.32, n.2, p. 144-152, 1998.

PETER, J.F. Lucas. Bayesian networks in biomedicine and health-care. Elsevier Health. Cascais – Portugal, v.30, p.201-214, 2004.

RIGOTTI, Marcelo A, FERREIRA, Adriano M. Intervenções de enfermagem ao paciente com dor. Arq. de Ciências da Saúde. On-line, v.12, n.1. p.50-54, 2005. Disponível em <<http://www.cienciasdasaude.famerp.br/Vol-12-1/09%20-%20id%20105.pdf>>. Acesso em 26 out. 2010.

ROLO, Vasco J. Para que ninguém duvide dos queixosos, é possível medir a dor. Viver: vidas e veredas da raia, Vila Velha de Ródão, ano 9, n. 13, p. 38-39, 2009.

SCOPEL, Evânea; ALENCAR, Márcia; CRUZ, Roberto M. Medidas de avaliação da dor. Revista Digital. Buenos Aires, ano 11, n.105, 2007. Disponível em: <http://www.efdeportes.com/efd105/medidas-de-avaliacao-da-dor.htm>>. Acessado em: mai/2010.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CARDIOLOGIA. V diretrizes Brasileiras de Hipertensão Arterial. Arquivos Brasileiros de Cardiologia. São Paulo, v.3, n.89, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0066-82X2007001500012>. Acessado em: out/2010.

TAZAWA, Nilson. Modelagem da dor utilizando-se redes neurais artificiais. 2006. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola politécnica da universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

TEIXEIRA, Manoel Jacobsen. Fisiopatologia da nocicepção da dor. Jornal Brasileiro de Oclusão, ATM e Dor Orofacial, Curitiba, v.1, n.4. p.329-334, 2001. Disponível em <http://dtscience.com/index.php/orthodontics_JBA/article/view/184/0>. Acesso em 26 out. 2010.