

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CIÊNCIAS DA SAÚDE DE
PORTO ALEGRE – UFCSPA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA
REABILITAÇÃO**

Patrícia da Silva Klahr

**Diagrama de influência como
ferramenta de apoio à decisão
clínica na reabilitação
cardiopulmonar e metabólica fase II
em pacientes cardiopatas**

**Porto Alegre
2014**

Patrícia da Silva Klahr

**Diagrama de Influência como
ferramenta de apoio à decisão
clínica na reabilitação
cardiopulmonar e metabólica fase II
em pacientes cardiopatas**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação da Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências da Reabilitação.

Universidade Federal de Ciências da Saúde
de Porto Alegre

Orientador: Dr. Rodrigo Della Méa Plentz
Coorientadora: Dra. Cecília Dias Flores

**Porto Alegre
2014**

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação ao meu Deus, ao meu esposo, Rafael Weber Klahr, e aos meus grandes mestres, Dr. Rodrigo Della Mía Plentz e Dra. Cecília Dias Flores.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por tudo, pelas oportunidades e pela própria vida. Agradeço, pela força, luz e esperança que me ajudou a ter em todos os momentos e pelas dádivas que, durante a minha caminhada, foram alcançadas. Obrigada Senhor!

Agradeço a CAPES, pelo auxílio financeiro, pela bolsa que recebi ao longo dos 24 meses do mestrado e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação, pelo excelente programa que nos ofertaram.

Agradeço ao meu orientador, Professor Dr. Rodrigo Della Múa Plentz, pelo aceite em orientar uma pessoa desconhecida. Obrigada pela orientação, por ser um modelo de profissional a ser seguido. Obrigada, também, por todo o conhecimento transmitido, por todos os conselhos e “puxões de orelha”. Agradeço, de coração, porque sei que, se consegui vencer minhas limitações, foi graças a todo o auxílio que recebi.

A minha coorientadora, Cecília Dias Flores, devo mais que um apenas obrigado, mas, sim, o título em si, pois, além de orientar e ter toda a paciência do mundo, me ensinou que, mesmo em um meio competitivo, no qual surgem muitas adversidades, ainda existem pessoas boas. Cissa, foste quase uma segunda mãe, tamanho o teu carinho, amizade e dedicação para comigo. Muito obrigada, por tudo!

Agradeço a todos os colegas do meu Grupo de Pesquisa, que me auxiliaram e incentivaram em momentos de dúvidas e sentimentos frustrantes. Em especial, a Doutoranda Caroline Robinson que me deu o prazer da amizade e companheirismo em meio à produção científica. Carol, muito obrigada de coração, você é uma pessoa maravilhosa e, sem teu auxílio, jamais teria conseguido chegar até este momento. Agradeço toda paciência que tiveste e os ensinamentos que compartilhaste comigo.

Também agradeço ao médico, João Marcelo Fonseca, que dedicou parte do seu precioso tempo, para me auxiliar na construção do diagrama de influências. Obrigada, por cada sugestão e ensinamento.

Ao meu esposo Rafael, pessoa de fundamental importância em

todos os aspectos da minha vida. Agradeço, por toda a ajuda, por todo o amor e pelo apoio incondicional que fortaleceu o meu ânimo em momentos necessários. Te amo, muito obrigada.

A minha mãe, por ser este ser tão iluminado, agradeço, por gerar minha vida. Obrigada, pelas inúmeras orações e por todo o amor que dedicou a mim ao longo de toda a minha vida. Obrigada, por perdoar os meus erros e ser capaz de me ajudar a corrigi-los.

A minha família, berço de onde proveio toda a minha educação pessoal, moral e ética. Obrigada, por me ensinarem a viver com dignidade, por me incentivarem, quando estive querendo desistir, por me chamarem a atenção no momento necessário. Agradeço a paciência, a compreensão e a concordância em aceitar a minha ausência no momento em que mais precisavam de mim.

Aos meus amigos e amigas, que sempre estavam dispostos a ajudar, que conviveram com minhas risadas, choros, alegrias e tristezas, que compartilharam vários períodos de dificuldades e, também, de êxito. Enfim, agradeço a todos que, de uma forma ou de outra, contribuíram com este processo de aprendizagem, crescimento pessoal e profissional. Não nominarei os inúmeros amigos, pelo risco de me esquecer de alguém, e todos foram muito importantes.

Muito obrigada a todos!!!!

Epígrafe

“Não basta ensinar ao homem uma especialidade, porque se tornará assim uma máquina utilizável e não uma personalidade. É necessário que adquira um sentimento, um senso prático daquilo que vale a pena ser empreendido, daquilo que é belo, do que é moralmente correto.”
(Albert Einstein)

RESUMO

Introdução: Um Diagrama de Influências (DI) é um método de representação gráfica do conhecimento incerto e pode ser utilizado, para apoiar a decisão na área da saúde, usando raciocínio probabilístico. **Objetivo:** O objetivo é descrever como construir e definir um modelo de DI para apoiar a tomada de decisão no processo de Reabilitação Cardiopulmonar e Metabólica (RCPM) fase II em pacientes cardiopatas. **Método:** Esta pesquisa trata-se de um estudo metodológico e foi aprovado pela Comissão de Pesquisa da Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (ComPesq) sob o número 011/2013. Os dados utilizados foram obtidos de prontuário de uma coorte de pacientes cardiopatas em RCPM fase II de 2012 a 2013, cedidos por um centro de RCPM, referência do Estado do Rio Grande do Sul-Brasil. **Resultados:** Foi possível construir um DI, através da identificação do conjunto de variáveis relevantes nos consensos e diretrizes da RCPM e os seus valores obtidos no banco de dados de uma coorte. Foi possível encontrar uma estrutura de rede que conecte adequadamente os nós que representam as variáveis, com arcos, unindo grafos acíclicos, e construir uma representação gráfica, usando o conhecimento especializado e a tabela de probabilidade condicional para cada nó do gráfico. **Conclusão:** Apesar da complexidade das interações, o modelo, obtido na implementação do DI, apresenta-se capaz de contribuir para o processo de tomada de decisão em RCPM fase II, visto que fornece informações para apoiar a tomada de decisão do profissional da saúde, auxiliando no diagnóstico, no processo terapêutico, por ser eficaz em situações de modelação não-linear e lidar com situações em que a informação está incompleta ou é incerta.

Palavras-chave: Diagrama de influência; Doenças cardiovasculares; Sistema de apoio à decisão clínica; Reabilitação; Redes probabilísticas.

ABSTRACT

Introduction: An influence diagram (ID) is a method of graphical representation of uncertain knowledge that can be employed to support decisions in health care using probabilistic reasoning. **Objective:** The aimed is to describe how to develop an ID to support the decision-making process in phase II Cardiopulmonary and Metabolic Rehabilitation Program (CPMR) in cardiac patients. **Methods:** This is a methodological study, approved by the Research Committee (ComPesq) of the Federal University of Health Sciences of Porto Alegre (UFCSPA) under number 011/2013. The data employed were obtained from the medical records of a cohort of cardiac patients in phase II CPMR from 2012 to 2013, provided by a referral center for cardiopulmonary and metabolic rehabilitation in Rio Grande do Sul state, Brazil. **Results:** It was possible to develop an ID through the identification of the relevant sets of variables, as described by the guidelines and norms for CPMR, and their possible values, obtained from the database of a cohort of patients. It was possible to find a network structure that appropriately connects the nodes, which represent the variables, with arcs linking acyclic graphs, and to build the graph using specialized knowledge and the conditional probability table for each node in the graph. **Conclusion:** In spite of the complexity of the interactions, the model obtained with the implementation of ID presents able to contribute in the decision-making process in phase II RCPM, as it provides information to support decision- the health professional's decision, and helping in diagnostic, therapeutic and decision-making processes, since it is useful in situations with non-linear modeling or with incomplete or uncertain information.

Key words: Cardiovascular diseases; Clinical decision support systems; influence diagram; Probabilistic networks; Rehabilitation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de influência para uma representação simples de decisão em RCPM fase II	28
--	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Estudos científicos que utilizam redes bayesianas relacionadas à cardiologia	33
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAAI	<i>Association for the advancement of artificial intelligence</i>
AV	Atrioventricular
DAC	Doença Arterial Coronariana
DI	Diagrama de Influência
DM	Diabete Mellitus
ECG	Eletrocardiograma
ENIA	Encontro Nacional de Inteligência Artificial
FC	Frequência Cardíaca
FES	Eletroestimulação Funcional
HAS	Hipertensão arterial sistêmica
HDL	<i>High-density lipoprotein</i> – Proteína de Alta Densidade
IAM	Infarto Agudo do Miocárdio
IA	Inteligência Artificial
ICP	Intervenções Coronárias Percutâneas
LDL	<i>Low-density lipoprotein</i> – Proteína de Baixa Densidade
MEU	Máxima Expectativa de Utilidade
NNT	Número Necessário para Tratar
OMS	Organização Mundial da Saúde
PA	Pressão Arterial
PAD	Pressão Arterial Diastólica
PAS	Pressão Arterial Sistólica
Plmáx	Pressão Inspiratória Máxima
RB	Rede Bayesiana
RC	Reabilitação Cardíaca
RCPM	Reabilitação Cardiopulmonar e Metabólica
RM	Redes de Markov
RML	Reforço Muscular Localizado
RP	Rede Probabilística
SSD	Sistema de Suporte a Decisão
SBC	Sociedade Brasileira de Cardiologia

TMI Treino Muscular Inspiratório

UAI *Uncertainty in Artificial Intelligence*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DA LITERATURA – CONTEXTUALIZAÇÃO	18
2.1 TEORIA DA DECISÃO	18
2.1.1 Redes Probabilísticas	20
2.1.1.1 Redes Bayesianas.....	25
2.1.1.2 Diagrama de Influência	27
2.1.2 Método de construção do diagrama de influência	29
2.1.3 Estado da Arte de Redes Probabilísticas em Reabilitação Cardiovascular.....	32
2.2 REABILITAÇÃO CARDIOPULMONAR E METABÓLICA	36
2.2.1 Conceito de Reabilitação Cardiopulmonar e Metabólica	36
2.2.2 Fases da Reabilitação Cardiopulmonar e Metabólica	39
2.2.3 Indicações e contra-indicações da Reabilitação Cardiopulmonar e Metabólica	41
2.2.4 Métodos de treinamento e equipamentos da Reabilitação Cardiopulmonar e Metabólica	45
3 REFERÊNCIAS DA REVISÃO	52
4 ARTIGO	57
5 CONCLUSÃO GERAL	88
ANEXOS	89
ANEXO A – Parecer do ComPesq 11/2013	89
ANEXO B – Normas para publicação do artigo.....	90

1. INTRODUÇÃO

No contexto atual, as informações e o conhecimento são produzidos em grande quantidade e estão sujeitos a constantes modificações (FLETCHER *et al.*, 2013; LUCAS *et al.*, 2004; MARQUES, 2012). Com isso, a sobrecarga cognitiva torna-se demasiada (GOUD *et al.*, 2010; MAHERONNAGHSH *et al.*, 2013). Muitas vezes, não é possível manter-se atualizado e, ao mesmo tempo, atender à demanda de trabalho e atividades diárias. Portanto, são necessárias algumas ferramentas que auxiliem os profissionais a tomarem decisões em momentos de incerteza e que corroborem com o agrupamento e a acessibilidade de informações, bem como com o conhecimento já estruturado na literatura (FLETCHER *et al.*, 2013; MAHERONNAGHSH *et al.*, 2013; LUCAS *et al.*, 2004).

É improvável e inviável que um único profissional absorva, entenda e acesse a gama de informações disponíveis na literatura sobre determinados assuntos, ficando suscetível a erros cíclicos (GOUD *et al.*, 2010; CHEN *et al.*, 2011). Os consensos, as diretrizes e as normatizações auxiliam, reunindo informações e disponibilizando condutas e orientações de especialistas no assunto. As equipes multi e interdisciplinares também dão o suporte requerido nessas situações em que cada profissional divide o seu conhecimento com os demais e somam experiências, para potencializar os conhecimentos e as ações adequadas (FLETCHER *et al.*, 2013). No entanto, nem sempre é possível trabalhar e atuar em equipe multi e interdisciplinar. Nesses casos, necessita-se de subsídios que facilitem o acesso à informação e apoiem as tomadas de decisões mais adequadas para aquele determinado momento, sem demandar tempo exagerado (MAHERONNAGHSH *et al.*, 2013; LUCAS *et al.*, 2004; GOUD *et al.*, 2008; CHEN *et al.*, 2011).

Torna-se imperiosa, portanto, a utilização de sistemas de apoio para a tomada de decisão que auxiliem nas atividades dos profissionais da área da saúde, na gestão de cuidados de doenças crônicas, no acompanhamento de enfermidades e cuidado ao paciente, bem como respondam inteligentemente com soluções prováveis, práticas e rápidas (LUCAS *et al.*, 2004; MARQUES *et al.*, 2012; SAHEKI *et al.*, 2005).

Pensando nesse fato, questiona-se sobre a possibilidade do uso de sistemas de apoio à decisão, para auxiliar na tomada de decisão na área da saúde e ainda, como construir um sistema de apoio à decisão? (ROSHANOV *et al.*, 2013).

Dentro da área de estudo de sistemas de apoio à decisão, existem alguns sistemas baseados em redes probabilísticas (RP) que, segundo Flores *et al.* (2000), são redes para representação do conhecimento incerto, constituindo-se em uma ferramenta útil e de fácil caracterização que vem ganhando espaço no auxílio à tomada de decisões e apoio ao raciocínio clínico e diagnóstico, além de contribuir para o processo ensino/aprendizagem em saúde (LUCAS *et al.*, 2004; MARQUES *et al.*, 2012; SAHEKI *et al.*, 2005). Dentre as RP, existem subdivisões, e as mais conhecidas são as Redes de Markov (RM), Rede Bayesiana (RB) e Diagramas de Influências (DI). Salienta-se que a RB e o DI foram as redes utilizadas, para desenvolver este estudo (LUCAS *et al.*, 2004).

Um DI é uma generalização de uma RB, que ocorre através da inclusão de funções de utilidade e variáveis de decisão. O DI representa a formalização de um problema de tomada de decisão, conforme a Teoria Clássica de Decisões, baseada no Teorema de Bayes (LUCAS *et al.*, 2004; MARQUES *et al.*, 2012). Assim, o DI é um tipo especial de rede probabilística que permite gerar uma indicação ao término do processamento de uma rede.

Na área da saúde, já existem diversos sistemas de apoio à decisão, estruturados para o raciocínio clínico referente a diversas doenças, como por exemplo, o sistema que apresenta uma rede construída por Fernandes (2012) para detecção da intensidade da dor, o sistema que apresenta uma rede construída por Flores (2000) para diagnóstico médico, o sistema construído por Fossum (2011) para controle da desnutrição e úlceras de pressão em idosos, o protótipo desenvolvido por Maheronnaghsh (2013) para dor na coluna lombar, o sistema que apresenta uma rede construída por Zapelini (2012) para medição da intensidade da dor, entre outros descritos no quadro 1, no capítulo 2 deste volume (MAHERONNAGHSH *et al.*, 2013; CHEN *et al.*, 2011; FOSSUN *et al.*, 2011, WANG *et al.*, 2014), voltadas para a medicina, demonstrando boa aplicabilidade (ZAPELINI *et al.*, 2012; SAHEKI *et al.*, 2005; FERNANDES *et al.*, 2012). Contudo, nem todos os sistemas de suporte para a decisão são baseados em RP e, ainda, relacionados à área da fisioterapia, desta forma, nenhuma referência foi encontrada com este foco de pesquisa.

A cardiologia e a fisioterapia cardiorrespiratória têm grande possibilidade de interação com sistemas de apoio à decisão, pois é rica em variáveis preditoras e de desfecho, bem como constante evolução científica (BERCHIALLA *et*

al., 2012). O conhecimento na área cardiovascular está em franca expansão, e muitos estudos têm sido propostos, a fim de aprofundar e dinamizar o conhecimento dessa área (FLETCHER *et al.*, 2013), visto que as doenças cardiovasculares são de alta prevalência mundial, sendo consideradas como uma das principais causas de morte no mundo (CDC, 2008). De acordo com os dados do DATASUS (2013), no Brasil, em 2011, as doenças cardíacas acometeram mais de 305 mil pessoas. Cada ano aumenta o número de acometidos por problemas cardiovasculares, gerando, por conseguinte, um grande problema de saúde pública (CARVALHO *et al.*, 2006; PERK *et al.*, 2012).

A partir de muitos estudos, diante da enormidade da prevalência das doenças cardíacas, surgiram algumas possibilidades de tratamento, visando minimizar os efeitos negativos dessas enfermidades na qualidade de vida dos pacientes (FLETCHER *et al.*, 2013; TAYLOR *et al.*, 2004; CORTES-BERGODERI *et al.*, 2013). Assim, foi desenvolvido um tratamento não-farmacológico eficiente, a Reabilitação Cardiopulmonar e Metabólica (RCPM) (CARVALHO *et al.*, 2006; PERK *et al.*, 2012).

A RCPM é o somatório das atividades necessárias, para garantir aos pacientes, portadores de cardiopatia, a melhor condição física, mental e social (TAYLOR *et al.*, 2004; CARVALHO *et al.*, 2006; CORTES-BERGODERI *et al.*, 2013). Os pacientes que aderem a programas de RCPM apresentam melhora na qualidade de vida, estabilização hemodinâmica, mudanças metabólicas e vasculares, assim como melhora no estado psicológico, que estão associadas ao melhor controle dos fatores de risco e a melhora no estilo de vida (CARVALHO *et al.*, 2006; PERK *et al.*, 2012). Já existem estudos demonstrando a benéfica relação de custo-efetividade da RCPM, que passa a ser necessária, para a reabilitação dos pacientes acometidos por estas doenças (WONG *et al.*, 2012; TAYLOR *et al.*, 2004; CORTES-BERGODERI *et al.*, 2013).

É consenso, segundo a Sociedade Brasileira de Cardiologia (SBC), os benefícios da RCPM (CARVALHO *et al.*, 2006), entretanto inúmeras são as incertezas que circundam os profissionais atuantes nesta área, embora a experiência adquirida com o tempo de atuação na RCPM auxilie a fortalecer as crenças e reduzir as dúvidas, sempre existirá um grau de incerteza em cada decisão, devido a heterogeneidade dos pacientes e dos casos clínicos.

Ainda é pequeno o número de especialistas com alto conhecimento a respeito da RCPM, nesse contexto, denominamos de especialista não apenas o profissional que tem pós-graduação *Lato-Sensu* e titulação de especialista em RCPM, mas o profissional que atua clinicamente e especializa-se na prática diária e na vivência com os pacientes cardiopatas e as técnicas de RCPM. Geralmente, estes estão alocados em regiões metropolitanas (CORTES-BERGODERI *et al.*, 2013), o que concentra, muitas vezes, a experiência em lugares específicos e dificulta a difusão desse conhecimento fora desses locais.

Assim, a RP a ser modelada representará o conhecimento do *especialista* no momento da tomada de decisão, porém, neste caso específico, não apenas baseado em suas crenças, mas também, em todas as diretrizes e os consensos já estabelecidos pela SBC para reabilitação cardiovascular e RCPM.

Conseqüentemente, com base nos avanços tecnológicos e na alta prevalência das doenças cardíacas, fatores estes associados ao crescimento e reconhecimento da RCPM, este estudo objetiva descrever como construir um diagrama de influências e definir um modelo de DI para apoio à decisão clínica no processo de RCPM fase II de pacientes cardiopatas.

2. REVISÃO DA LITERATURA – CONTEXTUALIZAÇÃO

2.1 TEORIA DA DECISÃO

O desenvolvimento da inteligência artificial (IA), como sugerem Martani e Foster (2009), é motivado, pela necessidade de criar programas de computador que tomem decisões, baseadas em um conjunto de evidências conhecidas, para auxiliar o ser humano. Corroborando com esta teoria, Marques e Dutra (2012) afirmam o que segue:

A inteligência tem sido matéria de estudo dos seres humanos por mais de 2000 anos. O sonho do desenvolvimento de uma máquina pensante tem sido fonte de pesquisa desde o desenvolvimento das primeiras máquinas computadas, em meados dos anos 40. A união destas duas áreas de pesquisa deu origem à disciplina chamada, Inteligência Artificial (MARQUES; DUTRA, 2012, p. 1)

Nessa interessante área de estudo, tem-se o desenvolvimento de sistemas que agem como humanos (robôs) e também racionalmente (MARQUES; DUTRA, 2012). Na atualidade, a utilização desses sistemas está tão implícita na rotina diária que nem, ao menos, percebe-se que são utilizados frequente e diariamente (KABACHINSKI, 2013), como por exemplo, as buscas em bases de dados, as quais nos respondem inteligentemente retornando algumas opções de respostas racionais segundo nossa solicitação.

Os sistemas que agem racionalmente podem ser divididos em duas categorias: os sistemas, baseados no raciocínio lógico, e os baseados no raciocínio probabilístico (MARQUES; DUTRA, 2012; ARA-SOUZA, 2010). Muitas vezes, ambos são utilizados em associação, para suprir as demandas diárias. Embora o raciocínio lógico, em alguns casos, seja eficiente, em outros, nos quais não são conhecidas previamente a abrangência e as variáveis envolvidas na situação, pode não ser útil, sendo que, nessas situações, o raciocínio probabilístico se mostra mais eficaz (LUCAS, 2004).

