

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**AVALIAÇÃO PROBABILÍSTICA DE RISCO VIA
MODELO CAUSAL HÍBRIDO EM CIRURGIA: O CASO DA
HISTERECTOMIA VAGINAL**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UFPE
PARA OBTENÇÃO DE GRAU DE MESTRE
POR

FELIPE ANDRADE GAMA DE OLIVEIRA

Orientador: Enrique López Droguett, Ph.D.

RECIFE, JULHO/2006



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE
MESTRADO ACADÊMICO DE

FELIPE ANDRADE GAMA DE OLIVEIRA

*“Avaliação Probabilística de Risco Via Modelo Causal Híbrido em Cirurgia: O
Caso da Histerectomia Vaginal”*

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PESQUISA OPERACIONAL

A comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, sob a presidência do(a) primeiro(a), considera o candidato FELIPE ANDRADE GAMA DE OLIVEIRA **APROVADO**.

Recife, 20 de julho de 2006.


Prof. ENRIQUE ANDRÉS LÓPEZ DROGGETT, PhD (UFPE)


Prof.ª DAYSE CAVALCANTI DE LEMOS DUARTE, PhD (UFPE)


Prof. ACIRES DIAS, Doutor (UFSC)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha avó Cecy, que tanto contribuiu para que eu conseguisse atingir os meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado várias oportunidades nesta vida.

Agradeço ao meu pai, Ricardo, pelo exemplo de pessoa que foi, e em quem sempre tentarei me espelhar.

A minha mãe, Elizabeth, pela força, dedicação, amor e estímulo passados diariamente.

As minhas irmãs Mariana e Alita pela amizade e apoio.

Ao meu irmão, Pedro, pelo companheirismo, incentivo e ajuda de que tantas vezes precisei.

A minha família, a começar pela minha avó Mercês, meus tios e tias, primos e primas, e a todos aqueles que apesar de não terem laços sanguíneos convivem comigo diariamente.

A minha namorada, Raquel, pelo apoio e compreensão incondicionais nas horas em que precisei estar ausente.

Aos meus amigos de infância Anna, Bruno e Eduardo que tanto me estimulam. E a todos os amigos que fiz durante a faculdade, em especial André, Daniel e Eric que muito contribuíram para que eu chegasse até aqui.

Ao meu ex-chefe e amigo Marconi, que me deu a oportunidade de iniciar uma carreira na área de engenharia hospitalar.

Ao professor Enrique López, pela oportunidade de fazer um trabalho diferente, pela confiança depositada e pelas inúmeras contribuições a este projeto.

A todos os amigos do Risetec, em especial a Paulo Renato e Regilda, os quais sempre fizeram comentários muito relevantes sobre este trabalho.

Aos médicos que me ajudaram na elaboração das etapas relacionadas ao procedimento cirúrgico desenvolvido neste trabalho.

RESUMO

A análise probabilística de risco é uma metodologia que identifica, avalia e quantifica os riscos nos mais diversos procedimentos, desde de sistemas de alta complexidade tecnológica a sistemas onde só existe o homem executando tarefas. Esta análise tem como objetivo melhorar a segurança e o desempenho destes processos.

A área de saúde ainda encontra-se bastante carente de estudos que analisem e quantifiquem os riscos envolvidos nos seus procedimentos. E é com este intuito, que este trabalho propõe uma metodologia de avaliação probabilística de risco para cirurgias, sendo apresentado o caso da histerectomia vaginal. Esta análise aborda tanto os aspectos da confiabilidade humana como a confiabilidade dos equipamentos utilizados.

No modelo híbrido proposto, a análise de riscos é baseada na integração dos diagramas de seqüências de eventos, árvore de falhas e redes Bayesianas. Na modelagem os eventos pivotais dos diagramas de seqüência de eventos relacionados a erros humanos, ou seja, resultantes diretamente de ações humanas, são modelados via redes Bayesianas, proporcionando uma representação mais realista da natureza dinâmica destas ações, enquanto que os eventos pivotais relacionados à falha de equipamentos são modelados via árvores de falhas. Assim esta metodologia contribui para a melhoria do processo de gerenciamento dos riscos envolvidos durante a execução da atividade cirúrgica.

Palavras-chave: Análise Probabilística de Risco, Confiabilidade Humana, Diagramas de Seqüência de Eventos, Redes Bayesianas, Árvores de Falhas, Histerectomia Vaginal.

ABSTRACT

The probabilistic risk analysis is a methodology that identifies, estimates and quantifies the risks in a several kind of procedures, from systems of high complex technology to systems that has only a man executing a task. That analysis has the objective to improve the safety and performance of these processes.

The health area is still wanting of studies that analyses and quantifies the risks involved in their procedures. With this intention this work proposes a probabilistic risk assessment methodology to surgeries, presenting the case of vaginal hysterectomy. This analysis approaches aspects of human reliability and equipments reliability.