Reafirmando o uso do raciocínio probabilístico nesses casos, Charniak (1991), *apud* Marques e Dutra (2012), assinala que a principal vantagem do raciocínio probabilístico em relação ao raciocínio lógico é o fato de os sistemas poderem tomar decisões racionais, mesmo quando não existe informação suficiente

para provar que uma ação funcionará, baseada nas probabilidades condicionais, previamente estabelecidas (ARA-SOUZA, 2010; JEQUESSENE, 2010).

Dentre os sistemas que podem utilizar o raciocínio probabilístico, encontram-se os de suporte à decisão (SSD), que são utilizados, para auxiliar na análise de variáveis, analisar as probabilidades e tomar decisões (FLORES *et al.* 2000, GOUD *et al.*, 2008; MARQUES; DUTRA, 2012; LUCAS *et al.*, 2004).

Os SSD mais simples utilizam somente fatos conhecidos (proposições verdadeiras ou falsas), para inferir, baseados em teorias da lógica matemática e em novas proposições, a fim de que possam ser tomadas as decisões (MARTANI; FOSTER, 2009). No entanto, segundo Noguero (2002) a incerteza é uma característica fundamental do universo, podendo ser minimizada mas nunca completamente eliminada. Para Rodrigues (2012), a dificuldade de possuir informações reais sobre um ambiente torna mais que justificada a utilização de técnicas de raciocínio probabilístico.

Rodrigues (2012) afirma que esses métodos podem ser muito bem aproveitados em ambientes, nos quais as informações são parciais ou incompletas, como na área da saúde, pois dificilmente o profissional tem acesso a todas as informações necessárias, para, de forma precisa e rápida, chegar a uma conclusão (MARTANI; FOSTER, 2009; NOGUEROL, 2002; MARQUES *et al.*, 2012) e, em outras circunstâncias, não se sabe se a informação é falsa ou verdadeira, por impossibilidade ou desconhecimento teórico. Assim, trabalhar com a falta de informação significa “lidar” com incertezas (NOGUEROL, 2002).

Com o propósito de superar essa limitação, os profissionais precisam ser capacitados e adaptados, para agir, considerando a incerteza (NOGUEROL, 2002; MARTANI; FOSTER, 2009). Portanto, é necessário desenvolver SSD que trabalhem com probabilidades (incertezas) e deem apoio nessas situações, como as árvores de decisões, que utilizam uma série de arcos e funções, para auxiliar nas representações gráficas.

Borges (2005) destaca que as árvores de decisão são estruturas de dados compostas por n ($n > 1$) nós e afirma que a árvore de decisão inicia pela raiz e passa por cada teste até chegar a uma folha, ou seja, inicia pela primeira pergunta e vai até a resposta final, assim as probabilidades devem resumir as condições, visto que o sistema pode “lidar” com uma vasta gama de possibilidades, ao menos, de forma aproximada (MARQUES; DUTRA, 2012; NOGUEIROL, 2002).

A ideia fundamental, em uma Teoria da Decisão, é a seguinte: “*um agente é racional se, e somente se, ele escolhe a ação que permite a maior expectativa de utilidade, ponderada pelos efeitos de todas as possíveis ações*”, ou seja, cumpre o princípio da Máxima Expectativa de Utilidade (MEU) (MARQUES; DUTRA, 2012, p. 3).

Marques e Dutra (2012) sugerem que a Teoria da Decisão nada mais é que a Teoria da Probabilidade Associada (somada) à Teoria de Utilidade, ou seja,

Para fazer estas escolhas, um agente deve inicialmente possuir *preferências* entre possíveis efeitos das ações a serem tomadas. Preferências são representadas por *utilidades* (*utility* – indicação do nível de *utilidade* que possui um estado) combinadas com probabilidades, resultando, assim, na chamada: *Teoria da Decisão*.

Dando seguimento à pesquisa, apresentamos as Redes Probabilísticas.

2.1.1 Redes Probabilísticas

Segundo Rodrigues (2012), o homem vem há muito tempo, tentando tratar o incerto, procurando uma solução para minimizar o seu impacto nas decisões que venham a ser tomadas (NOGUEROL, 2002), e uma resposta para isto parece estar na probabilidade dos eventos ocorrerem (MARQUES; DUTRA, 2012; ARA-SOUZA, 2010).

Visando tratar incertezas, os sistemas de regras de produção associam fatores verdadeiros às regras e definem um mecanismo para combiná-los. Formalmente, a incerteza é considerada como um valor real e existente, generalizado e associado às fórmulas (derivadas da lógica clássica), sendo que a incerteza de qualquer fórmula pode ser calculada como uma função da certeza das suas subfórmulas. Esse enfoque é eficiente em computador, mas, sem semântica clara, pode produzir resultados inesperados e não intuitivos, porque a dependência entre eventos muda o conhecimento de outros (LADEIRA *et al*, 1998).

A menos que se tomem cuidados especiais e *ad hoc* durante a construção da base de regras e se limite o tipo de inferência à causal ou diagnóstica, regras de produção apresentam: a) tratamento impróprio de fontes de evidências

correlacionadas; b) manipulação inadequada de inferências bidirecionais (ocorrência de A e de B, onde A é evidência para B e vice-versa); e c) dificuldade em explicar as conclusões obtidas (LADEIRA *et al.*, 1998).

Segundo Ladeira (1998), uma abordagem geral, para tratar incertezas, sem ocorrência dos problemas citados acima, é o cálculo de probabilidades. Assim, RP são modelos, baseados em representações gráficas das dependências probabilísticas do domínio da aplicação (VICARI *et al.*, 2003; LUCAS *et al.*, 2004).

No final dos anos 80, houve um ressurgimento das abordagens probabilísticas, motivado pela descoberta de que, considerando o relacionamento causal e a independência (condicional) entre variáveis do domínio, é necessário apenas representar probabilidades condicionais entre variáveis *diretamente* dependentes, tornando essa representação tratável em computador. Essa retomada de interesse está associada ao aparecimento de modelos, baseados em representações gráficas de dependências probabilísticas denominadas “RP” (LADEIRA *et al.*, 1998; LUCAS *et al.*, 2004).

O uso dessas redes apresenta as seguintes vantagens: permite representar e manipular a incerteza, com base em princípios matemáticos fundamentados; modela o conhecimento do especialista do domínio de uma forma intuitiva; e é único formalismo que permite realizar qualquer um dos tipos possíveis de inferência probabilística, ou seja, causal, diagnóstico, intercausal ou misto. RB, redes de Markov (RM) e DI são exemplos de RP (JENSEN, 1990; VICARI *et al.*, 2003; LUCAS *et al.*, 2004).

A probabilidade condicional é vista como uma medida de crença (certeza) no evento, dadas todas as evidências disponíveis (LUCAS *et al.*, 2004; MARQUES *et al.*, 2012). Segundo Flores (2000), o cálculo de probabilidades é uma abordagem geral, para tratar incertezas, tanto isoladas quanto encadeadas (quando um evento reforça ou diminui a probabilidade de outro), sendo o raciocínio, baseado na realização de inferências probabilísticas, isto é, no cálculo da probabilidade condicional de um evento, dadas as evidências disponíveis, aplicando-se o Teorema de Bayes (PEARL, 1988; LUCAS *et al.*, 2004).

Uma RP apoia o desenvolvimento do raciocínio diagnóstico e a modelagem de hipóteses diagnósticas. Além disso, avalia as evidências selecionadas, as relações entre as evidências e a probabilidade do diagnóstico estar

correto, bem como demonstra todas as probabilidades de inter-relações entre as diversas variáveis de interferência e desfecho (FLORES *et al.*, 2000). Em outras palavras, uma RP, modelada pelo especialista, tratará desfechos pertinentes ao universo do problema de forma similar ao pensamento do modelador e emulará o seu raciocínio (certo ou errado), incluindo todas as suas crenças, e simulará a sua decisão.

A característica principal das redes probabilísticas é a habilidade, para explorar a estrutura do grafo e reduzir o cálculo (da probabilidade condicional de um evento, dada à evidência disponível) a uma série de cálculos locais, usando somente variáveis obtidas de um nó e os seus vizinhos em uma estrutura de grafo, evitando-se, assim, calcular a função de distribuição de probabilidades conjunta e global. A representação gráfica também explicita relações de dependências e constitui uma ferramenta poderosa na aquisição de conhecimentos e no processo de verificação (NOGUEIROL, 2002., LUCAS *et al.*, 2004)."

RP são modelos muito versáteis, com aplicabilidade crescente em diversas áreas. Os referidos modelos são capazes de estruturar e mensurar a interação entre variáveis, permitindo, portanto, que sejam realizados vários tipos de análises, desde diagnósticos até previsões (VERDUIJN *et al.*, 2007), além de permitirem a construção de modelos de tomadas de decisões automatizadas. Neste trabalho, são apresentadas as etapas para a construção dessas redes e alguns métodos usados para tal, dando maior ênfase para as chamadas "RB", uma subclasse de modelos de RP (VICARI *et al.*, 2003).

A modelagem de uma RB pode ser dividida em três etapas: seleção de variáveis, construção da estrutura da rede e estimação de probabilidades. A etapa de seleção de variáveis é usualmente feita com base nos conhecimentos subjetivos sobre o assunto estudado. A construção da estrutura pode ser realizada manualmente, levando em conta relações de causalidade entre as variáveis selecionadas, ou semiautomaticamente, através do uso de algoritmos. A última etapa, de estimação de probabilidades, pode receber duas abordagens principais: uma frequentista, em que os parâmetros são considerados fixos, e outra bayesiana, na qual os parâmetros são tratados como variáveis aleatórias (VICARI *et al.*, 2003; LUCAS *et al.*, 2004).

O Teorema da Probabilidade, demonstrado pela primeira vez no século XVIII pelo teólogo matemático, o britânico Thomas Bayes, deu origem ao

famoso Teorema de Bayes (PEARL *et al.*, 1988; ARA-SOUZA, 2010). A fundamentação matemática do Teorema de Bayes, em si, é antiga, porém a praticidade em seu cálculo se deu a partir da popularização dos microcomputadores (ARA-SOUZA, 2010). Assim, surgiram, no final dos anos 80, as redes probabilísticas (RP) – constituídas principalmente por RB e DI.

O Teorema de Bayes (RODRIGUES, 2012; JEQUESSENE, 2010, ARA-SOUZA, 2010) apresenta-se da forma da equação 1:

$$P(x | y) = \frac{P(y | x) \cdot P(x)}{P(y)}$$

Onde $P(x | y)$ é a probabilidade de x ocorrer dado y estar implicitamente sendo suposto, ou ainda, na forma da equação 2:

$$P(causa | efeito) = \frac{P(efeito | causa) \cdot P(causa)}{P(efeito)}$$

O Teorema de Bayes pode ser entendido como a probabilidade de uma determinada causa “ x ” gerar algum efeito “ y ”, ou seja, de qual a probabilidade do efeito acontecer, quando se conhece a probabilidade da causa atuar sobre esse efeito (MARTANI; FOSTER, 2009). Sendo assim, o Teorema de Bayes diz que, uma vez adquiridos alguns dados ou informações, pode-se calcular como os dados mudam a probabilidade de uma determinada hipótese, aumentando-a ou diminuindo-a (PEARL *et al.*, 1988; MARQUES; DUTRA, 2012; LUCAS *et al.*, 2004).

Desta forma, o cálculo de probabilidades é uma abordagem geral, para tratar incertezas (FLORES *et al.*, 2000, RODRIGUES, 2012, MARQUES, DUTRA, 2012), sendo o raciocínio baseado na realização de inferências probabilísticas (LUCAS *et al.*, 2004), isto é, no cálculo da probabilidade condicional de um evento, dadas as evidências disponíveis (conhecidas), aplicando-se o Teorema de Bayes (PEARL *et al.*, 1988; FLORES *et al.*, 2000).

A probabilidade condicional é vista como uma medida de crença (certeza) no evento, dadas todas as evidências (MARTANI; FOSTER, 2009; LUCAS *et al.*, 2004; MARQUES; DUTRA, 2012). Observando esse fato e analisando o descrito por Flores *et al.* (2000), pode-se dizer que as RP, considerados métodos de representação do conhecimento incerto, permitem representar e manipular a incerteza, com base em princípios matemáticos fundamentados (MARQUES; DUTRA, 2012).

Como ressalta Vicari (2003), as RP modelam o conhecimento do especialista do domínio de uma forma intuitiva e permitem realizar qualquer um dos tipos possíveis de inferência probabilística, que podem ser do tipo causal (parte-se das causas para os efeitos), diagnóstico (dos efeitos para as causas), intercausal (discrimina entre causas de um efeito comum) e misto (combinação de dois ou mais tipos acima) (PEARL, 1988; LUCAS *et al.*, 2004; RODRIGUES, 2012).

Lucas *et al.* (2004) afirmam que RP são modelos computacionais, baseados em representações gráficas das dependências probabilísticas do domínio da aplicação (do conhecimento), o que corrobora com o conceito de Flores *et al.* (2000). O uso dessas redes apresenta as seguintes características: a) permite representar e manipular a incerteza com base em princípios matemáticos fundamentados; b) modela o conhecimento do especialista do domínio de uma forma intuitiva; e c) é único formalismo que permite realizar qualquer um dos tipos possíveis de inferência probabilística, ou seja, causal, diagnóstico, intercausal ou mista (PEARL, 1988; FLORES *et al.*, 2000; MAHERONNAGHSH *et al.*, 2013, LUCAS *et al.*, 2004).

A característica principal da RP é a habilidade, para explorar a estrutura do grafo e reduzir o cálculo (da probabilidade condicional de um evento, dadas as evidências) a uma série de cálculos locais (MARQUES; DUTRA, 2012), usando somente variáveis obtidas de um nó e seus vizinhos em uma estrutura de grafo, evitando-se, assim, calcular a função de distribuição de probabilidades conjunta global (PEARL, 1988; FLORES *et al.*, 2000; MAHERONNAGHSH *et al.*, 2013).

As RPs constituem uma profícua área de interesse mundial de grandes empresas e da comunidade científica (RODRIGUES, 2012). Um dos principais eventos da área é o encontro anual da Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI), com a sua 30ª conferência em 2014. A UAI é a principal conferência internacional sobre pesquisa relacionada à representação, inferência, aprendizagem e tomada de decisão na presença de incerteza dentro do campo da IA. Além disso, é apoiada pela Association for Uncertainty in Artificial Intelligence (<http://www.auai.org/>).

Também é significativo o número de artigos da área, apresentados na conferência bianual International Joint Conference on Artificial Intelligence (<http://ijcai.org/>) e na National Conference on Artificial Intelligence

(<http://www.aaai.org/Conferences/AAAI/aaai.php>), conferência da AAAI. Dentre as revistas importantes, destacam-se a Artificial Intelligence (<http://www.journals.elsevier.com/artificial-intelligence/>) e a Artificial Intelligence in Medicine (<http://www.journals.elsevier.com/artificial-intelligence-in-medicine/>), revista com publicações específicas da área da saúde.

Alguns produtos comerciais importantes em RP são os sistemas HUGIN (Hugin Expert A/S, Dinamarca) e o Netica (Norsys Software Corporation, Noruega). O HUGIN é utilizado pela agência do Governo dos Estados Unidos da América (NASA), General Motors, Ford e outras grandes corporações mundiais (HUGIN EXPERT, 2012).

A lógica probabilística (RP) alimenta muitos SSD, sendo a mais comum a baseada na lógica *bayesiana* (MARTANI; FOSTER, 2009; LUCAS *et al.*, 2004; MARQUES; DUTRA, 2012), a qual é fundamentada no Teorema de Bayes e que será utilizada neste trabalho para a construção de um DI de apoio à decisão na RCPM fase II, em pacientes cardiopatas.

2.1.1.1 Redes Bayesianas

Na lógica bayesiana, conforme Vicari *et al.* (2003), definem-se variáveis aleatórias, que são eventos, nos quais há algum grau de incerteza sobre a verdadeira ocorrência do mesmo. Essas variáveis se unem através de arcos (correlacionando-se, inibindo ou potencializando cada possibilidade) (MARTANI; FOSTER, 2009; MARQUES; DUTRA, 2012).

Uma RB é um grafo acíclico orientado, cujos nós representam variáveis aleatórias, e o arco, unindo dois nós, representa a dependência probabilística entre as variáveis associadas (LUCAS *et al.*, 2004; ARA-SOUZA, 2010; RODRIGUES, 2012). Cada nó armazena a função de distribuição de probabilidades condicionais, dos valores que podem ser assumidos pela variável aleatória associada ao nó, dado os valores de seus nós pais (isto é, aqueles diretamente ligados ao nó em questão) (FLORES *et al.*, 2000; MARQUES; DUTRA, 2012).

Além disso, Jequessene (2010) destaca que, através das RB, pode-se calcular a probabilidade condicional de cada variável. De acordo com o autor, através dos grafos, é possível visualizar as dependências condicionais e

incondicionais que uma RB venha a possuir. A representação gráfica também explicita relações de dependência e constitui uma ferramenta poderosa na aquisição de conhecimentos e no processo de verificação desse conhecimento (SAHEKI *et al.*, 2005).

Matematicamente, uma RB é uma representação compacta de uma tabela de conjunção de probabilidades do universo do problema (FLORES *et al.*, 2000). Do ponto de vista de um especialista, as RB constituem um modelo gráfico que representa, de forma simples, as relações de causalidade das variáveis de um sistema (LUCAS *et al.*, 2004; MARQUES; DUTRA, 2012; SAHEKI *et al.*, 2005).

Com a utilização das RB, é possível aplicar o conhecimento acerca das dependências entre as variáveis aleatórias, de forma a diminuir a quantidade de informações necessárias para descrever o conjunto de probabilidades, além de tornar mais fácil a sua visualização (MARTANI; FOSTER, 2009; NOGUERAL, 2002).

A RB apresenta maior facilidade de detalhamento e explicações de como o sistema chega a determinadas conclusões, bem como tem a capacidade de estratificação e ordenação matemática de conclusões mais prováveis, o que proporciona maior segurança, melhor desempenho na tomada de decisões, auxilia a armazenar e a obter, em pouco tempo, informações adequadas que dão suporte à tomada de decisão (FLORES *et al.*, 2000; MARTANI; FOSTER, 2009; LUCAS *et al.*, 2004; MARQUES; DUTRA, 2012; RODRIGUES, 2012).

Segundo Lucas *et al.* (2004), as RB apresentam um formalismo matemático bem fundamentado e demonstram uma estruturação do conhecimento de forma acíclica. Flores (2000) corrobora com essa idéia e explica que a forma acíclica evita a confusão gerada por algumas regras de produção que permitem a influência do “efeito”, influenciando a “causa”, que, por sua vez, retroalimentam artificialmente as crenças sobre seus nós “efeito”.

A modelagem usual de uma RB, para Flores *et al.* (2000), é construída a partir de conhecimentos já obtidos a respeito da dependência entre as variáveis aleatórias, e este conhecimento pode ocorrer por meio da opinião de especialistas no assunto, das evidências científicas atuais e de coortes de pacientes. Martani e Foster (2009), seguem na mesma linha, dizendo que podem ser utilizados dados obtidos experimentalmente, a fim de tentar descobrir relações de causas e consequências dos eventos pesquisados.

As RB são aplicadas, com sucesso, em diversas áreas, tais como reconhecimento de padrões e, principalmente, bioinformática, porém a área do conhecimento mais atuante nessas pesquisas é a engenharia, seguido pela classe médica, já os demais profissionais da área da saúde têm pouca participação na construção desse formalismo, sendo que, na fisioterapia, não há evidências de outros trabalhos que utilizassem RB ou DI, para auxiliar em tomadas de decisão (MARTANI; FOSTER, 2009; LUCAS *et al.*, 2004; MARQUES; DUTRA, 2012).

2.1.1.2 Diagrama de Influência

O Diagrama de Influência (DI) é uma técnica de IA para apoio à tomada de decisão (LADEIRA, *et al.*, 1998; MARTANI; FOSTER, 2009). São baseados em RB e, através de uma combinação de probabilidades, fornecem as possibilidades de decisões e as suas respectivas chances de sucesso. São representados por grafos, onde existem nós de incerteza, decisão e utilidade. Através da combinação das variáveis contidas em cada nó, obtêm-se as sugestões, cujo objetivo é auxiliar na tomada de decisão (KABACHINSKI, 2013; MARQUES; DUTRA, 2012; BORGES, 2005).

Jequessene (2010) corrobora com a ideia acima, explicando que DI são baseados em RB, todavia estes possuem nós especiais, diferentes das RB. De acordo com Flores (2000), os diagramas de influência, assim como as redes bayesianas, são grafos acíclicos e possuem nós de probabilidades com tabelas probabilísticas associadas. Para Jequessene (2010), os nós que compõem um DI são:

- **Nós de incerteza:** são representados em forma oval (estes são os nós contidos nas RB). Cada nó está associado a uma tabela de probabilidades condicionais. Esse tipo de nó pode ou não possuir um nó pai, e, caso não possua, a sua probabilidade de acontecer é considerada, assim como em RB, como probabilidade *a priori* (causa), caso contrário, são chamados *a posteriori* (efeito).
- **Nós de decisão:** são representados por retângulos. Seus pais podem ser nós de incerteza ou outros nós de decisão. Existe um arco direcionado que liga os nós de decisão. Como esclarece Flores (2000), esses nós são pontos de escolhas de ações.

- **Nós de utilidade:** são representados por losangos. É o nó responsável por uma função do diagrama e “possui uma tabela contendo descrição da utilidade do decisor como função das variáveis associadas aos seus nós pais”. Seus pais podem ser nós de decisão ou nós de incerteza. Não possuem filhos nem estados, mas levam a informação ao nó de decisão.

Na Figura 1, segue uma representação fictícia e simples de um DI, apresentando nós de incerteza, nó de decisão e nó de utilidade.

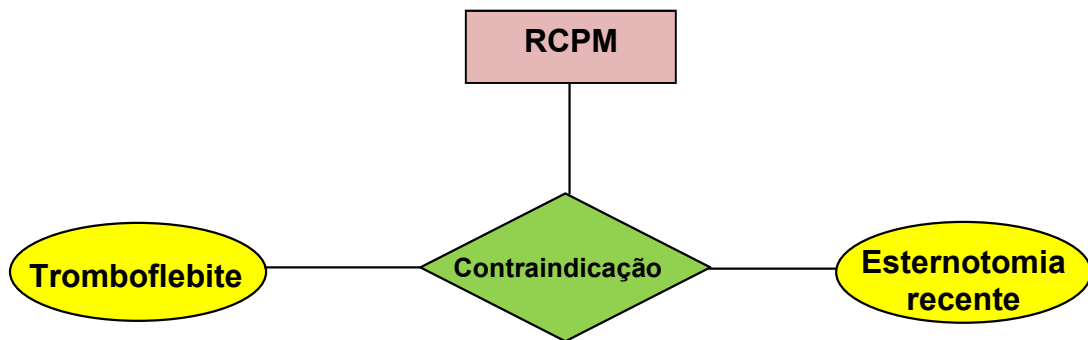


Figura 1: Diagrama de influência para uma representação simples de decisão em RCPM fase II:

No exemplo simulado na figura 1, um nó, chamado “RCPM”, pode retornar à decisão de apoiar ou desaconselhar a RCPM, baseado nas informações que estão dispostas no diagrama. Dadas às probabilidades e uma anamnese inicial, chegou-se às variáveis “esternotomia recente” e “tromboflebite”, que podem estar presentes ou não no caso clínico. Baseando-se no resultado dessas informações iniciais, o DI pode sugerir uma ação: apoiar ou desaconselhar que o paciente realize RCPM. O nó que faz o processamento dessas informações “contraindicação” analisa as probabilidades informadas. Caso uma contra-indicação estivesse presente, a decisão seria de desaconselhar a RCPM; e, caso nenhuma contra-indicação fosse informada, a decisão é a de apoiar a RCPM, dadas as probabilidades condicionais.

Flores *et al.* (2000) acreditam que o DI pode auxiliar a “cristalizar” o conhecimento de um especialista em uma ferramenta informatizada que ajudará o profissional menos experiente ou não especialista a tomar decisões (LUCAS *et al.*, 2004; GOUD *et al.*, 2010; SAHEKI, 2005), baseando-se na análise de um determinado conjunto de evidências conhecidas (ARA-SOUZA, 2010; MARTANI; FOSTER, 2009).

2.1.2 Método de construção do diagrama de influência

Esse é um estudo metodológico aprovado pela comissão de pesquisa – ComPesq da Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre sob o número 011/2013.

O método utilizado neste trabalho, para construir o DI, começou pela leitura de alguns estudos científicos selecionados previamente, evidências científicas reconhecidas como normatizações, consensos e diretrizes, os quais descreviam as variáveis com influência no diagnóstico, prognóstico e tratamento das patologias cardíacas.

Segundo Flores (2000) a modelagem de uma RB pode ser dividida em etapas:

- Seleção de variáveis;
- Construção da estrutura da rede;
- Estimativa de probabilidades.

A fase de seleção da variável é usualmente realizada com base no conhecimento subjetivo do especialista, no entanto, no nosso estudo foi realizada uma pesquisa bibliográfica para corroborar na escolha das variáveis a serem consideradas e todo esse processo foi realizado por um especialista na área em estudo. O desenvolvimento qualitativo do DI para o problema de domínio consiste no seguinte: As variáveis determinadas pela literatura como fatores importantes a serem consideradas foram identificadas e estes nós foram incluídos na rede. Também foram determinadas quais variáveis deveriam ser omitidas neste momento para não confundir e retroalimentar inadequadamente o motor de inferência.

A construção da estrutura do DI foi realizada manualmente, considerando as relações causais entre as variáveis selecionadas na fase anterior. Para o desenvolvimento da topologia da rede, foram consideradas as determinações estabelecidas pelas diretrizes e consensos para a RCPM. Cada descoberta de causalidade foi expressa em termos gráficos como arcos orientados entre os nós, acompanhando o sentido de causa e efeito, e as relações foram aperfeiçoadas pelo conhecimento do especialista.

A estimativa da probabilidade (quantificação das variáveis), foi realizada com base em dados quantitativos obtidos a partir de um banco de dados, construído com as informações dos prontuários de uma coorte de pacientes cardiopatas em RCPM fase II, no período de 2012 a 2013, cedidos por um centro de referência do estado do Rio Grande do Sul – Brasil.

Essa quantificação foi construída baseada na probabilidade da ocorrência dos desfechos e na confirmação destes valores nos dados da coorte de pacientes. Nessa fase são quantificadas as variáveis definidas no primeiro momento e envolveu a avaliação de todas as distribuições de probabilidades condicionais das variáveis representadas. A literatura biomédica geralmente não refere questões como qual é a probabilidade de uma condição patológica e mesmo profissionais experientes mostram grande dificuldade em quantificar frequências aproximadas de algumas situações, já que são muitas vezes descobertas "raras", apenas descritas em alguns estudos. No entanto, isso não invalida o DI, porque continua a ser o mesmo princípio utilizado pelo perito para tomar a decisão em cenários onde o conhecimento quantitativo do problema não é conhecido ou claro (ROSHANOV *et al.*, 2013; VICARI *et al.*, 2003). Neste ponto, os dados da coorte fornecidos pelo centro de referência foram fundamentais, porque eles auxiliaram a quantificar a frequência de resultados clínicos.

A soma da parte qualitativa com a quantitativa baseou-se em conhecimentos já obtidos a respeito da dependência entre as variáveis aleatórias, e este conhecimento pode ocorrer por meio da opinião de especialistas no assunto, das evidências científicas atuais e de coortes de pacientes. Todos esses conhecimentos foram associados e utilizados neste estudo.

Assim, após a identificação de variáveis relevantes e pertinentes, organizando a topografia dessas variáveis em uma estrutura de grafo acíclico direcionado que representa as relações entre eles, e obtendo, para cada variável (nó), os possíveis valores de probabilidade condicional e um modelo a priori para a propagação, pode-se definir um método para a construção da RB e DI (LUCAS *et al.*, 2004; FLORES *et al.*, 2000).

A estrutura topológica da rede (e do cuidado para se certificar de que a descoberta tem "links" para todas as suas causas) é mais importante do que a precisão da função de distribuição de probabilidade. Na maioria dos casos, há um grande número de descobertas que apontam fortemente para a causa, por

consequente, as probabilidades exatas são menos importantes. Mas também há um número significativo de situações em que alguns resultados apontam para muitas causas, e então as probabilidades são significativas e precisam ser validadas.

O DI foi modelado para apoiar a tomada de decisão em relação a dois momentos do processo RCPM. Em primeiro lugar, um DI foi modelado para ajudar a decidir se o paciente deve realizar RCPM ou não e, em uma segunda fase, outro DI foi modelado para ser utilizado quando a primeira resposta for “SIM” - o paciente deve realizar RCPM. Nessa segunda fase o DI deverá contribuir para definir as modalidades de treino, tipo de equipamento e intensidade mais recomendadas para os pacientes estudados.

Para validar o DI foi utilizado um banco de dados de outro grupo de pacientes em RCPM fase II, cedido por um centro de referência em RCPM, do Estado do Rio Grande do Sul. Por isso, para ajudar com as frequências observadas ambas as situações foram consideradas - a frequência das observações realizadas no coorte do centro de referência e a decisão com base na opinião do especialista.

O campo da análise de decisão oferece várias técnicas (FLORES *et al.*, 2000; VICARI *et al* 2003) para examinar as probabilidades arbitrárias de especialistas, incluindo a escala numérica, a técnica de frequência e a escala de Van Der Gaag.

A escala numérica é uma linha vertical ou horizontal marcando os extremos de 0% e 100% de chance, e algumas divisões numéricas intercaladas.

Na técnica de frequência o especialista é convidado a imaginar uma centena de casos com algum contexto específico, e então é questionado sobre o número de casos com alguma característica específica. Por exemplo, o especialista de domínio é convidado a imaginar uma população com cem pacientes em RCPM fase II e determinar quantos destes tem claudicação ou quantos desses pacientes devem ser reabilitados em uma esteira.

Uma evolução da técnica acima é uma escala de probabilidade numérica e verbal, com questionamentos (perguntas) em notações verbais e não-matemáticas, a escala de Van Der Gaag. A escala de probabilidade tem marcações numéricas (por exemplo, 0%, 15%, 25%, 50%, 75%, 85% e 100%) e ao lado deles expressões vulgarmente utilizadas pelos especialistas (por exemplo, improvável, incerto, etc.). Expressões verbais facilitam o entendimento do perito, pois muitos

especialistas não se sentem confortáveis com as notações matemáticas de probabilidade.

O DI foi construído no *software* HUGIN, ferramenta adotada no desenvolvimento deste trabalho por existir uma versão gratuita do *software* e ser uma ferramenta de domínio dos pesquisadores deste estudo (HUGIN EXPERT, 2012).

2.1.3 Estado da Arte de Redes Probabilísticas em Reabilitação Cardiovascular

Foi realizada uma busca nas bases de dados eletrônicas PubMed, Cochrane CENTRAL, EBSCO, Lilacs, Biblioteca Virtual de Saúde e PEDro, para verificar o que existe na literatura científica sobre redes probabilísticas de apoio à decisão relacionadas à reabilitação cardiopulmonar e metabólica. Não houve restrição quanto ao ano de inclusão ou publicação do estudo, nem quanto ao idioma.

A estratégia de busca foi composta por descritores do vocabulário médico para indexação de artigos ou *Medical Subject Headings (MeSHs)*, termos sinônimos e palavras texto, relacionados aos pacientes de interesse (cardiopatas), à intervenção (RCPM) e ao sistema utilizado para apoio à decisão (RP, DI, RB), com a utilização dos termos booleanos *AND* e *OR*. Não houve delimitação por tipo de estudo, portanto não foram incluídos MeSHs, para delimitar a busca quanto a esse quesito.

Com a associação dos termos **cardiology OR heart failure AND rehabilitation AND bayesian network** e os seus termos sinônimos nas bases de dados da área da saúde não foram encontrados artigos científicos. Porém, em busca manual e em bases de dados da área da informática, como *Science Direct* e *leexlore*, foi possível encontrar estudos com temas similares, relacionados à cardiologia, mas não, à RCPM e à fisioterapia. Os artigos encontrados, relacionados à cardiologia que utilizam RB, foram descritos no Quadro 1.

Quadro 1: Estudos científicos que utilizam redes bayesianas relacionadas à cardiologia.

Autor (Ano)	Título	Publicado em:	Resumo	Enfoque
Berchiolla, Paola <i>et al.</i> (2012)	<i>Integrating stress-related ventricular functional and angiographic data in preventive cardiology: a unified approach implementing a Bayesian network</i>	J Eval Clin Pract. DOI: 10.1111/j.1365-2753.2011.01651.x. Epub 2011 Mar 30.	RB construída a partir dos preditores clínicos de eventos cardiovasculares adversos entre 228 indivíduos com sintomas sugestivos de doença arterial coronariana (DAC) submetidos a exame funcional (ecocardiograma de estresse) e anatômico (cinecoronariografia), bem como avaliação da DAC. Foram integradas medidas simples que têm conhecido valor prognóstico e, mais recentemente, descobertos preditores de risco, tais como dados de função ventricular, relacionados ao estresse, e dados angiográficos, em um modelo único para implementação de uma rede Bayesiana (BN).	Construção da RB
Sarkar, S.; Koehler, J. (2013)	<i>A Dynamic Risk Score to Identify Increased Risk for Heart Failure Decompensation</i>	IEEE Transactions on Biomedical Engineering DOI: 10.1109/TBME.2012.2209646	Associação de informações diagnósticas de insuficiência cardíaca em uma RB, para melhorar a capacidade de identificar quando os pacientes estão em risco de hospitalização por IC. A RB é usada, a fim de combinar as características, para gerar um escore de risco, definido como a probabilidade de uma internação por IC.	Construção da RB
Fernande, J.; <i>et al.</i> (2004)	<i>Bayesian networks and influence diagrams as valid decision support tools in systolic heart failure management</i>	Computer sins Cardiology DOI: 10.1109/CIC.2004.1442902	Uso de uma Rede Bayesiana na modelagem de disfunções da contratilidade cardíaca, refletidas na condição de insuficiência cardíaca sistólica e do uso de DI na decisão de ações de tratamento. A rede resultante estima a probabilidade de um paciente para o desenvolvimento de uma disfunção sistólica ventricular assintomática e insuficiência cardíaca sistólica, a partir da especificação de sinais, sintomas, fatores de risco, doenças cardiovasculares ou diagnóstico resultado de testes. Com base nisso, a rede informa sobre a conveniência da aplicação de um tratamento preventivo ou um corretor.	Construção da RB
Xiao Fu <i>et al.</i> (2011)	<i>A computational model for heart failure stratification</i>	Computing in Cardiology	Construção de uma RB, para classificar estágios da IC. A RB foi testada em 389 sujeitos. Os resultados mostram que os casos de 81,06%, no total, são consistentes com os resultados por sistema de estadiamento AHA/ACC. Este trabalho pode oferecer uma ferramenta quantitativa para a estratificação de IC.	Construção e validação da RB
Gerevini, A. <i>et al.</i> (1990)	<i>Modeling the treatment scheme of sustained ventricular tachycardia with a Bayesian belief network</i>	Computers in Cardiology DOI: 10.1109/CIC.1990.144286	Um sistema de suporte à decisão tem que considerar a experiência clínica com TVS, os testes eletrofisiológicos necessários e as características gerais da terapia em potencial. Uma RB é desenvolvida, visando a permitir que as relações de propostas de terapia sejam modeladas. No contexto arritmico, os eventos (os nós da rede) são achados cardiológicos, estados fisiopatológicos, resultados de testes, e as decisões terapêuticas. Os princípios básicos da RB, como uma ferramenta para o projeto de apoio à decisão médica, são apresentados, e as questões de conhecimentos essenciais do problema arritmico são tratadas.	Construção da RB

Quadro 1: Estudos científicos que utilizam redes bayesianas relacionadas à cardiologia.

Ng, G. et al (2000)	<i>Using a qualitative probabilistic network to explain diagnostic reasoning in an expert system for chest pain diagnosis</i>	Computers in Cardiology DOI: 10.1109/CIC.2000.898585	Foi desenvolvida uma RB, objetivando diagnosticar a causa da dor no peito em pacientes internados no setor de emergência. A RB combina a evidência de forma cumulativa e fornece uma medida quantitativa de certeza nos diagnósticos finais. O sistema produz resultados que são compatíveis com os diagnósticos de médicos.	Construção da RB
Marshall, A.H. et al. (2010)	<i>Continuous Dynamic Bayesian networks for predicting survival of ischaemic heart disease patients</i>	International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS) DOI: 10.1109/CBMS.2010.6042637	RB é utilizada, para representar a sobrevida de pacientes que sofrem de doença isquêmica do coração (DIC). O principal objetivo do modelo é investigar a possível associação entre as variáveis do paciente, o risco de desenvolver doença cardiovascular e sobrevivência. Visa, também, a saber se uma combinação de fatores de risco, conhecidos como síndrome metabólica, são as variáveis-chave em determinar o risco de DIC ou se existem outros considerados tão importantes, como idade, tabagismo e IMC, que não estão associados à síndrome. A RB resultante fornece uma ilustração simples das relações causais entre as variáveis dos pacientes, a ocorrência da doença e a sobrevida.	Construção da RB
Nikovski, D. ; et al. (2000)	<i>Constructing Bayesian networks for medical diagnosis from incomplete and partially correct statistics</i>	IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, DOI: 10.1109/69.868904	O artigo discute várias técnicas de engenharia do conhecimento para a construção de RB, para diagnósticos médicos, quando a informação probabilística numérica disponível é incompleta ou parcialmente correta. Embora nada possa substituir a informação probabilística precisa e completa, ainda um sistema de diagnóstico útil pode ser construído com dados imperfeitos, introduzindo restrições dependentes do domínio.	Construção da RB
Rahnama, H. ; et al. (2006)	Fuzzy Bayesian models for Classification and Diagnosis in Generalized Cardiology Discipline	WAC '06. World Automation Congress, 2006. DOI: 10.1109/WAC.2006.375951	Justifica uma metodologia padrão que pode ser usada na criação de um modelo genérico de sistema especialista para domínios médicos genéricos.	Construção da RB
Roberts, J.M.; et al. (2006)	<i>Bayesian Networks for Cardiovascular Monitoring</i>	28th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS '06. DOI: 10.1109/IEEMBS.2006.259985	Modelo simples de RB do sistema cardiovascular, empregado para avaliar a sua capacidade de prever as variáveis não observáveis, no qual são usados dados reais e simulados.	Construção e validação da RB
Yajuan Wang; (2010)	<i>A Classification Approach for Risk Prognosis of Patients on Mechanical Ventricular Assistance</i>	Ninth International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA), DOI: 10.1109/ICMLA.2010.50	Análise de três algoritmos de aprendizagem de máquina (árvore de decisão, Support Vector Machine (SVM) e RB) objetiva a identificação do paciente com melhor probabilidade, para implantação do dispositivo ventricular. SVM obteve melhor desempenho em comparação ao escore de risco popular de Lietz et al.	Construção da RB

Quadro 1: Estudos científicos que utilizam redes bayesianas relacionadas à cardiologia.

Dash, S. ; et al. (2012)	<i>Learning dependencies among fetal heart rate features using Bayesian networks</i>	Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), DOI: 10.1109/EMBC.2012.6347411	Resultados preliminares sobre o uso de RB, utilizando estrutura de algoritmos de aprendizagem, a fim de decifrar dependências diferentes entre FC fetal, através de recursos coletados de um banco de dados real. Foi utilizado um algoritmo para a estimativa da estrutura da RB. Além disso, algoritmos de aprendizado de estrutura oferecem um método de aprendizado de novas correlações entre características da FC fetal que podem ser exploradas para a categorização automática.	Construção da RB (semiautomática por aprendizagem em de máquina)
Exarchos, K.P. et al. (2013)	<i>Prediction of coronary atherosclerosis progression using dynamic Bayesian networks</i>	35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), DOI: 10.1109/EMBC.2013.6610394	Metodologia, para prever a progressão da aterosclerose nas artérias coronárias, usando RB. A metodologia leva em conta os dados do paciente, coletados na avaliação inicial, e estes são coletados no estudo de acompanhamento. O intuito é analisar as diferentes fontes de informação (demográficas, clínicas, bioquímica, marcadores inflamatórios, as características de tratamento), para prever possíveis manifestações da doença.	Construção da RB
Zhang, HZ ; et al. (2005)	<i>Computer Aided Diagnosis Tongue Sistema</i>	Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society, 2005. IEEE-EMBS 2005. 27th Annual International DOI: 10.1109/IEMBS.2005.1616055	Sistema de apoio à decisão, baseado em RB, que permite identificar inúmeras doenças, validado com n=600 pacientes, sendo 56 saudáveis e 544 pacientes afetados por 9 doenças comuns, com precisão superior a 75%.	Construção e validação da RB.
Atoui, H. et al. (2006)	<i>Cardiovascular risk stratification in decision support systems: A probabilistic approach. application to pHealth</i>	International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems, DOI: 10.1109/CISIS.2008.26	Construção de uma RB, para avaliar um novo tipo de sistema de ECG, proposta para prever o risco de um evento cardiovascular, com base em um conjunto de informações demográficas e dados clínicos (idade, IMC, etc). A validação foi a partir do banco de dados INDANA, do qual se extraiu um conjunto de dados de 15.013 e um conjunto de exames de 5.004 sujeitos. A abordagem da RB conseguiu uma alta precisão global.	Construção e validação da RB
Weimin Xue et al. (2006)	<i>Research and Application of Data Mining in Traditional Chinese Medical Clinic Diagnosis</i>	8th International Conference on Signal Processing, DOI: 10.1109/ICOSP.2006.346126	A construção da RB por mineração de dados (aprendizagem de máquina) ocorre a partir de um banco de dados, visando ao diagnóstico clínico da medicina tradicional chinesa para a doença arterial coronariana (DAC).	Construção de RB
Kushwaha, N.; et al. (2005)	<i>Microsoft agent based health care alert system for smart home</i>	Proceedings of 7th International Workshop on Enterprise networking and Computing in Healthcare Industry, DOI: 10.1109/HEALTH.2005.1500453	Monitoramento domiciliar, baseado em sensores que alerta o paciente sobre sua condição de saúde baseado em RB.	Construção da RB

Fonte: Busca manual de artigos em bases de dados da área da informática, como *ScienceDirect* e *leexlore*.

O quadro 1 apresentou o estado da arte do uso de redes probabilísticas associada a cardiologia e evidencia que as redes bayesianas e diagramas de influência são utilizados para apoio a decisão de diversas formas. A maioria dos estudos descritos realizou a construção da RB e nenhum esteve relacionado a área da fisioterapia, o que também justifica a relevância do nosso estudo.

2.2 REABILITAÇÃO CARDIOPULMONAR E METABÓLICA

2.2.1 Conceituando Reabilitação Cardiopulmonar e Metabólica

Os Programas de Reabilitação Cardíaca (RC), de acordo com a Diretriz de Reabilitação Cardíaca, proposta por Moraes *et al.* (2005), foram desenvolvidos com o propósito de auxiliar os pacientes a retornarem as suas atividades habituais, com ênfase na prática do exercício físico, acompanhada por ações educacionais, voltadas para mudanças no estilo de vida do paciente, buscando melhora em sua qualidade de vida.