In this method, the risk analysis is based in the integration of event sequences diagrams, fault trees and Bayesian networks. In the model the pivotal events of event sequences diagrams related to human mistakes, resulting directly from human actions, are molded by Bayesian networks, providing a more realistic representation of the dynamic nature of these actions. In other way the pivotal events related to equipments failures are molded by fault trees. This methodology makes possible to management the risks involved during the execution of surgery in the end of analysis.

Keywords: Probabilistic Risk Analysis, Human Reliability, Event Sequences Diagrams, Bayesian Networks, Fault Trees, Vaginal Hysterectomy.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	II
AGRADECIMENTOS	IV
RESUMO	V
ABSTRACT	VI
SUMÁRIO	VII
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABELAS	XII
LISTA DE ACRÔNIMOS	XIV
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA.....	4
1.1.1 <i>Objetivos</i>	4
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
2.1 TIPOS DE INFERÊNCIA.....	6
2.2 TEOREMA DE BAYES.....	6
2.3 REDES BAYESIANAS.....	7
2.3.1 <i>Nós e Valores</i>	8
2.3.2 <i>Estrutura das redes</i>	8
2.3.3 <i>Probabilidades Condicionais</i>	9
2.3.4 <i>Condição Markoviana</i>	9
2.3.5 <i>Aprendizado das redes Bayesianas</i>	9
2.3.6 <i>Tipos de raciocínio através da rede</i>	10
2.3.7 <i>Independência Condicional</i>	10
2.3.8 <i>d-Separação</i>	11
2.3.9 <i>Atualização das crenças</i>	11
2.3.10 <i>Árvore de Falhas</i>	13
2.3.11 <i>Árvore de Eventos</i>	15
2.3.12 <i>Modelagem das probabilidades de falhas de subsistemas de uma árvore de eventos através de árvores de falhas</i>	16
2.3.13 <i>Conversão da árvore de eventos em rede Bayesianas</i>	17
2.3.14 <i>Tipos de modelagem</i>	17
2.4 DIAGRAMA DE SEQÜÊNCIA DE EVENTOS.....	19

2.4.1	<i>Cenários</i>	21
2.4.2	<i>Eventos Iniciadores</i>	22
2.4.3	<i>Eventos Pivotais</i>	22
2.4.4	<i>Estado Final</i>	22
2.4.5	<i>Ilustração do Diagrama de Seqüência de Eventos</i>	23
3	ANÁLISE DE CONFIABILIDADE HUMANA	24
3.1	COGNITIVE RELIABILITY AND ERROR ANALYSIS METHOD (CREAM).....	25
3.2	MODELO IDAC.....	25
3.3	FATORES DE DESEMPENHO.....	26
3.4	DESCRIÇÃO DA TAREFA.....	28
4	HISTERECTOMIA VAGINAL	29
4.1	ANATOMIA GENITAL FEMININA.....	29
4.1.1	<i>Genitália Externa</i>	29
4.1.2	<i>Genitália Interna</i>	30
4.2	HISTÓRICO DA HISTERECTOMIA.....	31
4.3	INDICAÇÕES E CONTRA-INDICAÇÕES PARA O PROCEDIMENTO CIRÚRGICO.....	32
4.4	DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO CIRÚRGICO.....	33
5	CARACTERIZAÇÃO DOS RISCOS NO PROCEDIMENTO DE HISTERECTOMIA VAGINAL	34
5.1	METODOLOGIA PROPOSTA.....	34
5.1.1	<i>Análise Qualitativa</i>	34
5.1.2	<i>Análise Quantitativa</i>	35
5.2	DESCRIÇÃO DA TAREFA PARA O PROCEDIMENTO CIRÚRGICO.....	37
5.2.1	<i>Etapas da HTA da Cirurgia</i>	41
5.3	DESENVOLVIMENTO DE CENÁRIOS E CARACTERIZAÇÃO DAS RELAÇÕES CAUSAIS VIA DSE E AF DO PROCEDIMENTO CIRÚRGICO.....	45
5.3.1	<i>Colocação da Paciente na posição ginecológica</i>	46
5.3.2	<i>Assepsia</i>	46
5.3.3	<i>Incisão da mucosa vaginal anterior ao nível da prega véstico-uterino</i>	47
5.3.4	<i>Incisão da mucosa posterior ao nível da prega retovaginal</i>	48
5.3.5	<i>Ligadura do Complexo Ligamentar</i>	48
5.3.6	<i>Ligadura das Artérias Uterinas</i>	49
5.3.7	<i>Ligação do Complexo Tubo-Ovariano</i>	50
5.3.8	<i>Fixação do Ângulo Vaginal</i>	50
5.3.9	<i>Revisão das áreas sangrantes</i>	51
5.3.10	<i>Toque Retal</i>	52
5.4	FATORES DE DESEMPENHO ENVOLVIDOS NO PROCESSO CIRÚRGICO.....	52
6	RESULTADOS	56