A Organização Mundial da Saúde (OMS), neste sentido, posiciona-se, dizendo que o enfoque abrangente da RC justifica a denominação “Reabilitação Cardiopulmonar e Metabólica” (RCPM), que caracteriza a reabilitação como integração de intervenções, denominadas “ações não farmacológicas”, para assegurar as melhores condições físicas, psicológicas e sociais para os pacientes com doença cardiovascular, pulmonar e metabólica (CARVALHO *et al.*, 2006).

Sendo assim, a RC, agora denominada “RCPM”, é o somatório das atividades necessárias, para garantir aos pacientes portadores de cardiopatia as melhores condições física, mental e social, de forma que eles consigam, pelo seu próprio esforço, reconquistar uma posição na sociedade e levar uma vida ativa e produtiva (MORAES *et al.*, 2005, BERRY *et al.* 2010).

Segundo Berry (2010), os programas de RCPM representam uma ferramenta fundamental, a fim de que mudanças no estilo de vida do paciente se concretizem, criando hábitos de vida mais saudáveis e auxiliando na redução de novos eventos cardiovasculares. Considerando esse fato, Carvalho (2006) diz que a prática médica ética, com base em evidências científicas e de comprovadas

vantagens de ordem econômica, não admite deixar os portadores de doenças cardiovasculares, doenças metabólicas, doença pulmonar crônica e de nefropatia crônica sem os benefícios da RCPM.

Ao longo dos anos, a RCPM vem demonstrando modificações benéficas nos fatores de risco e reduções na morbimortalidade cardiovascular em um cenário considerado excelente em termos de custo-efetividade terapêutica (REBELO *et al.*, 2007, WONG *et al.*, 2012, KODAMA *et al.*, 2009). Os programas de RCPM, além de promoverem uma redução no índice de reinternação hospitalar por descompensação, são capazes de aumentar a expectativa de vida aproximadamente dois anos (MOREIRA, 2004).

Há fortes evidências de que os exercícios possuem eficácia em todas as fases da RCPM, desde o pré-operatório até a fase posterior à reabilitação ambulatorial, garantindo, por conseguinte, a permanência de um estilo de vida fisicamente mais ativo nesses pacientes após a reabilitação (TAYLOR *et al.*, 2004; GHORAYEB, *et al.*, 2013, ANDRADE *et al.*, 2009). Entretanto, a participação nos programas de RCPM depende da motivação do paciente em aderir ao tratamento até o final e a disposição/oferta de serviços que oportunizem a RCPM aos pacientes. A permanência dos pacientes nos programas de RCPM demonstrou-se mais efetiva em locais onde são ofertados um ambiente adequado e equipamentos próprios que deem segurança e resultados a esses indivíduos (FERRAZ *et al.*, 2006).

A realização do exercício físico promove uma série de modificações fisiológicas no organismo, em função do grande aumento da demanda energética em relação ao repouso (GHORAYEB *et al.*, 2013). Consequentemente, a exposição regular ao exercício, ao longo do tempo (treinamento físico), acarreta um conjunto de adaptações morfológicas e funcionais que conferem maior capacidade ao organismo, para responder ao estresse do exercício (GHORAYEB *et al.*, 2013). Tais alterações podem ser percebidas na redução da frequência cardíaca e na pressão arterial, no aumento do consumo de oxigênio, na melhora da função ventricular e do metabolismo, no ajuste na resposta dos quimiorreceptores e barroceptores, envolvidos no processo de respiração, entre outros (PERK *et al.*, 2012; CARVALHO *et al.*, 2007; BERRY *et al.*, 2010).

No entanto, mesmo mostrando resultados positivos na recuperação dos pacientes, na redução de morbimortalidade, na melhora da qualidade de vida dos pacientes tratados, no custo-efetividade (CARVALHO *et al.*, 2006) e na redução

de gastos em serviços de saúde, o número de centros de reabilitação cardíaca ainda é escasso, principalmente, na rede pública, e os existentes ainda são subutilizados (CORTES-BERGODERI *et al.*, 2013). Na população americana, apenas 10% a 20% de dois milhões de indivíduos elegíveis por ano, pós-infarto agudo do miocárdio (IAM), participam de programas de RCPM e, no Brasil, esta situação, infelizmente, não é diferente (BERRY *et al.*, 2010, SUAYA *et al.*, 2007).

É consenso, segundo a Sociedade Brasileira de Cardiologia (SBC), que a RCPM promove o incremento da capacidade pulmonar e da função muscular respiratória em pacientes cardiopatas (CARVALHO *et al.*, 2006). Os referidos efeitos corroboram positivamente com a qualidade de vida, a redução dos índices de mortalidade e a diminuição dos custos com internações hospitalares desses indivíduos (FLETCHER *et al.*, 2013; TAYLOR *et al.*, 2004; BERRY *et al.*, 2010; BENETTI *et al.*, 2010). Apesar de ser uma terapêutica bem estabelecida em diretrizes e normatizações, os protocolos de treinamento são pouco específicos para a reabilitação cardíaca, ficando, a critério da instituição e dos profissionais do serviço, o encaminhamento dos pacientes para uma ou outra modalidade ou, até mesmo, para diferentes equipamentos (FLETCHER *et al.*, 2013; CARVALHO *et al.*, 2006; ARAÚJO *et al.*, 2004).

Apesar da RCPM ser segura e obrigatória pelo que significa em termos de custo-efetividade, no Brasil, refletindo-se desinformação e/ou má atitude política, tanto no setor público quanto privado, os benefícios dos programas estruturados de RCPM ainda não são totalmente utilizados em favor dos pacientes (CORTES-BERGODERI *et al.*, 2013). É comum os planos de saúde disporem o mesmo tratamento ao processo de RCPM ao de procedimentos fisioterápicos, destinados a tratar problemas musculoesqueléticos agudos, geralmente, permitindo ao paciente apenas 10 sessões por ano ou, muitas vezes, nem cobrindo esse tipo de serviço (CORTES-BERGODERI *et al.*, 2013), desconsiderando que, devido à sua complexidade, a RCPM deve ser regida, segundo normas próprias já estabelecidas pela comunidade científica nacional e internacional (CARVALHO *et al.*, 2006).

Segundo Carvalho (2006), a comprovada repercussão clínica e econômica da RCPM obriga a implementação de políticas no sistema de saúde privado e público. Neste contexto, é essencial que todos os hospitais com serviço de cardiologia possuam um programa estruturado de RCPM, para início do processo de reabilitação, enquanto o paciente ainda estiver internado, potencializando, assim, os

efeitos da RCPM, com início precoce (CORTES-BERGODERI *et al.*, 2013), efetivando, por consequência, uma terapêutica benéfica, custo-efetiva e que pode melhorar a qualidade de vida de inúmeros pacientes.

2.2.2 Fases da Reabilitação Cardiopulmonar e Metabólica

A Reabilitação Cardiopulmonar e Metabólica, conforme a Diretriz de RCPM (CARVALHO *et al.*, 2006), é subdividida nas fases 1, 2, 3 e 4.

Na fase 1, o paciente está hospitalizado, geralmente após evento cardíaco ou intervenções coronárias percutâneas (ICP) por técnica de balão ou implante de *stent*, cirurgias para valvulopatia, cirurgias para cardiopatia congênita, transplante cardíaco, paciente com angina do peito de caráter estável e paciente com fatores de risco para doença coronária. Essa fase também se destina aos diabéticos, hipertensos, portadores de síndrome metabólica, nefropatas crônicos e pneumopatas crônicos, internados, devido à descompensação clínica, ou seja, pacientes internados em ambiente hospitalar, por descompensação clínica de natureza cardiovascular, pulmonar e metabólica. É o passo inicial em direção a uma vida ativa e produtiva e, comumente, inicia-se no hospital, após a estabilidade ou a compensação clínica (GONÇALVES *et al.*, 2006).

Carvalho (2006) propõe que, nessa fase, devem predominar a combinação de exercício físico de baixa intensidade, de técnicas para o controle do estresse e de educação sobre os fatores de riscos. A fase I tem a duração do tempo de internação hospitalar, o que vem sendo reduzida nos últimos anos, em decorrência de internações hospitalares mais curtas. O objetivo dessa fase é fazer com que o paciente obtenha alta hospitalar precoce, com as melhores condições físicas e psicológicas possíveis, além de conhecimento acerca do processo de RCPM (MOREIRA, 2004).

A segunda fase da RCPM é a primeira etapa extra-hospitalar. O ideal seria o encaminhamento imediato do paciente após a alta hospitalar (fase 1) para fase 2, mas infelizmente não é isso que ocorre (CORTES-BERGODERI *et al.*, 2013), pois a mediana de tempo entre a alta hospitalar e o início da RCPM fase 2 é de 1 mês ou 35 dias (PACK *et al.*, 2013).

Quanto mais precoce a fase 2, melhores são os resultados obtidos com o treinamento (PACK *et al.*, 2013). A duração prevista é de 3 a 6 meses, com

duração mínima de 3 meses, e alguns casos específicos podem ultrapassar os 6 meses. Nessa fase, são realizadas sessões supervisionadas pelo fisioterapeuta e/ou professor de educação física. Os exercícios são prescritos individualmente em termos de intensidade, duração, frequência, modalidade de treinamento, equipamento e progressão (CARVALHO *et al.*, 2006).

Também, fazem parte da fase 2 algumas atividades educacionais, relacionadas a mudanças no estilo de vida, na reeducação alimentar, na cessação do tabagismo e no controle do estresse. O principal objetivo dessa fase é incrementar a capacidade física, por meio de sessões supervisionadas, bem como contribuir para o mais breve retorno do paciente às suas atividades sociais e laborais nas melhores condições físicas e emocionais possíveis (MUELA *et al.*, 2011).

A fase 3 é um período ainda de franco aprimoramento físico, com duração prevista entre 6 a 24 meses. É a continuidade da fase 2, porém pode ser iniciada em qualquer etapa da evolução da doença, não sendo obrigatoriamente sequência das fases anteriores. Mesmo pacientes de baixo risco ou que não tenham participado da fase 2 são bons candidatos a realizar a fase 3 com benefícios garantidos (SUAYA *et al.*, 2007; TAYLOR *et al.*, 2004).

A supervisão do exercício da fase 3 deve ser realizada por profissional especializado em exercício físico (fisioterapeuta e/ou professor de educação física). Mesmo, nessa fase, a equipe de profissionais a prestar assistência ainda deve ser a mesma atuante nas fases anteriores (médicos, enfermeiros, fisioterapeutas, educadores físicos, psicólogos, terapeutas ocupacionais, assistentes sociais e nutricionistas) (CORTÉS *et al.*, 2006).

O principal escopo da fase 3 é o aprimoramento da condição física, mas devem ser também considerados tanto a necessidade de promoção de bem-estar (melhora da qualidade de vida) como os demais procedimentos que contribuam para a redução do risco de complicações clínicas, como é o caso das estratégias para cessão do tabagismo e reeducação alimentar (FLETCHER *et al.*, 2013).

A fase 4 é um período principalmente de manutenção dos ganhos obtidos e de diversificação do treinamento de longa duração, entretanto é indefinida e muito variável. As atividades não são necessariamente supervisionadas, devendo ser adequadas à disponibilidade de tempo para a manutenção do programa de

exercícios físicos e às preferências dos pacientes em relação às atividades desportivas recreativas (CARVALHO *et al.*, 2006).

Os recursos físicos, materiais e humanos devem ser igualmente considerados, como nas outras fases. Os objetivos principais dessa fase são o aumento e a manutenção da aptidão física, e os exercícios podem ser também orientados na forma de atividade em grupo. Tal fase, assim como a anterior, não tem obrigatoriedade de que seja precedida pelas fases anteriores (FLETCHER *et al.*, 2013).

Ainda, existe uma possibilidade de reabilitação não supervisionada, a qual não tem supervisão constante, mas, esporádica e mantém a prescrição de exercícios individualizada por fisioterapeuta e/ou educador físico. Nesse modelo, o paciente necessita participar, pelo menos, de duas sessões formais, com o intuito de entender toda a sequência e o protocolo de reabilitação (CARVALHO *et al.*, 2006) e, depois, ele passa a realizar o treino sozinho.

Esse modelo de reabilitação surgiu, a fim de suprir a escassez de centros estruturados de reabilitação (CORTES-BERGODERI *et al.*, 2013) e visa, principalmente, à adoção e manutenção da prática adequada de exercícios físicos (CARVALHO *et al.*, 2006).

Neste estudo, portanto, o foco da atividade foi a RCPM, fase 2, na qual o paciente já recebeu alta hospitalar e dirige-se a um centro de reabilitação, para realizar o seu treinamento. O intuito deste estudo é, por conseguinte, auxiliar no recebimento deste paciente no centro de RCPM, identificando se ele deve ou não realizar a reabilitação e, caso esta seja indicada, qual seria o melhor método de treinamento deste paciente.

2.2.3 Indicações e Contraindicações da Reabilitação Cardiopulmonar e Metabólica

Devido a todos os seus efeitos benéficos e custo-efetividade, a RCPM tem recomendação grau A (dados obtidos a partir de múltiplos estudos randomizados de bom porte, concordantes e/ou de metanálise robusta de estudos clínicos randomizados) (GHORAYEB *et al.*, 2013) e evidência nível 1 (condições para as quais há evidências conclusivas, e, em sua falta, é consenso geral que o procedimento é seguro útil/eficaz) (GHORAYEB *et al.*, 2013) na coronariopatia, na insuficiência cardíaca, na pneumopatia crônica e na hipertensão arterial sistêmica.

Já a recomendação grau A-B e o nível de evidência 2-3 são para a doença obstrutiva periférica, obesidade, síndromes metabólicas, diabetes melito e pacientes com escore elevado de risco para doença cardiovascular, pulmonar e metabólica. Na nefropatia crônica, inclusive para pacientes submetidos a programa de diálise, a recomendação é grau B, e o nível de evidência, 3 (CARVALHO *et al.*, 2006).

Também, quando avaliado o número necessário para tratar (NNT) em indivíduos pós-IAM, o valor do NNT= 66 e 49 (95% IC 26 -120) assemelha-se ao das medicações estatinas que é NNT= 11 a 56. No ajuste do NNT para seguimento de 1 ano, o número de indivíduos que necessitam ser tratados, a fim de que o benefício do tratamento, no caso morte evitada, ocorra em um paciente, é de NNT= 112-187. Para exemplificar, citam-se novamente as estatinas: pravastatina NNT = 197 e Sivastativa NNT = 164. Assim, os benefícios da reabilitação cardíaca equiparam-se igualmente em números aos de medicamentos utilizados no tratamento pós-IAM (REBELO *et al.*, 2007; SUAYA *et al.*, 2007), evidenciando-se, portanto, que a RCPM deve ser indicada aos pacientes cardiopatas.

Corroborando com esse pensamento, Berry (2010) diz que uma abordagem multidisciplinar, envolvendo exercícios físicos, reeducação alimentar e estímulos a hábitos de vida saudáveis, deve fazer parte obrigatória no tratamento das cardiopatias. Witt *et al.* (2004) também apoiam essa ideia e afirmam que a RCPM promove redução da mortalidade e redução de novos episódios de isquemias miocárdicas, devendo ser prescrita ao pacientes cardiopatas.

No estudo de Moraes (2005), há a descrição das adaptações esperadas em um programa de RCPM quanto ao treinamento de força, como o aumento da densidade óssea, da força muscular, do HDL, da massa muscular, do metabolismo basal, da sensibilidade à insulina, do tempo de endurance máximo e submáximo, do VO₂ máximo. Além disso, é observada a redução do LDL, da mudança da respossa insulínica, do nível de insulina basal, do percentual de gordura corporal e da pressão arterial diastólica (PAD) em repouso, bem como da manutenção e do equilíbrio da frequência cardíaca (FC) em repouso, da pressão arterial sistólica (PAS) em repouso e do volume sistólico basal máximo (GHORAYEB, *et al.*, 2013, SPOSITO *et al.*, 2007), aspectos estes também que corroboram com as evidências científicas de que são inúmeros os benefícios da RCPM.

Assim, com o treinamento físico, a musculatura esquelética desenvolve grandes adaptações na densidade capilar, na estrutura proteica miofibrilar e na sua composição enzimática, o que resulta em prolongamento do tempo de exercício e no aumento da intensidade de esforço que pode ser sustentado (MORAES *et al.*, 2005).

Quando comparado ao tratamento usual, a RCPM, através de um programa de exercícios, mostra-se significativamente eficaz na redução dos níveis de colesterol, triglicérides e pressão arterial (BERRY, *et al.* 2010). Indivíduos com disfunção ventricular, em recuperação de eventos cardiovasculares ou cirurgias, ou mesmo aqueles que apresentam sinais e sintomas com baixas ou moderadas cargas de esforço, devem ingressar em programas de reabilitação cardiovascular supervisionado (CARVALHO *et al.*, 2006; TAYLOR *et al.*, 2004; BENETTI *et al.*, 2010).

Igualmente, os programas de RCPM garantem aos pacientes com insuficiência cardíaca benefícios quanto à capacidade funcional máxima e submáxima, à qualidade de vida, à miopatia esquelética respiratória e de membros, ao balanço autonômico, ao perfil neuro-humoral e à redução de internações hospitalares (ARAÚJO *et al.*, 2004; GONÇALVES *et al.*, 2006; MOREIRA, 2004).

Witt *et al.* (2004) acreditam que a reabilitação cardíaca apresenta benefícios para os pacientes que sofreram IAM, submetidos, na fase aguda, à revascularização miocárdica, ressaltando os seus efeitos sobre as variáveis cardiometabólicas: hemodinâmicas, metabólicas e inflamatórias. Reduzem, igualmente, fatores de risco cardiovasculares, através de mudanças no estilo de vida (BERRY, 2010; BENETTI *et al.*, 2010; REBELO *et al.*, 2007). Porém, comparada aos demais adeptos, a participação feminina e de idosos velhos é menor do que a masculina e de menores faixas etárias (WITT, *et al.* 2004), deixando claro que, nesses grupos, os efeitos são proporcionalmente menores.

Após procedimentos cirúrgicos, é comprovado que pacientes cardiopatas que participam de programas de reabilitação readquirem a autoconfiança, o que melhora a perspectiva de vida e a retomada das atividades diárias (CORTÉS, 2006). Especialmente nas primeiras fases da reabilitação, após os dois meses iniciais, os pacientes relatam melhoras emocionais e benefícios trazidos pelo programa (MOREIRA, 2004; REBELO *et al.*, 2007; MUELA *et al.*, 2011).

Ao longo dos anos, a RCPM também vem demonstrando modificações benéficas nos fatores de risco e reduções na morbidade e mortalidade cardiovascular, melhora da qualidade de vida, da função endotelial, da modulação autonômica parasimpática e redução de fatores inflamatórios em um cenário considerado excelente, em termos de custo-efetividade terapêutica de várias cardiopatias, como a doença coronariana e a insuficiência cardíaca (MOREIRA, 2004; REBELO *et al.*, 2007). O programa de reabilitação na insuficiência cardíaca, além de promover uma redução no índice de reinternação hospitalar por descompensação (três vezes menor), é capaz ainda de aumentar a expectativa de vida em cerca de dois anos (MUELA *et al.*, 2011). Entretanto, embora demonstrando resultados positivos na recuperação dos pacientes e na redução de gastos em serviços de saúde, o número de centros de reabilitação cardíaca ainda é escasso, principalmente, na rede pública (MUELA *et al.*, 2011; GOUD *et al.*, 2010).

Além disso, entre muitos efeitos benéficos da RCPM, podem ser elencados os seguintes: a melhora da angina em repouso, a atenuação da gravidade da isquemia induzida pelo esforço; a melhora da capacidade funcional, do controle de fatores de risco para doenças cardiovasculares; a melhora na relação ventilação/perfusão pulmonar; a atenuação da hiperativação de receptores musculares quimiossensíveis e a melhora da função respiratória, por fortalecimento da musculatura respiratória; a redução dos lípidicos (níveis de triglicérides) e o aumento do HDL-Colesterol; a diminuição nas partículas de LDL – colesterol, redução de níveis pressóricos; a redução da gordura corporal (obesidade); a melhora do condicionamento aeróbico dos pacientes; o controle de estresse; a melhora da qualidade de vida; e a redução de 22% na mortalidade por doenças cardíacas (GHORAYEB, *et al.*, 2013; MORAES *et al.*, 2005).

Por outro lado, segundo a Diretriz de Reabilitação Cardiovascular de 2005, as contraindicações absolutas à prática de exercício físico incluem: angina instável; tromboflebite, embolia recente; infecção sistêmica aguda; bloqueio atrio-ventricular (AV) de 3º grau (sem marca-passo); pericardite ou miocardite aguda; arritmia não-controlada; insuficiência ou estenose mitral ou aórtica graves, sem tratamento adequado; insuficiência cardíaca descompensada; hipertensão arterial descontrolada (PAS \geq 200 ou PAD \geq 110); depressão do segmento ST $>$ 2mm; problemas ortopédicos ou neurológicos graves; diabetes mellitus descontrolada; doença sistêmica aguda ou febre de origem desconhecida; e outros problemas

metabólicos descompensados. Nesses casos, o paciente não deve, em hipótese nenhuma (enquanto apresentar a condição, sinal ou sintoma), realizar a RCPM, sendo que, nesses casos, os benefícios, embora mostrem-se inúmeros, são anulados perante os riscos que o paciente será submetido.

2.2.4 Métodos de Treinamento e Equipamentos e Equipe da Reabilitação Cardiopulmonar e Metabólica

Antes de se pensar na RCPM, em si, é necessário lembrar-se do ambiente para realização da RCPM, já que esse deve apresentar dimensões e características apropriadas, conforme a normatização dos equipamentos e das técnicas de reabilitação cardiovascular supervisionada preconizada (ARAÚJO *et al.*, 2004), para potencializar as atividades que lá serão desenvolvidas. Deve ser amplo, bem iluminado e ventilado, preferencialmente, em condições climáticas controladas entre 22 e 25° Celsius e umidade relativa entre 40% e 65%. Ainda, deve conter espaços próprios para troca de roupa, instalações sanitárias e para banho dos pacientes (CARVALHO *et al.*, 2006).

Para realizar a RCPM, os pacientes deverão utilizar roupas adequadas ao exercício físico e à condição climática local, para beneficiarem-se, ao máximo possível, das atividades. Os programas de exercício supervisionado que compõem a RCPM são caracterizados pela prescrição e supervisão de exercícios físicos, individualizada ao paciente e consta de uma avaliação inicial e reavaliações periódicas (GHORAYEB, *et al.*, 2013), visando verificar o efeito do treinamento sobre a capacidade funcional e o estado geral do paciente (CARVALHO *et al.*, 2006).

Um dos quesitos mais importantes da RCPM é a avaliação clínica inicial, prévia a cada sessão de RCPM. Nesse momento, são verificados a FC, PA, saturação de O₂, e o paciente é questionado a respeito dos sintomas clínicos relevantes sentidos recentemente, bem como do uso regular da medicação prescrita pelo médico assistente. É nesse momento em que se observada qualquer alteração ou anormalidade clínica que possa comprometer a integridade do paciente, e a sessão é cancelada até que se elimine o risco (GHORAYEB *et al.*, 2013).

A sequência de atividades, desenvolvidas nos programas de RCPM, varia muito de lugar para lugar. Porém, a sequência da prescrição normalmente inicia com os exercícios aeróbicos (com intensidade progressivamente crescente),

seguidos de fortalecimento muscular e exercícios de flexibilidade (ARAÚJO *et al.*, 2004; GHORAYEB, *et al.*, 2013).

As sessões de exercício supervisionado são compostas basicamente por exercícios aeróbicos, de fortalecimento muscular e de flexibilidade, contudo alguns locais também incluem exercícios para coordenação motora, equilíbrio e postura corporal e de relaxamento, conforme a necessidade de cada paciente (MORAES *et al.*, 2005).

O tempo de duração e a frequência das sessões variam, de acordo com os objetivos a curto, médio e longo prazo, propostos para cada paciente. As sessões podem ocorrer de duas a três vezes por dia, na fase 1; de três a cinco vezes, na semana, na fase 2; e até uma única vez no mês, na fase 3. Assinala-se que, em alguns grupos específicos, como hipertensos e obesos, a frequência pode ser até sete vezes por semana (GHORAYEB, *et al.*, 2013). A duração média das sessões é de uma hora, podendo chegar até duas horas, e os horários, estabelecidos normalmente, são aqueles que facilitam a adesão do paciente (ARAÚJO *et al.*, 2004).

A participação em um programa de exercício supervisionado não é regida por regras fixas. Os exercícios aeróbicos são aqueles que envolvem grandes grupos ou massas musculares, com duração típica entre 20 e 40 minutos, capazes de elevar o consumo de oxigênio, várias vezes, acima do nível de repouso, os quais, dentro do contexto de um programa supervisionado, constituem-se por caminhar ou pedalar em esteiras rolantes e cicloergômetros em ambientes fechados e equipados adequadamente para a prática do exercício (ARAÚJO *et al.*, 2004).

No geral, trabalha-se em uma zona-alvo que corresponde a 60 a 80% da frequência cardíaca máxima, alcançada no teste ergométrico, realizado previamente (ACHTTIEN *et al.*, 2013; TAYLOR *et al.*, 2004; GHORAYEB, *et al.*, 2013). São os dados fornecidos pelo teste ergométrico que irão influenciar e auxiliar a definir as principais variáveis que compõem o treino na RCPM: frequência cardíaca, duração, intensidade e tipo de exercício (GHORAYEB, *et al.*, 2013).

É importante considerar que os programas, compostos por exercícios aeróbicos, são os que trazem melhores benefícios para o sistema cardiovascular e o controle dos fatores de risco. Esse tipo de programa é caracterizado por exercícios cíclicos de grandes grupamentos musculares, como

caminhadas, corridas, natação, ciclismo, dança, hidroginástica, entre outros (GHORAYEB, *et al.*, 2013).

Segundo Araújo *et al.* (2004), os exercícios aeróbios podem ser realizados com intensidade constante ou variável, os quais são comumente chamados de “treinamentos contínuos e intervalados” respectivamente. A definição na utilização de um ou outro tipo de treinamento é muito complexa e depende da evolução do treino, da evolução física do paciente, das respostas obtidas no treinamento contínuo, do consenso entre a equipe e o paciente, dos objetivos, estabelecidos para aquele paciente, tornando-se de tal complexidade que seria um erro tentar preconizar ou estabelecer parâmetros a serem cumpridos e desenvolvidos, até porque muitos pacientes preferem intercalar os tipos de treinamento, para não se tonarem monótonas as sessões e, mesmo assim, conseguirem obter o resultado esperado em sua RCPM. Reitera-se que é fundamental respeitar os limites individuais de cada paciente e preconiza-se um treino com exercícios que progridam de forma evolutiva, crescente/progressiva, contudo, sempre com os cuidados necessários, para manter a integridade do paciente.

A intensidade do exercício deve ser individualizada e, preferencialmente, definida a partir de dados obtidos no teste ergométrico de esforço máximo. A forma mais utilizada de controle da intensidade do exercício é a medida da FC (GHORAYEB, *et al.*, 2013) ou ainda pela sensação subjetiva de esforço/cansaço, variáveis estas que se relacionam diretamente, dentro de uma faixa bastante ampla, com o consumo de oxigênio e o gasto calórico (ARAÚJO *et al.*, 2004). Para pacientes usuários de betabloqueador, marcapasso ou CDI, por exemplo, as medidas de FC não podem regular o treino aeróbio, sendo, nesses casos, utilizada a escala de sensação subjetiva de esforço/cansaço conhecida como escala de Borg (ARAÚJO *et al.*, 2004).

Quando é possível definir a intensidade do treino pela FC, utiliza-se, geralmente, a fórmula de *Karvonen* ($FC \text{ treino} = (FC \text{ máxima} - FC \text{ repouso}) \times \% \text{ da } FC \text{ reserva recomendada} + FC \text{ repouso}$). Outra possibilidade é a definição através da FC correspondente entre o limiar anaeróbico e o ponto de compensação respiratória, avaliados pela ergoespirometria (GHORAYEB, *et al.*, 2013).

Os exercícios de fortalecimento muscular, que, no passado, eram contraindicados para cardiopatas, em geral, passaram, mais recentemente, a integrar as prescrições da RCPM. Também chamados de “exercícios de musculação

ou reforço muscular localizado (RML)”, eles têm papel fundamental no combate ao excesso de peso, à síndrome de resistência à insulina e à sarcopenia, visto que auxiliam a preservar e aumentar a força, bem como a potência muscular. Ainda, dados recentes revelam que a potência muscular tem uma relação inversa com a mortalidade (ARAÚJO *et al.*, 2004).

Segundo a normatização dos equipamentos e técnicas de reabilitação cardiovascular supervisionada (ARAÚJO *et al.*, 2004), a prescrição, relativa aos exercícios de fortalecimento muscular, deve ser baseada em resultados de testes específicos, como o de uma repetição máxima ou de uma potência máxima, no entanato, até hoje, muitas destas prescrições são realizadas de forma empírica, buscando apenas mobilizar os principais grupos musculares com intensidade capaz de promover benefícios metabólicos, fisiológicos e antropométricos. Ghorayeb *et al.* (2013) corroboram com a ideia anterior, esclarecendo que o treino de fortalecimento muscular deveria ser utilizado em uma faixa de 40-60% da contração voluntária máxima (de baixa à moderada intensidade) entre oito e 15 repetições, de uma a três séries, ou de maneira empírica, iniciando com cargas baixas e evoluindo até que a sensação de esforço seja de baixa à moderada (FERRAZ *et al.*, 2006).

Contudo, a grande maioria dos programas de RCPM utiliza para os exercícios de fortalecimento muscular localizados duas a três séries de seis a 12 repetições para um total de oito a 12 movimentos (ARAÚJO *et al.*, 2004). Para essa modalidade de exercício, é preciso estar atento à elevação da pressão arterial (PA), uma vez que, a cada repetição, a PA tende a se elevar. Com o intuito de compensar essa resposta, muitos programas tendem a realizar séries mais curtas entre seis e oito repetições, com pequenos intervalos de 10 a 30 segundos entre elas (FERRAZ *et al.*, 2006).

De acordo com a normatização dos equipamentos e das técnicas de reabilitação cardiovascular supervisionada (ARAÚJO *et al.*, 2004), os equipamentos, utilizados para exercícios de fortalecimento muscular, incluem as faixas elásticas, os pesos livres e as máquinas, assim como os equipamentos específicos para treino de força (musculação).

Outro tipo de exercício que compõe a RCPM são os de flexibilidade. Esses destinam-se a preservar ou a aumentar o grau de amplitude de movimento articular, comumente chamados de “exercícios de alongamento” e podem ser

realizados de forma passiva, ativa-assistida ou ativa. Nesses exercícios, procura-se alcançar a amplitude máxima do movimento, chegando até o ponto de leve desconforto, no qual a musculatura parece chegar no seu limite de alongamento. Nessa posição, o paciente deve manter-se de 10 a 30 segundos (FLETCHER *et al.*, 2013).

Geralmente, os exercícios de flexibilidade realizados são cinco a 12 movimentos articulares, realizados em duas ou três séries (ARAÚJO *et al.*, 2004). Os treinos de flexibilidade normalmente utilizam apenas o próprio corpo do paciente, porém eventualmente podem incluir elásticos, cordas e barras.

Além dos diversos tipos de exercícios realizados em uma única sessão de RCPM, ainda, em cada sessão de RCPM, muitos equipamentos são necessários, os quais são divididos em dois grandes grupos: os equipamentos de suporte médico e de exercício. Os equipamentos de suporte médico incluem o carrinho de parada cardíaca, eletrocardiógrafos, monitores de eletrocardiograma (ECG) e oxímetros, podendo, em alguns programas, ainda serem incluídos os medidores de lactato, medidores de glicemia, entre outros (FLETCHER *ET AL.*, 2013; PERK *et al.*, 2012;).

Os equipamentos de exercício, segundo a normatização dos equipamentos e das técnicas de reabilitação cardiovascular supervisionada (ARAÚJO *et al.*, 2004), são subdivididos, de acordo com os diferentes tipos de exercícios. Os exercícios aeróbicos incluem as esteiras rolantes, os cicloergômetros, o remoergômetro, o *transport* e os bancos, todavia os mais utilizados e amplamente encontrados nos programas de RCPM são as esteiras e os cicloergômetros.

As esteiras devem ser elétricas, com possibilidade de regulação de inclinação e velocidade separadamente, tolerância de, pelo menos, 100 kg de peso corporal, e os cicloergômetros podem ser de frenagem mecânica ou, mais comumente, eletromagnética. Ressalta-se que ambos devem seguir a normatização dos equipamentos e as técnicas de reabilitação cardiovascular supervisionada da SBC (ARAÚJO *et al.*, 2004).

A padronização e a elaboração de protocolos de tratamento nos centros de RCPM vêm sendo estudadas e estruturadas nos últimos anos (CARVALHO *et al.*, 2006; ARAÚJO *et al.*, 2004; MUELA *et al.*, 2011; GOUD *et al.*, 2010). No entanto, ainda existe uma lacuna no que se refere à escolha do equipamento utilizado para a realização da atividade aeróbica dentro da reabilitação,

contendo, até o momento, na literatura, apenas protocolos que diferem entre esteira ergométrica e cicloergômetros para a realização de testes ergométricos e não, para a reabilitação em si (ANDRADE *et al.*, 2002; ARAÚJO *et al.*, 2004; TAYLOR *et al.*, 2004).

Nos últimos anos, incrementou-se a RCPM com outras possibilidades de exercícios e recursos para benefício do paciente cardiopata em RCPM (SMART *et al.*, 2012; SMART *et al.*, 2013). Alguns pacientes cardiopatas que são encaminhados para RCPM apresentam fraqueza da musculatura inspiratória, (mensurada através da manovacuometria). Quando a pressão inspiratória máxima (P_{Imáx}) reduz para menos de 70% do esperado (predito) para aquele paciente, a fraqueza da musculatura inspiratória pode comprometer a própria reabilitação. Assim, além da RCPM, já descrita acima, e as suas possibilidade de treino e equipamento, também pode estar associado às atividades do paciente o treino da musculatura inspiratória (TMI), para reduzir a fraqueza e a fadiga da musculatura inspiratória, o que corrobora diretamente com a melhora das demais atividades desenvolvidas na RCPM (SMART *et al.*, 2012, MARCO *et al.*, 2013). Como explicam Smart *et al.* (2012), o TMI melhora o condicionamento cardiorrespiratório e a qualidade de vida de forma semelhante à reabilitação e ao treinamento físico convencional. Marco *et al.* (2013) seguem a mesma lógica do autor acima, afirmando que essa modalidade de treino mostra-se eficaz na potencialização dos efeitos benéficos da RCPM e, ainda, incrementa a força da musculatura inspiratória, propiciando, assim, a recuperação do paciente (MARCO *et al.*, 2013) e tornando-se um alternativa para reabilitação de pacientes cardiopatas severamente descondicionados que não conseguiam realizar a RCPM convencional por dificuldades respiratórias.

Também, outros grupos de pacientes apresentam dificuldades ou maior grau de severidade nas patologias cardíacas, o que pode comprometer a prática de exercício físico ativo. Nesses pacientes, verificou-se a possibilidade de incrementar a reabilitação com uma eletroestimulação funcional (FES), que propicia o incremento da força muscular e a reabilitação cardiorrespiratória do paciente, no entanto uma revisão sistemática atual mostra que os benefícios do FES podem não ser os mesmos que os observados no treinamento físico convencional e que o ideal seria associar as duas intervenções, treino físico e FES, com o intuito de melhorar a capacidade cardiorrespiratória de pacientes cardiopatas (SMART *et al.*, 2013).

Ambos, TMI e FES, mostram-se eficazes, viáveis e seguros (SMART *et al.*, 2012; SMART *et al.*, 2013). Tratam-se de novas possibilidades de incrementar a RCPM, visando sempre ao bem-estar físico, psíquico e social do paciente cardiopata, para o qual são lançadas mão de todas as evidências científicas, equipamentos, profissionais, treinos e atividades possíveis, para reabilitar, recuperar e/ou promover a saúde, assim como a qualidade de vida e reduzir a mortalidade.

Segundo a Diretriz de RCPM (2006), além da estrutura física adequada e os equipamentos que podem ser parte do complexo hospitalar ou outro ambiente, a RCPM necessita também de uma equipe multidisciplinar (ARAÚJO *et al.*, 2004), capacitada para o atendimento dos pacientes em reabilitação extra-hospitalar. A equipe básica deve ser composta por profissionais habilitados a trabalhar com RCPM, e, nela, pelo menos, deverão estar o médico, um fisioterapeuta e/ou professor de educação física e enfermeiro. Porém, a inserção de um terapeuta ocupacional, assistente social, nutricionista e um psicólogo à equipe são de fundamental importância, e uma equipe, constituída por todos estes profissionais, seria uma “equipe ideal”.

Todos os profissionais que fazem parte da equipe de RCPM (médicos, enfermeiros, fisioterapeutas, educadores físicos, psicólogos, terapeutas ocupacionais, assistentes sociais e nutricionistas), ao executarem as suas respectivas funções, devem seguir normas que norteiam as atividades do programa de RCPM (ARAÚJO *et al.*, 2004). Cada profissional, portanto, é responsável pelas atividades relacionadas às suas respectivas áreas de atuação (CARVALHO *et al.*, 2006).

3. REFERÊNCIAS DA REVISÃO

- ACHTTIEN, R.J., STAAL J.B.; VOORT, S.V.; KEMPS, H.M.C.; KOERS, H.; JONGERT, M.W.A et al. Exercise-based cardiac rehabilitation in patients with coronary heart disease: a practice guideline. *Neth Heart J.* 2013, 21(1):429–438.
- ANDRADE Jadelson; BRITO, Fábio Sândoli, VILAS-BOAS, Fábio; CASTRO, Iran; OLIVEIRA, Japy Angelin; GUIMARÃES, Jorge Ilha, et al. II Diretrizes da Sociedade Brasileira de Cardiologia Sobre Teste Ergométrico. *Arq Bras Cardiol.* 2002; 78(2): 1-17.
- ANDRADE, Jadelson Pinheiro; BOCCHI, Edimar Alcides; BRAGA, Fabiana Goulart Marcondes; FERREIRA, Silvia Moreira Ayub; ROHDE, Luis Eduardo Paim; OLIVEIRA, Wilson Alves et al. III Diretriz brasileira de insuficiência cardíaca crônica. *Arq Bras Cardiol.* 2009; 93(1): 1-71.
- ARA-SOUZA, Anderson Luiz. (2010) *Redes Bayesianas: Uma Introdução Aplicada a CreditScoring*. Relatório apresentado no concurso de iniciação científica da Universidade Federal de São Carlos. Disponível em <http://www.ime.unicamp.br/sinape/sites/default/files/Anderson%20L.%20Souza%20-%20Redes%20Bayesianas-%20vSINAPE%20final_0.pdf> Acesso em: 12 abr. 2013.
- ARAÚJO, Claudio Gil Soares de; CARVALHO, Tales de; CASTRO, Claudia Lúcia Barros de; COSTA, Ricardo Vivácqua; MORAES, Ruy Silveira; OLIVEIRA FILHO, Japy Angelini. Normatização dos Equipamentos e Técnicas da Reabilitação Cardiovascular Supervisionada. *Arq Bras Cardiol.* 2004; 83(5):448-52.
- BENETTI, Magnus, ARAUJO, Cintia Laura Pereira, SANTOS, Rafaella Zuianello Aptidão cardiorrespiratória e qualidade de vida pós-infarto em diferentes intensidades de exercício. *Arq Bras Cardiol* 2010; 95(3): 399-404.
- BERCHIALLA, Paola; FOLTRAN, Francesca; BIGI, Riccardo; GREGORI, Dario. Integrating stress-related ventricular functional and angiographic data in preventive cardiology: a unified approach implementing a Bayesian Network. *Journal of Evaluation in Clinical Practice* 18 (2012) 637-643.
- BERRY, John Richard Silveira; CUNHA, Ademir Batista da. Avaliação dos efeitos da reabilitação cardíaca em pacientes pós-infarto do miocárdio. *Rev Bras Cardiol.* 2010;23(2):101-110.
- BORGES, Clairmont. (2005) *Serviços para Auxiliar Decisão mediante Incerteza*. Tese apresentada na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/4951/000462447.pdf?sequence=1>> Acesso em 12 de abril de 2013.
- CARVALHO, Tales; CORTEZ, Alberto Aguillar; FERRAZ, Almir; NÓBREGA, Antônio Cláudio Lucas da; BRUNETTO, Antônio Fernandes; HERDY, Artur Haddad, et al. Diretriz de reabilitação cardiopulmonar e metabólica: aspectos práticos e responsabilidades. *Arq Bras Cardiol.* 2006; 86(1):74-82.
- CARVALHO, Tales; CURI, Ana Luiza Hallal, ANDRADE, Dalton Francisco, SINGER, Julio Motta; BENETTI, Magnus, MANSUR, Alfredo José. Reabilitação cardiovascular de portadores de cardiopatia isquêmica submetidos a tratamento clínico, angioplastia coronariana transluminal percutânea. *Arq Bras Cardiol.* 2007; 88(1): 72-78.

Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Receipt of outpatient cardiac rehabilitation among heart attack survivors – United States, 2005. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 2008;57:89-94.

CHEN, Chieh-feng (Cliff); CHEN, Kung; HSU, Chien-Yeh; LI, Yu-Chuan (Jack). Developing guideline-based decision support systems using protégé and jess. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 102 (2011) 288-294.

CORTES-BERGODERI, M; LOPEZ-JIMENEZ, F.; HERDY, A.H.; ZEBALLOS, C., ANCHIQUE, C.; SANTIBAÑEZ, C.; *et al.* Availability and characteristics of cardiovascular rehabilitation programs in South America. *J. Cardiopulm Rehabil Prev.* 2013 Jan-Feb;33(1):33-41.

CORTÉS O, ARTHUR H.M. Determinants of referral to cardiac rehabilitation programs in patients with coronary artery disease: a systematic review. *Am Heart J.* 2006;151(2):249-56.

DATASUS. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sim/cnv/obt10uf.def> Acesso em outubro de 2013.

FERNANDES, Anitra Maria da Rocha; Zapelini, Clavison, Comuello, Eros. *Rede Bayesiana para detecção da intensidade da dor.* Univali – IX SEGeT 2012, gestão e tecnologia.

FERRAZ Almir Sérgio, JUNIOR Paulo Yazbek. Prescrição do exercício físico para pacientes com insuficiência cardíaca. *Revista da Sociedade de Cardiologia do Rio Grande do Sul.* 2006; 9(1): 1-13.

FLETCHER, Gerald F.; ADES, Philip A.; KLIGFIELD, Paul. Exercise Standards for Testing and Training: A scientific Statement from the American Heart Association. *Circulation Journal of the American Heart Association* (2013) 872-934.

FLORES, Cecília Dias; HÖHER, Charles Leandro, LADEIRA, Marcelo, VICARI, Rosa Maria. Uma experiência do uso de redes probabilísticas no diagnóstico médico. *Argentine Symposium on Artificial Intelligence*, 2000, Tandil. Argentine Symposium On Healthcare Informatics. 2000.

FOSSUM, Mariann; ALEXANDER, Gregory L.; EHNFORSS, Margareta; EHRENBERG, Anna. Effects of a computerized decision support system on pressure ulcers and malnutrition in nursing homes for the elderly. *International Journal of Medical Informatics* 80 (2011) 607-617.

GHORAYEB, N.; COSTA, R.V.C.; CASTRO I.; DAHER D.J.; OLIVEIRA FILHO; J.A., OLIVEIRA M.A.B. *et al.* Diretriz em Cardiologia do Esporte e do Exercício da Sociedade Brasileira de Cardiologia e da Sociedade Brasileira de Medicina do Esporte. *Arq Bras Cardiol* 2013, 100(1Supl.2):1-41

GONÇALVES, F.D.P; MARINHO, P.E.M.; MACIEL, M.A., GALINDO FILHO, V.C.; DORNELAS DE ANDRADE A. Avaliação da qualidade de vida pós-cirurgia cardíaca na fase I da reabilitação através do questionário SF-36. *Revista Brasileira de Fisioterapia.* 2006; 10(1): 121-6.

GOUD, Rick; ENGEN-VERHEUL, Mariette Van; KEIZER, Nicolette F. de *et al.* The Effect of computerized decision support on barriers to guideline implementation: A

qualitative study in outpatient cardiac rehabilitation. *International Journal of Medical Informatics* 2010. 79 430-437.

GOUD, Rick; JASPERS, Monique W. M.; HASMAN, Arie; PEEK, Niels. Subjective usability of the CARDSS guideline-based decision support system. *Studies in Health Technology & Informatics* - IOS Press, 2008. 193-198.

HUGIN EXPERT. *Hugin Expert – The leading decision support tool*. Disponível em: <http://www.hugin.com/>. Acesso em: 10/09/2012.

JEQUESSENE, Plácido Mateus. (2010) *Modelos de Grafos em Estatística*. Dissertação apresentada na Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_m/PlacidoMateusJequessene.pdf> Acesso em: 12 abr. 2013.

JENSEN, Finn Verner; OLESEN, Kristian G.; ANDERSEN, Stig Kjaer. An Algebra of Bayesian Belief Universes for Knowledge-Based Systems. *Networks, An international Journal*. New York: John Wiley & Sons, Inc. v. 20: 637-659, 1990.

KABACHINSKI, Jeff. A look at clinical decision Support Systems. *Biomedical Instrumentation & Tecnology. Columns and Departments*. September/October 2013.

KODAMA, S; SAITO, K.; TANAKA, S.; MAKI, M.; YACHI, Y; ASUMI, M. *et al*. Cardiorespiratory fitness as a quantitative predictor of all-cause mortality and cardiovascular events in healthy men and women. *JAMA* 2009, 301:2024-2035.

LADEIRA, Marcelo; COELHO, Helder; VICCARI, Rosa Maria. Uma arquitetura multiagente para tomad de decisão em ambiente com incerteza. Lisboa: Departamento de Informática da Universidade de Lisboa. 1998.

LUCAS, Peter J. F.; GAAG, Linda C. Van Der; ABU-HANNA, Ameen. Bayesian networks in biomedicine and health-care. *Artificial Intelligence in Medicine* 30 (2004) 201-214.

MAHERONNAGHSH, Radin; NEZAREH, Saeed; SAYYAH, Mohammad-Kazem; RAHIMI-MOVAGHAR, Vafa. Developing SNOMED-CT for decision Making and Data Gathering: A Software Prototype for Low Back Pain. *Acta Medica Iranica*, v. 51, n. 8 (2013) 548-553.

MARCO, Ester; RAMIREZ-SARMIENTO, Alba L.; COLOMA, Ana; SARTOR, Monique; COMIN-COLET, Josep; VILA, Joan; ENJUANES, Cristina; BRUGUERA, Jordi, ESCALADA, Ferran; GEA, Joaquim; OROZCO-LEVI, Maurício. High-intensity vs. sham inspiratory muscle training in patients with chronic heart failure: a prospective randomized trial. *European Journal of Heart Failure Advance Access* published March 19, 2013

MARQUES, Roberto Ligeiro; DUTRA, Inês. *Redes Bayesianas: o que são, para que servem algoritmos e exemplos de aplicações*. 22p. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/3837765/Bayesianas>. Acesso em: 10 abr. 2012

MARTANI, Alexandre Hideki Deguchi; FORSTER, Carlos Henrique Quartucci. (2009) Indução Da Estrutura De Redes Bayesianas. *Anais do 15º do Encontro de Iniciação CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DO ITA*. Disponível em: <<http://www.bibl.ita.br/xvencita/COMP01.pdf>>Acesso em: 12 abr. 2013.

MORAES, Ruy Silveira; NÓBREGA, Antonio Cláudio Lucas da; CASTRO, Renata Rodrigues Teixeira de; NEGRÃO, Carlos Eduardo; STEIN, Ricardo; SERRA,

- Salvador Manoel; *et al.* Diretriz de Reabilitação Cardíaca. *Arq Bras Cardiol.* 2005; 84(5):431-440.
- MOREIRA, P.B.B. Custo-efetividade de programas de reabilitação cardiovascular. *Jornal do Departamento de Ergometria e Reabilitação Cardíaca.* 2004; 27: 14-6.
- MUELA, H.C.S.; BASSAN, R.; SERRA, S.M. Avaliação dos Benefícios Funcionais de um Programa de Reabilitação Cardíaca *Revista Brasileira de Cardiologia.* 2011;24(4):241-250 julho/agosto.
- NOGUEROL, Áureo Rodrigues. Correção de alarmes e diagnóstico no gerenciamento de sistemas supervisionados por computador. 2002. 147p. Trabalho de Conclusão (Mestrado em Informática). Programa de Pós-Graduação em Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2002.
- PACK, Q.R.; MANSOUR, M.; BARBOZA, J.S.; HIBNER, B.A.; MAHAN, M.G.; EHRMAN, J.K. *et al.* Early Appointment to Outpatient Cardiac Rehabilitation Hospital Discharge Improves Attendance at Orientation: A Randomized, Single-Blind, Controlled Trial. *Circulation*, 2013;22:349-355.
- PEARL, J. *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference.* 2th ed. Morgan Kaufmann. 1988.
- PERK, J.; BACKER, G.D.; GOHLKE, H.; GRAHAM, I.; REINER, Z.; VERSCHUREN, W.M.M. *et al.* European guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice (version 2012). *European Heart Journal.* 2012; 33(1): 1635–1701.
- REBELO, F.P.V; GARCIA, L.A.; ANDRADE, D.F; WERNER, C.R., CARVALHO, T. Resultado Clínico e Econômico de um Programa de Reabilitação Cardiopulmonar e Metabólica. *Arq Bras Cardiol.* 2007; 88(3): 321-328
- Redes Bayesianas Multiagentes. Tutorial apresentado no ENIA 99 – *Encontro Nacional de Inteligência Artificial*, evento realizado paralelo com XIX Congresso Brasileiro de Computação, na PUC Rio, Rio de Janeiro, de 19 a 23 de julho de 1999.
- RODRIGUES, Fabrício Henrique. (2012) *Extração de modelos bayesianos a partir de ontologias construídas para diagnóstico médico.* Tese apresentada na Universidade Feevale para obtenção de graduação. Disponível em: <<http://ged.feevale.br/bibvirtual/monografia/monografiababriciorodrigues.pdf>> Acesso em 12 de abril de 2013.
- ROSHANOV, P.S.; FERNANDES, N.; WILCZYNSKI, J.M.; HEMENS, B.J.; YOU, J.J.; HANDLER, S.M.; NIEUWLAAT, R.; SOUZA, N.M.; BEYENE, J.; SPALL, H.G.C.V. GARG, A.X.; HAYNES, R.B. Features of effective computerised clinical decision support systems: meta-regression of 162 randomised trials. *BMJ* 2013;346:f657.
- SAHEKI, A.H. *Construção de uma rede Bayesiana aplicada ao diagnóstico de doenças cardíacas.* Dissertação de mestrado de engenharia da Escola Politécnica da UPS. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos. São Paulo, 2005. 84p.
- SMART, Neil A.; DIEBERG, Gudrun; GIALLAURIA, Francesco. Functional electrical stimulation for chronic heart failure: A meta-analysis. *International Journal of Cardiology* 167 (2013) 80–86.
- SMART, Neil A.; GIALLAURIA, Francesco; DIEBERG, Gudrun. Efficacy of inspiratory muscle training in chronic heart failure patients: A systematic review and meta-analysis. *Int J Cardiol* (2012), doi:10.1016/j.ijcard.2012.04.029.

SPOSITO, Andrei C.; CARAMELLI, Bruno.; FONSECA, Francisco A.H.; BERTOLAMI, Marcelo C.; RASSI, Anis Jr.; IV Diretriz brasileira sobre dislipidemias e prevenção da aterosclerose departamento de aterosclerose da sociedade brasileira de cardiologia. *Arq Bras Cardiol.* 2007; 88(1): 1 – 18.

SUAYA J.Á; SHEPARD D.S; NORMAND S.L; ADES P.A; PROTTAS J; STASON W.B. Use of cardiac rehabilitation by Medicare beneficiaries after myocardial infarction or coronary bypass surgery. *Circulation*, 2007;116:1653-1662.

TAYLOR, R.S.; BROWN, A.; EBRAHIN, S.; JOLLIFFE, J.; NOORONI, H.; REES, K.; et al. Exercise-based cardiac rehabilitation in patients with coronary heart disease: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *The American Journal of Medicine.* 2004, 116 (1): 682-92.

VERDUIJN, M. PEEK, N. ROSSEEL, PMJ. JONGE, E. MOL, BAJM. Prognostic Bayesian networks I: Rationale, learning procedure, and clinical use. *Journal of Biomedical Informatics* 40 (2007) 609-618.

VICARI, Rosa M., FLORES, Cecília D., SILVESTRE, André M., SEIXAS, Louise J., LADEIRA, Marcelo, COELHO, Helder. A multi-agent inteligente environment for medical knowledge. *Artificial Intelligence in Medicine* 27 (2003) 335-366.

WANG, Kung-Jeng, MAKOND, Bunjira., WANG, Kung-Min. Modeling and predicting the occurrence of brain metastasis from lung cancer by Bayesian network: A case study of Taiwan. *Computers in Biology and Medicine* 47 (2014) 147–160.

WITT, Brandi J.; JACOBSEN, Steven J.; WESTON, Susan A.; KILLIAN, Jill M.; MEVERDEN, Ryan A.; ALLISON, Thomas G.; et al. Cardiac Rehabilitation After Myocardial Infarction in the Community. *J Am Coll Cardiol* 2004;44(4):988-996.

WONG, Wai Pong; FENG, Jun; PWEE, Kengo Ho; LIM, Jeremy. A systematic review of economic evaluations of cardiac rehabilitation. *BMC Health Services Research* 2012;12:243.

ZAPELINI, Clávison Martinelli. *Medição da intensidade da dor com utilização de redes bayesianas*, fevereiro, 2012, UNIVALI – Universidade do Vale do Itajaí - Mestrado Acadêmico em Computação Aplicada.

4 ARTIGO

INFLUENCE DIAGRAM OF CLINICAL DECISION SUPPORT IN CARDIOPULMONARY AND METABOLIC REHABILITATION

Patrícia S. Klahr. Physical therapist Specialist in Kinesiotherapy and Manual Therapy. Rehabilitation Sciences Post Graduation Program of the Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (UFCSPA), Porto Alegre, Brazil. Fone: 0(51) 8207-1541, e-mail: patricia.klahr@gmail.com

Caroline C. Robinson. Master degree in Neuroscience. Health Sciences Post Graduation Program of the Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (UFCSPA), Porto Alegre, Brazil.

João M. Fonseca. Physician, Master degree in Health Sciences, Post Graduation Program of the Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (UFCSPA), Porto Alegre, Brazil. Fone: 0(51) 9246-3021, e-mail: joamarcelofonseca@gmail.com

Christian C. Coronel. Physiotherapist, Master degree in Health Sciences. Health Sciences Post Graduation Program of the Instituto de Cardiologia do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil.

Cecília D. Flores. DSc in Sciences computation. Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre, Brazil.

Rodrigo D. M. Plentz. DSc in Health Sciences. Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre, Brazil.

Corresponding author:

Rodrigo Della Méa Plentz. Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (UFCSPA). Rua Sarmento Leite, 245, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil.

Post Code 90050-170. Phone +55 (51) 3303-9000. Fax +55 (51) 3303-8810. e-mail: rodrigop@ufcspa.edu.br.

Key words: cardiovascular diseases; clinical decision support systems; influence diagram, probabilistic networks; rehabilitation.

INFLUENCE DIAGRAM OF CLINICAL DECISION SUPPORT IN CARDIOPULMONARY AND METABOLIC REHABILITATION

ABSTRACT

An influence diagram (ID) is a method of graphical representation of uncertain knowledge which can be employed to support decisions in health care using probabilistic reasoning. Since the decision-making in health care is difficult due to the uncertainties, researchers have sought to represent such uncertainties in an explicit way. Probabilistic networks seem to offer a natural and intuitive theoretical background so that uncertain models may be a part of decision support systems in health care. However, in spite of the scientific advances, there are few systems based on probabilistic networks actually in use in health care fields.

Objective: The aimed is to describe the development of an ID to support the decision-making process in phase II Cardiopulmonary and Metabolic Rehabilitation Program (CPMR).

Methods: This is a methodological study approved by the Research Committee of the Federal University of Health Sciences of Porto Alegre (UFCSPA) under number 011/2013. The data employed in this study were obtained from the medical records of a cohort of cardiac patients in phase II CPMR from 2012 to 2013.

Results: The development of the ID was carried out through the identification of relevant variables and their possible values, as well as the identification of details of each variable, in order to find a network structure that appropriately connects the nodes that represent the variables, with arcs linking acyclic graphs, and to build the graph using specialized knowledge and the conditional probability table for each node in the graph.

Conclusion: In spite of the complexity of the interactions, the model obtained with ID seems to contribute in the decision-making process in phase II RCPM, providing a second opinion to the health practitioner and helping in diagnostic, therapeutic and decision-making processes, since it is useful in situations with non-linear modeling or with absent or uncertain information.

Key words: cardiovascular diseases; clinical decision support systems; influence diagram, probabilistic networks; rehabilitation.

Introduction

Probabilistic networks (PN) are methods of representation of uncertain knowledge that provide a useful tool that is gaining momentum in helping decision-making and supporting clinical and diagnostic reasoning, as well as contributing in the teaching / learning processes [1-5].

PN include Bayesian networks (BN), Markov networks (MC) and influence diagrams (ID) [3,4]. In this study we used the BN and ID. A BN is a directed acyclic graphical model where the nodes represent random outcomes, and the arc connecting two nodes represents a probabilistic dependence between predictors and associated outcomes. Each node stores the conditional probability of values that can be assumed by the random outcomes associated with this node, given the values of its predictor nodes (those directly connected to the node in question) [1,2,4].

An ID is a generalization of a BN by the inclusion of utility functions and decision variables. The ID is the formalization of a decision making problem, according to the classical theory of decisions based on the Bayes' theorem [1,2].

Thus, the ID is a special type of PN that generates a statement at the end of a network processing.

Many studies on the enormity of the prevalence of heart disease suggested some treatment possibilities in order to minimize the negative effects of these disorders in patients' quality of life [6,7,8]. There emerged the possibility of a non-pharmacological treatment, the Cardiopulmonary and Metabolic Rehabilitation (CPMR) [9,10].

CPMR is the sum of the activities needed to ensure patients with heart disease better physical, mental and social conditions [7,8,9]. Patients who adhere to CPMR programs have improved quality of life, hemodynamic stabilization, metabolic changes, and improved vascular and psychological states, which are associated with better control of risk factors and improvement in lifestyle [14,15]. Studies have already demonstrated the cost-effectiveness of CPMR, which became necessary for the rehabilitation of patients affected by these diseases [7,8,11].

However, there are several uncertainties surrounding the professionals who work in CPMR. Although the beliefs are strengthened and the uncertainties are reduced over the years of experience and professional practice, there will always be a degree of uncertainty in each decision. A classic example observed in clinical practice is the prevalent use of the treadmill, with the use of the stationary bicycle restricted to patients who have a physical or mental limitation that prevents treadmill training. However, there are still uncertainties about whether the equipment chosen by the professional is suitable for the patient's specific clinical picture [10,12].

Thus, based on the technological advances, the possibility of building decision support systems and the high prevalence of heart disease, and given the growth and recognition of the CPMR, this study aims to build a ID to support clinical decision for

phase II CPMR in cardiac patients, in order to assist non-specialist professionals to choose the best CPMR option for cardiac patients in a safe and effective way.

Methods

This is a methodological study approved by the Research Committee (ComPesq) of the Federal University of Health Sciences of Porto Alegre (UFCSPA) under number 011/2013.

Participants

The data used in this study were obtained from the medical records of a cohort of cardiac patients in phase II CPMR assigned by a referral center for cardiopulmonary and metabolic rehabilitation in the state of Rio Grande do Sul, Brazil.

Methodology for ID development

The methodology used to generate the BN and ID began by reading the selected references and isolating clinical information that may influence the diagnosis [4,12], prognosis and treatment, or be related to the measures taken. This bibliography search and choice of variables was done by a field expert, with the choice of variables and future connections between them based on his knowledge of the field.

The modeling of a BN may be divided in three steps [4]: variable selection, construction of the network structure and estimation of probabilities. The stage of variable selection is usually made based on the subjective knowledge of the studied

subject. This study used the variables listed in the scientific literature through consensus, guidelines and norms for CPMR [6,9,13,16,17].

The structure building can be carried out manually and was designed precisely this way, taking into account the causal relations between selected variables [4,12]. The last step of estimating probabilities may receive two main approaches: frequentist, wherein the parameters are considered fixed, or Bayesian, in which the parameters are treated as random variables [1,24]; in this model we developed the approach on frequencies obtained from a cohort of data provided by a referral center for CPMR.

The qualitative development of the ID for the domain problem involved the following:

The variables determined by the literature as important factors to be considered were identified and these values were included in the network. It was also determined which variables should be omitted at this point for not actively influencing on the nodes. The important variables and their values were identified with the help of previous scientific studies of high relevance and experts in the studied field [4,12].

For the development of network topology, we considered the determinations established by the guidelines and norms for CPMR [6,9,10,13]. Every discovered causality was expressed in graphical terms as oriented arcs between the nodes, accompanying the sense of cause and effect, and experts expressed their knowledge in both causal and diagnostic ways.

The quantitative development of ID was achieved by quantifying the variables defined in the first (qualitative) phase of ID and involved the evaluation of all conditional probability distributions of the represented variables. It is certainly the

most time-consuming and difficult part of the network construction process. The medical literature generally does not adhere to questions such as what is the probability of a pathological condition to determine the onset of a symptom or laboratory finding. What lies are assertions of the "rare" or "common" type. Even experienced professionals show great difficulty in quantifying approximate frequencies of some evidence, as they are often "rare" findings, only described in some studies.

However, this does not invalidate the ID, because remains the exact same principle used by the expert to make the decision in scenarios where the quantitative knowledge of the problem is not known or clear [20,22-24]. At this point, the cohort data provided by the referral center was critical, because it helped to quantify the frequency of clinical outcomes.

Thus, after identifying pertinent and relevant variables, organizing these variables in the structure of a directed acyclic graph that represents the relationships between them, and obtaining, for each variable (node), the possible values of conditional probability and a priori model for propagation, one can define a method for construction of BN and ID [1,4,12].

In a formal way [1,2,4,23,24], from a set of variables $\{x_1, k, x_n\}$, the method consists of:

1. Ordering the first set of variables $\{x_1, k, x_n\}$ arbitrarily;
2. Using x_1 as the root of BN, assigning it $P(x_1)$;
3. Selecting x_2 and
 - a. If x_2 is dependent on x_1 , establishing a directed arc starting from x_1 to x_2 and setting $P(x_2 | x_1)$ for x_2 ;

b. With no dependence, letting x_2 without bond and setting $P(x_2)$;

4. For each of the following x_i nodes, creating directed arcs which conceptually depart from the smallest state variable group already present in BN (example: *Parent* $i \subseteq \{x_1, k, x_n\}$, such that $(i) (| P x_i \text{ parents } P i = x_i, x_{i-1} \wedge k \wedge x_1)$).

<insert table I>

<insert table II>

Modeling Domain and development of the influence diagram

After defining the outcomes to be considered and the observed frequencies, the ID was modeled to support decision making regarding two moments in the CPMR process. At first, the ID was modeled to help decide whether the patient should perform CPMR and, in a second stage, another ID was modeled so that if the answer to the first is "YES", the patient performs CPMR; the second ID should help to define the modalities of CPMR and what type of equipment and training are best recommended to the studied patients. Guidelines, consensus and norms for CPMR were considered in the modeling of the two IDs.

Validation

Data for validation [4,12] of the ID were obtained from the records of another cohort of patients in phase II CPMR, kindly provided by a referral center for CPMR in the State of Rio Grande do Sul called Instituto de Cardiologia do Rio Grande do Sul. Therefore, to assist with the observed frequencies both situations were considered – the frequency of observations performed on data from the referral center and the decision based on experts' opinion.

The field of *decision analysis* offers several techniques [4,12,22-24] for

surveying arbitrary probabilities of experts, including the numerical scale, the technique of frequency and the of Van Der Gaag scale:

Numerical scale (a vertical or horizontal line marking the extremes of 0% and 100% chance, and a few numerical divisions interspersed).

<insert figure 1>

In the technique of frequency the expert is asked to imagine one hundred cases with some specific context, and then asked to determine the number of cases with some specific characteristic. For example, the domain expert is asked to imagine a population with one hundred patients in phase II CPMR and determine how many of these have certain symptoms as a result of a heart condition, or how many of these patients should be rehabilitated on a treadmill.

An evolution of the technique above is a numerical and verbal probability scale, with statements (questions) in verbal and non-mathematical notations, **the Van der Gaag scale**. The scale has numerical probability markings (e.g. 0%, 15%, 25%, 50%, 75%, 85%, and 100%) and next to them expressions commonly used by specialists (e.g. unlikely, uncertain, expected, etc.). Verbal utterances facilitated the expert's understanding of what was being asked. Many experts do not feel comfortable with mathematical notations of probability. The more uncertain experts are about a given probability, the more likely they will be to think in terms of words [1,3,5]. Verbal markings on the scale will help them determine the likelihood that they had in mind.

<insert figure 2>

The topological structure of the network (and the caution to make sure that a finding has "*links*" to all of its causes) is more important than the accuracy of the probability distribution function. In most cases, there are a lot of findings that strongly

points to the right cause and, therefore, the exact probabilities are less important. But there are also a significant number of situations where some findings point to many causes, and then odds are significant and need to be validated.

Results

The quantitative data used for modeling the shape ID were obtained from a cohort of patients who attended a referral center from April 2012 to April 2013. Characterization of variables in this sample are described in the tables below.

<insert table III>

<insert table IV>

<Insert table V>

From the variables defined according to the guidelines and consensus and the data obtained in the cohort of patients we obtained the ID below:

<Insert figure 3>

The DI can represent the mutual and hierarchical relations among many variables using probabilistic rules and, therefore, in many cases their application is more suitable for prognosis and diagnosis.

<insert figure 4>

We present 3 randomly selected cases from the database to display the variables, the decision of the expert and the decision of the ID.

Case 1: Patient W.L.B., male, 86 years old, 83Kg, 1.60 m height, BMI (body mass index) = 32 kg/m², resting HR (heart rate) 41bpm. Main complaint is fatigue that comes to feel dizzy, but also refers severe pain in lower and upper limbs. Has positive family history of CAD, is sedentary, stress test is abnormal, predicted

maximum inspiratory pressure at 115%. The decision of the expert is to send this patient for the following conduct: Stretches (flexibility), bike to a HR of 96bpm working with the Borg scale below 3. There is no need for FES and IMT at the time and would not tolerate the treadmill.

The decision proposed by the ID was: In failure to perform treadmill, perform bike; indicates the FES, with lower value indicates the RML, does not indicate the IMT and indicates the flexibility. ID also makes reference to the preferable aerobic intensity.

<insert figure 5>

Case 2: Patient L.A.P., male, 48 years old, 76.5 kg, 1.68 m height, BMI (body mass index) = 27kg/m², resting HR 67 bpm. Main complaint is chest pain. Patient referred not having other symptoms or risk factors such as dyslipidemia, hypertension and family history. Was treated with beta-blockers, anticoagulants and statins; lacked effort and the predicted maximum inspiratory pressure is 105%. The decision of the expert is to send this patient for the following conduct: Stretches (Flexibility); if the patient was not on betablockers, he could be working at a HR of 130bpm, with a range of less than 4 borg There is no need for FES and the IMT.

The decision proposed by the ID was: Biggest indication to perform the wake of that bike, indicates the FES, with lower value indicates the RML, and does not indicate the IMT; indicates flexibility. The most indicated type of training is aerobic rather than anaerobic.

<insert figure 6>

Case 3: Patient A. D. S., female, 58 years old, 142Kg, 1.60 m height, BMI = 55Kg/m², resting HR 136 bpm. AP (arterial pressure) 190/140. Main complaint is fatigue associated with shortness of breath at rest, chest pain, which in some cases

reaches fainting and dizziness. Among the risk factors are dyslipidemia, hypertension, decompensated DM, smoking, family history of CAD. Patient states that she has prescriptions but forgets to take the medication. Referred pain in MIE; when the expert did a physical examination he noticed swelling, heat, redness and increased local temperature. The decision of the expert is to send this patient to consult with the specialist because he believes that under such conditions the patient is not able to perform CPMR.

The decision proposed by ID contraindicated CPMR.

<Insert figure 7>

The predictions obtained with this method can inform the patient and the health practitioner whether a given treatment is being effective, or whether a given condition is under control.

Discussion

In the simulation of case 1, ID agrees with the expert regarding CPMR, all conducts suggested by the expert are also suggested by the ID, such as opting for bicycle due to advanced age and dizziness presented by the patient. But the expert, in his daily routine practice, does not normally use the FES as a therapeutic resource and neglects this feature; however, the ID patterned to act as an expert does not rule out the possibility of using the FES, and it indicates the treatment since there is no absolute contraindication [16] for possible use, yet ID suggests the most appropriate type of training against HR proposed work, which is too often overlooked to the detriment of a care with the Borg scale and not HR work.

In case 2, the expert, based on information obtained from the patient, opted for the treadmill rather than the bike [19], but the ID while proposing higher value which

realizes the treadmill it also elects the bicycle as an option, because for no ID there is a contraindication to prevent the person from doing bicycle, only values the use of the treadmill by the patient's condition is favorable to the further improvement when using the treadmill than the bike. Routinely, the specialist professional unconsciously chooses the treadmill over the bike, forgetting that this is also a treatment option in some moments, and when properly programmed and walked the patient may develop activities as effectively as on a treadmill [19]. Since the patient has no inspiratory muscle weakness, both the expert and the ID do not suggest the use of IMT [17,18].

In the third case, the instability presented by the patient is so great that the expert believes that the risks outweigh the benefits and chooses not to indicate the CPMR, i.e., the expert guides the patient to return to the doctor and redo the query to stabilize her clinical condition, and return to CPMR only after that [19,20]. The proposed ID according to the consensus of cardiac rehabilitation when informed with the information available on the patient also indicates that the ideal is not performing CPMR at the moment [7,9,10,13,15,21].

In the present study we attempted to integrate the information obtained in consensus guidelines and current scientific literature with data obtained in a cohort of patients with the interpretation by experts in order to propose a model to implement a ID. This method explains all the relations between the predictors and outcomes in a graphical model that incorporates uncertainty through the conditional probability associated with each node [4,20,22-24].

The ID subsequently provides the possibility to interpret the relations between the variables and the possibility of intervening in the one that is actually negatively influencing the others. Despite the complexity of interactions, the model obtained in

the implementation of a ID seems to be able to adequately describe the relations among the variables, as other researchers have mentioned [1-4].

We understand that the BN and ID can be used in decision support systems in the CPMR. The influence diagram, which is a BN modified [3,4,21] to decision making, can provide the necessary tools to generate ideas on the decisions to be made [4,23,24].

Our group will continue with this form of work and wants to further address the temporal matter. The temporality of the relations between the nodes of the BN is known and generates problems in building them due to false causal effects [4].

This difficulty is already known and described, and is especially important for networks that express this type of causal relationship between variables (nodes) over time [4]. However, causality can arise from multiple contexts where every node has an influence on a child node. The structural contingencies that may modify these influences, if modified over time, make it more difficult to adequately represent the knowledge in the form of a BN [4]. Many clinical decisions have temporal relationship. Appropriate measures in the initial phase of a condition may be inadequate in the late phase, and vice versa [4].

Limitations

Our study was limited regarding validation and statistical analysis of the first ID, since it considers the variables from medical records prior to CPMR and this information was not available in the databank. The databank was exclusive for patients already assigned to CPMR, and theoretically the first ID answered “yes” to follow to the second propagation.

Future research

It is expected to continue in the evolution of this research and to associate the ID built to the Simulator of Clinical Cases in Health, in order to obtain a tool to be used in cardiac rehabilitation classes. We also intend to develop an application software for smartphones based on this ID, and make it available to academic students of physical therapy to assist in the learning of phase II CPMR.

Furthermore, our research group aims to improve the development of this ID for CPMR and to develop an ID that addresses all phases of CPMR.

Contributions

It is believed that the ID can significantly contribute to the construction of knowledge, assist in the decision making process and encourage future physical therapists to associate health with biomedical informatics.

Acknowledgments

We thank CAPES for financial support in the form of scholarship to researcher Patricia da Silva Klahr.

Statement on conflict of interest

The authors declare no potential conflict of interest in this study.

Resumo

Introdução: Um diagrama de influências (DI) é um método de representação gráfica do conhecimento incerto e pode ser utilizado para apoiar a decisão na área da saúde usando raciocínio probabilístico. Como a tomada de decisão em saúde é

difícil devido às incertezas, os pesquisadores têm procurado representar tais incertezas de maneira explícita. Redes probabilísticas (RP) parecem oferecer uma base teórica natural e intuitiva para que os modelos baseados em incerteza possam ser parte de sistemas de apoio à decisão. No entanto, apesar dos avanços científicos, existem poucos sistemas baseados em RP realmente em uso na área da saúde.

Objetivo: O objetivo é descrever a construção de um DI para apoiar a tomada de decisão no processo de reabilitação cardiopulmonar e metabólica (RCPM) fase II.

Método: Este é um estudo metodológico e foi aprovado pela Comissão de Pesquisa da Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (ComPesq) sob o número 011/2013. Os dados utilizados nesse estudo foram obtidos de prontuário de uma coorte de pacientes cardiopatas em RCPM fase II de 2012 a 2013.

Resultados: A construção do DI se dá através de identificar o conjunto de variáveis relevantes e seus valores possíveis, bem como detalhes de identificação de cada variável. Encontrar uma estrutura de rede que conecte adequadamente os nós que representam as variáveis com arcos unindo grafos acíclicos e construir o gráfico usando o conhecimento especializado e a tabela de probabilidade condicional para cada nó no gráfico.

Conclusão: Apesar da complexidade das interações, o modelo obtido na implementação do DI parece ser capaz de contribuir no processo de tomada de decisão em RCPM fase II, fornece uma segunda opinião para o profissional da saúde auxiliando no diagnóstico, processo terapêutico e tomada de decisão por ser eficaz em situações de modelação não-linear e lidar com situações em que a informação está em falta ou é incerta.

Palavras-chave: doenças cardiovascular, sistemas de suporte a decisão clínica, medicina física e reabilitação, redes probabilísticas, reabilitação.

References

- [1] P.J.F. Lucas; L.C.V. Gaag; A. Abu-Hanna. **Bayesian networks in biomedicine and health-care**. Artificial Intelligence in Medicine 30 (2004) 201–214.
- [2] R.L. Marques; I. Dutra. Redes Bayesianas: o que são, para que servem, algoritmos e exemplos de aplicações. 22p. Acesso em 10 de abril 2012 disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/3837765/Bayesianas>
- [3] A.H. Saheki. Construção de uma rede Bayesiana aplicada ao diagnóstico de doenças cardíacas. Dissertação de mestrado de engenharia da Escola Politécnica da UPS. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos. São Paulo, 2005. 84p.
- [4] J. Pearl. **Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference**. 2th ed. Morgan Kaufmann. 1988.
- [5] K.J. Wang; B. Makind; K.M. Wang. **Modeling and predicting the occurrence of brain metastasis from lung cancer by Bayesian network: A case study of Taiwan**. Computers in Biology and Medicine 47 (2014) 147–160.
- [6] G.F. Fletcher; P.A. Ades.; P. Kligfield. **Exercise Standards dor Testing and Training: A scientific Statement from the American Heart Association**. Circulation Journal of the Americam Heart Association (2013) 872-934.
- [7] R.S. Taylor; A. Brown; S. Ebrahin; J. Jolliffe; H. Nooroni; K. Rees, et al. **Exercise-based cardiac rehabilitation in patients with coronary heart disease: systematic review and meta-analysisof randomized controlled trials**. The american journal of medicine. 2004, 116 (1): 682-92.

- [8] M. Cortes-Bergoderi; F. Lopez-Jimenez; A.H. Herdy; C. Zeballos; C. Anchique; C. Santibañez; *et al.* **Availability and characteristics of cardiovascular rehabilitation programs in South America.** J. Cardiopulm Rehabil Prev. 2013 Jan-Feb;33(1):33-41.
- [9] T. Carvalho; A.A. Cortez; A. Ferraz; A.C.L Nóbrega; A.F. Brunetto; A.H. Herdy; *et al.* **Diretriz de reabilitação cardiopulmonar e metabólica: aspectos práticos e responsabilidades.** Arq Bras Cardiol. 2006; 86(1):74-82.
- [10] J. Perk; G.D. Backer; H. Gohlke; I. Graham; Z. Reiner; W.M.M. Verschuren; *et al.* **European guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice (version 2012).** European Heart Journal. 2012; 33(1): 1635–1701.
- [11] W.P. Wong; J. Feng; K.H. Pwee; J. Lim. **A systematic review of economic evaluations of cardiac rehabilitation.** BMC Health Services Research 2012;12:243.
- [12] C.D. Flores; C.L. Höher; M. Ladeira. Vicari R.M. **Uma experiência do uso de redes probabilísticas no diagnóstico médico.** Argentine Symposium on Artificial Intelligence, 2000.
- [13] N. Ghorayeb; R.V.C. Costa; I. Castro; D.J. Daher; J.A. Oliveira Filho; M.A.B. Oliveira. *et al.* **Diretriz em Cardiologia do Esporte e do Exercício da Sociedade Brasileira de Cardiologia e da Sociedade Brasileira de Medicina do Esporte.** Arq Bras Cardiol 2013, 100(1Supl.2):1-41
- [14] P.B.B Moreira. **Custo-efetividade de programas de reabilitação cardiovascular.** Jornal do Departamento de Ergometria e Reabilitação Cardíaca. 2004; 27: 14-6.
- [15] H.C.S Muela; R. Bassan; S.M. Serra. **Avaliação dos Benefícios Funcionais de um Programa de Reabilitação Cardíaca** Rev Bras Cardiol. 2011;24(4):241-250 julho/agosto.
- [16] N.A. Smart; G. Dieberg; F. Giallaura. **Functional electrical stimulation for chronic heart failure: A meta-analysis.** International Journal of Cardiology 167 (2013) 80–86.

- [17] N.A. Smart; F. Giallauria; G. Dieberg. **Efficacy of inspiratory muscle training in chronic heart failure patients: A systematic review and meta-analysis.** *Int J Cardiol* (2012).
- [18] E. Marco; A.L. Ramirez-Sarmiento; A. Coloma; M. Sartor; J. Comin-Colet; J. Vila; *et al.* High-intensity vs. sham inspiratory muscle training in patients with chronic heart failure: a prospective randomized trial. *European Journal of Heart Failure Advance Access* published March 19, 2013.
- [19] C.G.S. Araújo; T. Carvalho; C.L.B. Castro; R.V. Costa; R.S. Moraes; J. A. Oliveira Filho. **Normalização dos Equipamentos e Técnicas da Reabilitação Cardiovascular Supervisionada.** *Arq Bras Cardiol.* 2004;83(5):448-52.
- [20] P. Berchiolla; F. Foltran; R. Bigi; D. Gregori. **Integrating stress-related ventricular functional and angiographic data in preventive cardiology: a unified approach implementing a Bayesian Network.** *Journal of Evaluation in Clinical Practice* 18 (2012) 637-643.
- [21] R.S. Moraes; A.C.L. Nóbrega; R.R.T. Castro; C.E. Negrão; R. Stein; S.M. Serra; *et al.* **Diretriz de Reabilitação Cardíaca.** *Arq Bras Cardiol.* 2005; 84(5):431-440.
- [22] P.S. Roshanov; N. Fernandes; J.M. Wilczynski; B.J. Hemens; J.J. You; S.M. Handler; *et al.* **Features of effective computerised clinical decision support systems: meta-regression of 162 randomised trials.** *BMJ* 2013;346:f657.
- [23] M. Verduijn; N. Peek; P.M.J. Rosseel; E. Jonge; B.A.J.M. Mol. **Prognostic Bayesian networks I: Rationale, learning procedure, and clinical use.** *Journal of Biomedical Informatics* 40 (2007) 609-618.
- [24] R.M. Vicari; C.D. Flores; A.M. Silvestre; L.J. Seixas; M. Ladeira; H. Coelho. **A multi-agent inteligente environment for medical knowlwdge.** *Artificial Intelligence in Medicine* 27 (2003) 335-366.

1. Anexos

Table I: Definition of the variables and their states in influence diagram I

Name	Variable type	States
Anemia	Discrete	Yes/No
Thoracic or abdominal aortic aneurysm	Discrete	Yes/No
Ventricular aneurysm	Discrete	Yes/No
4th degree stable and unstable angina	Discrete	Yes/No
Uncontrolled arrhythmia	Discrete	Yes/No
3rd degree atrioventricular block	Discrete	Yes/No
Absolute contraindication	Discrete	Yes/No
Absolute contraindication	Discrete	Yes/No
Absolute contraindication	Discrete	Yes/No
Relative contraindication	Discrete	Yes/No
Relative contraindication	Discrete	Yes/No
Marked cardiomegaly	Discrete	Yes/No
Hypertrophic cardiomyopathy	Discrete	Yes/No
ST segment depression >2mm	Discrete	Yes/No
Uncontrolled diabetes mellitus	Discrete	Yes/No
Moderate neuromuscular, musculoskeletal and osteoarticular disorders	Discrete	Yes/No
Psychoneurosis (therapy-dependent) -	Discrete	Yes/No
Coronary artery disease (silent myocardial ischemia, stable angina, post-MI, post-CABG, CAD)	Discrete	Yes/No
Acute systemic illness or fever with unknown origin	Discrete	Yes/No
Recent embolism	Discrete	Yes/No
Moderated aortic stenosis	Discrete	Yes/No
Ventricular extrasystoles - Lown classes II, III and IV	Discrete	Yes/No

Table I: Definition of the variables and their states in influence diagram I

Risk factors for atherosclerotic coronary heart disease (hypertension, diabetes mellitus, smoking, dyslipidemia)	Discrete	Yes/No
Reduced muscular strength	Discrete	Yes/No
Uncontrolled arterial hypertension (PAS\geq200 ou PAD\geq110)	Discrete	Yes/No
Severe untreated pulmonary arterial hypertension	Discrete	Yes/No
Medical indication	Discrete	Yes/No
Acute myocardial infarction	Discrete	Yes/No
Acute systemic infections	Discrete	Yes/No
Decompensated heart failure	Discrete	Yes/No
Failure or severe aortic or mitral stenosis without appropriate treatment	Discrete	Yes/No
Moderate respiratory failure	Discrete	Yes/No
Untreated left main coronary artery injury or equivalent	Discrete	Yes/No
Peripheral arterial occlusive disease grades III, IV and II limiting	Discrete	Yes/No
Other uncontrolled metabolic disorders	Discrete	Yes/No
Acute pericarditis or myocarditis	Discrete	Yes/No
Severe orthopedical or neurological disorders	Discrete	Yes/No
Reduced muscular strenght	Discrete	Yes/No
Diabetic retinopathy with retinal detachment	Discrete	Yes/No
Healthy	Discrete	Yes/No
Ventricular tachycardia at rest	Discrete	Yes/No
Abnormal stress test	Discrete	Yes/No
Thrombophlebitis	Discrete	Yes/No
CPMR	Discrete	Yes/No

Table II: Definition of variables and their states in influence diagram II

Name	Variable type	States
Upper limb arthropathy	Discrete	Yes/No
Significant arthropathy that compromises walking	Discrete	Yes/No
Important claudication	Discrete	Yes/No
Relative contraindication for treadmill	Discrete	Yes/No
Absolute contraindication for treadmill	Discrete	Yes/No
Relative contraindication	Discrete	Yes/No
Relative contraindications	Discrete	Yes/No
Moderate neuromuscular, musculoskeletal and osteoarticular disorders	Discrete	Yes/No
Pain in upper limb	Discrete	Yes/No
Pain in lower limbs	Discrete	Yes/No
Chest pain	Discrete	Yes/No
Treadmill	Discrete	Yes/No
Recent sternotomy	Discrete	Yes/No
Working heart rate	Discrete	Yes/No
Respiratory muscle weakness (MIP <70% of predicted)	Discrete	Yes/No
Arteriovenous fistula in upper limb	Discrete	Yes/No
Systemic hypotension	Discrete	Yes/No
Aged over 70 years	Discrete	Yes/No
Bicycle indication	Discrete	Yes/No
Neurological or orthopedically limited individuals	Discrete	Yes/No
Moderate respiratory failure	Discrete	Yes/No
Lower limbs	Discrete	Yes/No
Upper limbs	Discrete	Yes/No
Morbid obesity grade III or IV	Discrete	Yes/No
Peripheral arterial occlusive disease grades III, IV and II limiting	Discrete	Yes/No

Table II: Definition of variables and their states in influence diagram II

Local muscle strengthening	Discrete	Yes/No
Diabetic retinopathy with retinal detachment	Discrete	Yes/No
Syncope	Discrete	Yes/No
Equipment	Discrete	Treadmill / bike FES / RML IMT / Flexibility
Training type	Discrete	Aerobic/ Anaerobic

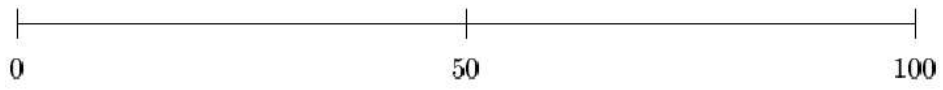


Figure 1: Example of a numerical scale.

(Quase) certa		100
		85
Provável		75
Esperada		
Média		50
Incerta		
		25
Improvável		
		15
(Quase) Impossível		0

Figure 2: Example of a **Van Der Gaag** scale.

**Table III - Characteristics of the sample of 264 patients in phase II CPMR
from a referral center**

Variables	Mean ±SD
Age (years)	62.23 ±12.35
Weight (Kg)	80.89 ±16.67
Height (m)	1.65 ±0.09
Systolic blood pressure (mmHg)	125.32 ±19.35
Diastolic blood pressure (mmHg)	73.58 ±12.11
Heart rate (bpm)	72.48 ±13.18
Partial pressure of O ₂ (%)	96.30 ±10.54
Indirect Vo ₂	14.99 ±5.61
Maximum voluntary ventilation (L)	50.89 ±23.48
Predicted percentage of maximum voluntary ventilation	89.29 ±46.81
Sits and stands	11.33 ±3.51
Maximum inspiratory pressure	74.23 ±33.08
Predicted percentage of maximum inspiratory pressure	78.81 ±37.95
Maximum expiratory pressure	87.98 ±42.91
Predicted percentage of maximum expiratory pressure	90.61 ±49.29
6-minute walk test (m)	406.29 108.18
Predicted percentage of 6-minute walk test	81.87 ±35.69
Gender-n(%)	
	Male 160 (60.6)
	Female 104 (39.4)
Ethnic group - n(%)	
	Caucasian 223 (84.5)
	Black 32 (12.1)
	Other 9 (3.4)
Body Mass Index - n (%)	
	Underweight 4 (1.5)
	Normal weight 48 (18.2)
	Overweight 102 (38.8)
	Obesity (Grade I) 71 (26.9)
	Obesity (Grade II) 27 (10.2)

	Obesity (Grade III)	12 (4.5)
Main complaint -n(%)		
	Fatigue	79 (29.9)
	Dyspnea	26 (9.8)
	Fatigue associated to dyspnea	29 (11)
	Pain in lower limbs	13 (4.9)
	Thoracic pain	13 (4.9)
Medicated for cardiac condition - n(%)		244 (92.4)
Time from event to recovery - (months)(median - Q1-Q3)		1 (1-3)
Main symptoms - n(%)		
Asymptomatic		72 (27.3)
Dyspnea		115 (43.6)
	<i>NYHA CFI</i>	38 (14.4)
	<i>NYHA CFII</i>	42 (15.9)
	<i>NYHA CFIII</i>	31 (11.7)
	<i>NYHA CFIV</i>	4 (1.5)
Cough		64 (24.2)
Orthopnea		7 (2.7)
Paroxysmal nocturnal dyspnea		23 (8.7)
Chest pain		56 (21.2)
Typical chest pain		30 (11.4)
	<i>Functional Class I</i>	7 (2.7)
	<i>Functional Class II</i>	12 (4.5)
	<i>Functional Class III</i>	7 (2.7)
	<i>Functional Class IV</i>	4 (1.5)
Palpitations		75 (28.4)
Dizziness		97 (36.7)
Syncope		13 (4.9)
Intermittent claudication		26 (9.8)

Legend: SD – standard deviation; n=absolute frequency, %=relative frequency.

**Table IV – Major etiologies diagnosed in the sample of 264 patients in phase II
CPMR reference center**

Etiologies	Yes	
	n	%
Ischemic	153	(58.0)
Valvular	11	(4.2)
Myocardiopathic	24	(9.0)
Others	76	(28.8)
Total	264	(100.0)

Legend: n=absolute frequency, %=relative frequency.

**Table V – Major risk factors presented by 264 patients in phase II
CPMR reference center**

Risk factor	Yes	
	n	%
Dyslipidemia	150	56.8
Systemic hypertension	210	79.5
Sedentarism	186	70.5
Diabete Mellitus	78	29.5
Obesidade	73	27.7
Smoker	17	6.4
Former smoker	116	44.0
Active alcoholism	34	12.9
Ex-alcoholic	16	6.1
Positive family history	173	65.5

Legend: n=absolute frequency, %=relative frequency.

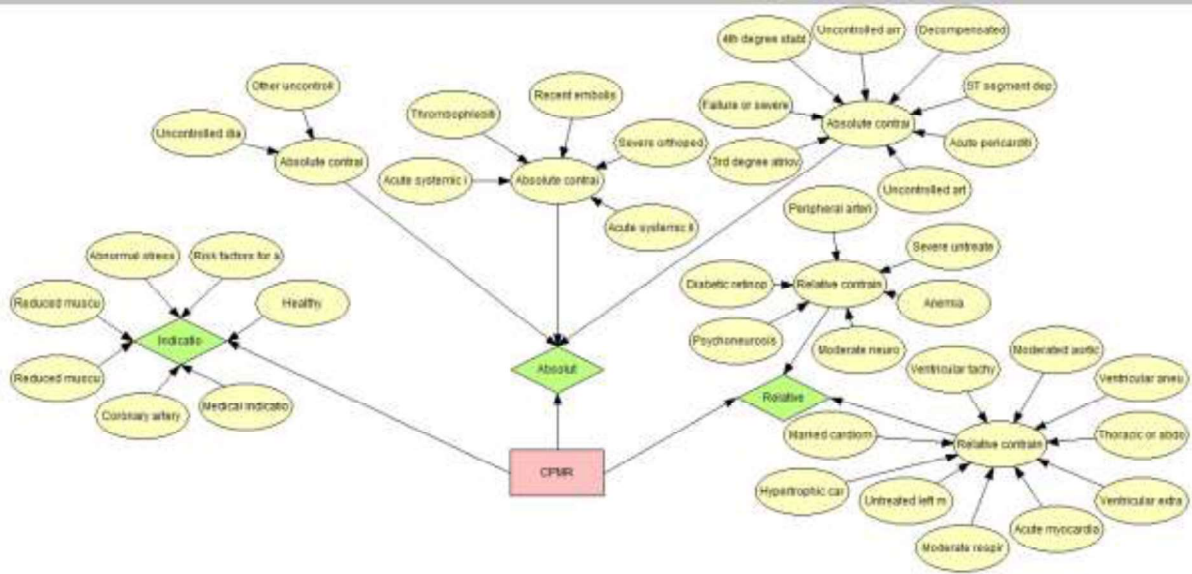
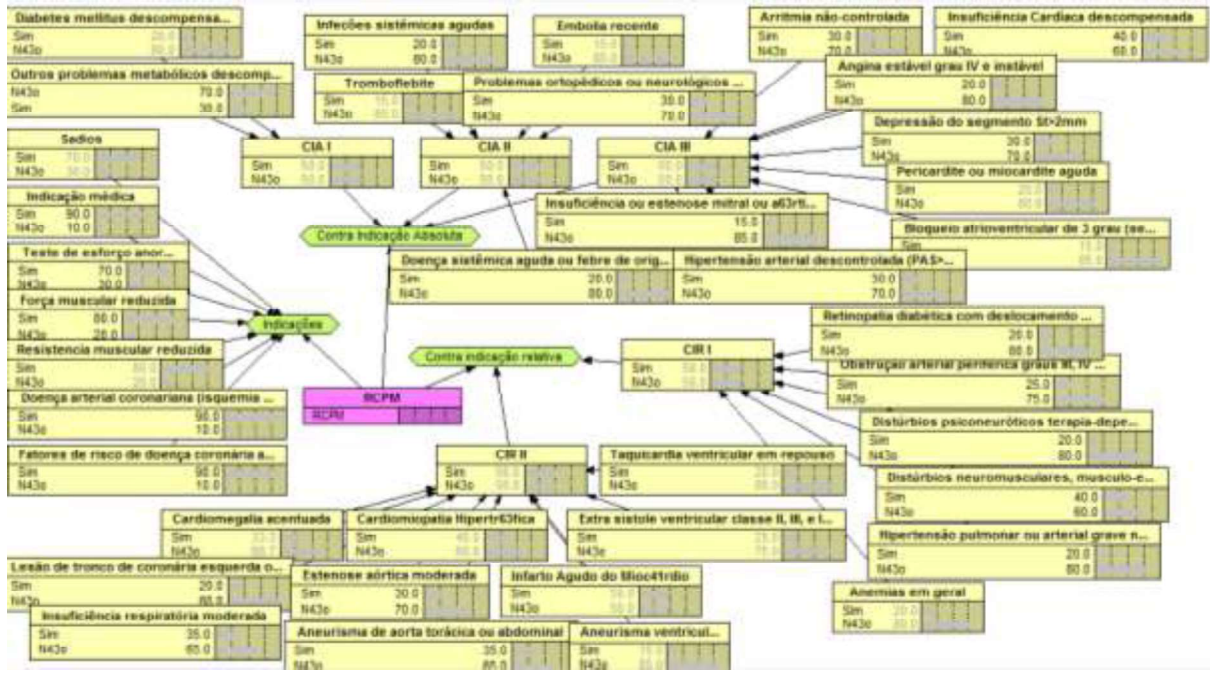


Figure 3: Influence diagram structured to assist in decision making to perform cardiopulmonary and metabolic rehabilitation.

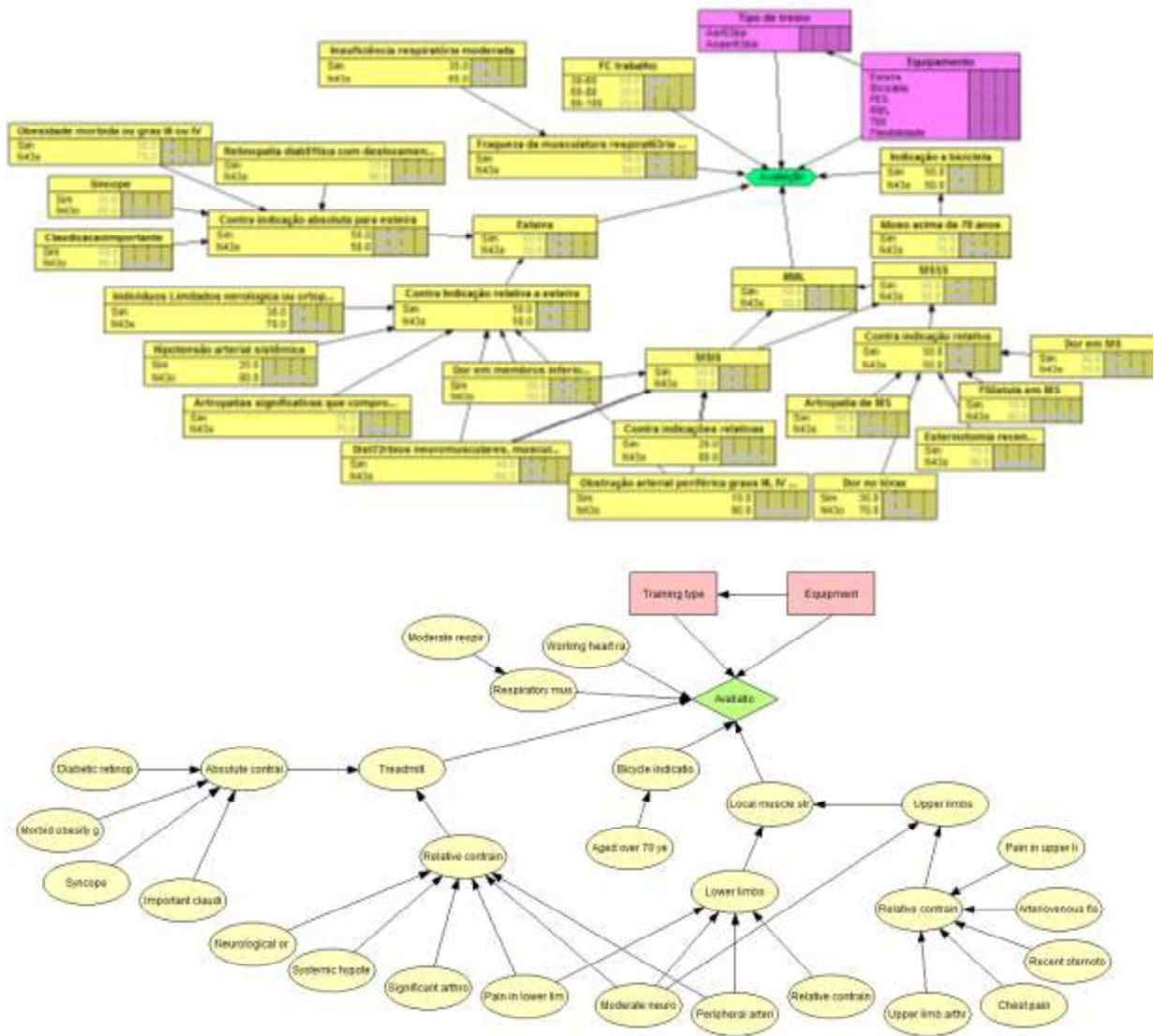


Figure 4: Influence diagram structured to assist in decision making (after entering the cardiopulmonary and metabolic rehabilitation program) regarding type of equipment and training to be used.



Figure 5: Decision suggested by ID after inserting data in case 1.



Figure 6: Decision suggested by ID after inserting data in case 2.

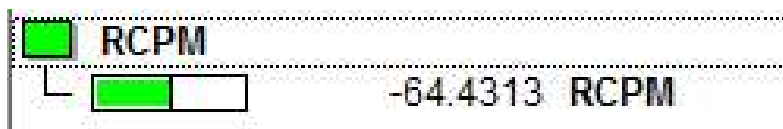


Figure 7: Decision suggested by ID after inserting data in case 3.

5 CONCLUSÃO GERAL

Conclui-se que é possível desenvolver um sistema de apoio a decisão ao fisioterapeuta que atua em reabilitação cardiopulmonar e metabólica baseado em rede probabilística. Ainda este DI pode responder se o paciente cardiopata deve realizar a RCPM fase II e caso ele obtenha resposta positiva o DI ainda pode auxiliar na escolha do tipo/modalidade de treinamento, equipamentos a serem utilizados e intensidade, auxiliando os profissionais que trabalham nesta área da saúde a eleger de forma segura e eficaz a melhor opção em RCPM para os doentes cardíacos.

Apesar da complexidade das interações, o modelo obtido na implementação do DI parece ser capaz de prever os cenários em que as novas variáveis podem ser incorporadas ou analisadas e contribui no processo de personalização da saúde, fornece um apoio a decisão para o profissional da saúde auxiliando no diagnóstico, processo terapêutico e tomada de decisão do fisioterapeuta.

Como possibilidades de estudos futuros pretende-se validar o diagrama de influências, associá-lo a um sistema educacional (simulador de casos clínicos) e transformá-lo em um aplicativo para celular.

ANEXOS**ANEXO A – Parecer do ComPesq 11/2013****Declaração**

Declaramos que o projeto de pesquisa intitulado "Diagrama de influência para apoio a decisão na reabilitação cardiopulmonar e metabólica", de responsabilidade de Rodrigo Della Mée Plentz, está registrado na Comissão de Pesquisa da Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre sob o número 011/2013.

Este registro não garante a concessão de recursos financeiros por parte da UFCSPA a este projeto de pesquisa.

Porto Alegre, 02 de maio de 2014.

Henrique M. Silveira
Assistente em Administração
SIAPE 1933135

ANEXO B – Normas para publicação do artigo

IEEE Access™ – Information for Authors

Aims and Scope

IEEE Access is an interdisciplinary, applications-oriented, all-electronic archival publication presenting the results of original research or development across all of IEEE's fields of interest. IEEE Access is published in electronic form only and is accessible around the world via the internet without charge to readers. Submissions may be in the form of traditional technical articles, surveys or reviews, or longer documents, and may include data collections and multimedia materials. Only original work will be accepted.

IEEE Access is supported by author publication fees, its features include a rapid peer review and publication process with open access to all readers. Articles are peer-reviewed for technical substance and presentation quality. Readers will evaluate the work through their comments and usage metrics, which are updated frequently and displayed with the abstract of each paper published.

IEEE Access encouraged submissions on:

Interdisciplinary topics, or applications-oriented articles that don't naturally fit into one of IEEE's existing primary Transactions or Journals.

Practical discussions of new experimental or measurement techniques, including negative results · Applications articles describing interesting solutions to engineering or information system design challenges.

Development of new or improved fabrication or manufacturing techniques.

Reviews of new or evolving fields oriented to assist others in understanding the new area.

Acceptance for Publication

To be accepted for publication in IEEE Access, articles must satisfy the following criteria and will be evaluated by IEEE Access editors against these criteria

Results reported have not been submitted or published elsewhere (although expanded versions of conference publications are eligible for submission).

The article presents the results of original engineering research, development, or design work.

Experiments, statistics, and other analyses are performed to a high technical standard and are described in sufficient detail.

Conclusions are presented in an appropriate fashion and are supported by the data.

The article is presented in an intelligible fashion and is written in Standard English.

Appropriate references to related prior published works must be included.

Some authors may choose to quote content from their own or other prior publications; full attribution is required. Extensive reproduction of content from previously published work is unacceptable. **Please note; papers in IEEE Access will be read by engineers and technologists whose interests usually extend well beyond their own specialties, papers must be accessible to the non-specialist reader, as well as the expert.**

Submission of Articles

To submit your paper for consideration, visit the web submission system (ScholarOne Manuscripts) found at <http://mc.manuscriptcentral.com/ieee-access> where you can create an account and submit an article.

Copyright Information

You will be asked to complete a copyright transfer form upon submission of your article to IEEE Access, just as IEEE asks of authors submitting to all other journals, both open access and traditional. However, the copyright transfer form used with open access journals includes two key provisions not found in a traditional copyright transfer form: a) IEEE grants the author the right to re-use their work and to post the final article on their web site or that of their employer; and b) IEEE commits to making the article freely available to all readers without any obstacles.

Submission of Final Manuscript

For final production of the article, you will need to upload all text and graphics source files of the final accepted article through ScholarOne Manuscripts™ at <http://mc.manuscriptcentral.com/ieee-access>. Please be certain that final changes made to the article are incorporated into the final source files. Check that all files are complete including abstract, text references, footnotes, biographies, figures and captions. For figures, tables, and author photos, tiff, .eps, or .ps formats are preferred, but all types of graphic formats are accepted. All graphic files will be converted to tiff or eps. For more information on submitting source files and graphics, please visit <http://www.ieee.org/organizations/pubs/transactions/stylesheets.html>.

IEEE can process most commercial software programs, but not page layout programs. Do not send postscript files. The preferred programs are TeX, LaTeX, and Word. (Use standard macros.) An IEEE LaTeX style file or Word Template can be obtained at <http://www.ieee.org/organizations/pubs/transactions/stylesheets.html>.

Page Numbers: Number all pages, including illustrations (which should be grouped at the end), in a single series, with no omitted numbers. Figures should be identified with the figure number and author's name; keep the information in the margin, off the body of the figure. Examples would be beneficial here.

Title Page: The title page should contain the full title of the paper and complete names, affiliations, addresses, phone and fax numbers, and electronic mail addresses of all authors. The contact author should be indicated.

Abstract: An abstract of not more than 300 words is required. It should contain not only a description of the subject and scope of coverage but also, in the case of research-oriented papers, discuss major results and conclusions.

Keywords: All articles must contain author-provided keywords or index terms. They should be provided in alphabetical order, and as a final paragraph of the abstract section.

Illustrations: Figures and tables should be sent as separate electronic files and named numerically (e.g., fig1.eps, fig2.tif, table3.doc). IEEE Access is eager to publish color illustrations, especially in those cases where color enhances technical details and understanding.

Multimedia: Authors are encouraged to submit multimedia materials along with their articles. A multimedia object can be a playable file, such as an audio file or a video clip, or a data set file, which can be raw data, source code, or application that can help readers to analyze some data. The goal is to electronically enhance the information contained in the article itself beyond the normal graphics, leading to richer content for research. General instructions on how to prepare and submit multimedia materials can be found on IEEE Author Digital Tool Box (http://www.ieee.org/publications_standards/publications/authors/authors_journals.html).

Once accepted, the multimedia content will be available in IEEE Xplore® (<http://ieeexplore.ieee.org>).

Units: The International System of Units (the SI or "metric" system) should be used. Where desirable, non-metric equivalents can be included in parentheses.

References: References should be numbered in the order they are mentioned in the text, with numbers within square brackets [n]. The reference section should be in the style shown below; however, if there is any doubt about the correct abbreviation of publication names, these should be given in full. Note that titles of papers plus beginning and ending page numbers should be included.

Authored book:

[1] A. Cichocki and R. Unbehaven, *Neural Networks for Optimization and Signal Processing*, Chichester, England: Wiley, 1993, ch. 2, pp. 45-47.

Article in an edited book:

[2] R.A. Scholtz, "The Spread Spectrum Concept," in Multiple Access, N. Abramson, Piscataway, N.J.: IEEE Press, 1993, ch. 3, pp. 121-23.

Paper in a journal:

[3] R.K. Crane, "Estimating Risk for Earth-Satellite Attenuation Prediction," Proc. IEEE, vol. 81, pp. 905-913, June 1993.

Paper in a conference record:

[4] D.L. Crook, "Evolution of VLSI reliability engineering," in Proc. Int. Rel. Physics Symp., pp. 2-11, 1990.

Unpublished conference paper:

[5] T. Yamashita, K. Kotani, and T. Ohmi, "Real-time configurable logic circuits using neuron MOS transistors," presented at the 1993 Int. Solid State Circuits Conf., Feb. 1993.

Technical report:

[6] H. Freitag, "Design methodologies for LSI circuitry," IBM Tech. Rep. TR41736, pp. 80-82, 1983.

Photographs and biographies: Authors' photographs and biographies are published in conjunction with papers. They can be provided after acceptance of a paper and biographies should not exceed 200 words.