6.1	COLETA DE DADOS	56
6.1.1	<i>Entrevistas</i>	57
6.2	MODELAGEM PARA REDE BAYESIANA DE PROBABILIDADE DE ERRO DO CIRURGIÃO	57
6.3	MODELAGEM PARA REDE BAYESIANA DA PROBABILIDADE DE ERRO DOS CIRURGIÕES	
AUXILIARES	60
6.4	MÉTODO PROPOSTO DE AVALIAÇÃO PROBABILÍSTICA DO RISCO	63
6.4.1	<i>Modelo Integrado Causal Híbrido para Histerectomia Vaginal</i>	63
6.4.2	<i>Resultados da simulação</i>	64
6.4.3	<i>Análise de Sensibilidade</i>	75
7	CONCLUSÕES	78
7.1	RESUMO DAS ATIVIDADES	78
7.2	A METODOLOGIA CAUSAL HÍBRIDA.....	80
7.3	DESAFIOS PARA TRABALHOS FUTUROS	81
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - CAMINHOS DE UMA REDE BAYESIANA	7
FIGURA 2.2 - REDES BAYESIANAS PARA DIAGNÓSTICO DE CÂNCER DE PULMÃO	8
FIGURA 2.3 - ÁRVORE DE FALHAS.....	14
FIGURA 2.4 - EXEMPLO DE ÁRVORE DE EVENTOS	15
FIGURA 2.5 - ÁRVORE DE FALHAS DOS SUBSISTEMAS S1, S2 E S3	16
FIGURA 2.6 - CONVERSÃO DA ÁRVORE DE EVENTOS EM REDE BAYESIANA	17
FIGURA 2.7 - REDE BAYESIANA COM EVENTOS INDEPENDENTES.....	18
FIGURA 2.8 - REDE BAYESIANA COM EVENTOS PARCIALMENTE DEPENDENTES.....	18
FIGURA 2.9 - REDE BAYESIANA COM EVENTOS TOTALMENTE DEPENDENTES.....	19
FIGURA 2.10 - DESCRIÇÃO DO CENÁRIO EM ACH	22
FIGURA 2.11 - CONCEITO DE DIAGRAMA DE SEQÜÊNCIA DE EVENTOS	23
FIGURA 2.12 - REPRESENTAÇÃO DO DSE DA FIGURA 2.11 ATRAVÉS DE UMA ÁRVORE DE EVENTOS.....	23
FIGURA 4.1 – REPRESENTAÇÃO DA GENITÁLIA EXTERNA.....	30
FIGURA 4.2 – REPRESENTAÇÃO DA GENITÁLIA INTERNA	31
FIGURA 5.1 – METODOLOGIA PROPOSTA.....	34
FIGURA 5.2 – MODELO DE INTEGRAÇÃO CAUSAL HÍBRIDO	37
FIGURA 5.3 - HTA DA CIRURGIA DE HTV.....	39
FIGURA 5.4 - HTA DO PROCEDIMENTO CIRÚRGICO	39
FIGURA 5.5 - HTA DO PROCEDIMENTO ANESTÉSICO	40
FIGURA 5.6 - HTA DESCRIMINADA DO PROCEDIMENTO CIRÚRGICO	40
FIGURA 5.7 - DSE DA COLOCAÇÃO DA PACIENTE NA POSIÇÃO GINECOLÓGICA	46
FIGURA 5.8 - DSE DA ASSEPSIA DA PACIENTE	47
FIGURA 5.9 - DSE INCISÃO DA MUCOSA VAGINAL ANTERIOR.....	47
FIGURA 5.10 - DSE DA INCISÃO DA MUCOSA POSTERIOR	48
FIGURA 5.11 - DSE DA LIGADURA DO COMPLEXO LIGAMENTAR.....	49
FIGURA 5.12 - PINÇA DE HEANEY	49
FIGURA 5.13 - DSE DA LIGADURA DAS ARTÉRIAS UTERINAS	50
FIGURA 5.14 - DSE DA LIGAÇÃO DO COMPLEXO TUBO-OVARIANO.....	50
FIGURA 5.15 - DSE DA FIXAÇÃO DO ÂNGULO VAGINAL.....	51
FIGURA 5.16 - DSE DA REVISÃO DAS ÁREAS SANGRANTES.....	51
FIGURA 5.17 - DSE DO TOQUE RETAL	52
FIGURA 5.18 - RB DOS CIRURGIÕES AUXILIARES.....	54
FIGURA 5.19 - RB DO CIRURGIÃO	54
FIGURA 6.1 - FD DO CIRURGIÃO	58
FIGURA 6.2 - PROBABILIDADES DE ERRO DO CIRURGIÃO	60
FIGURA 6.3 - FD DOS AUXILIARES.....	61
FIGURA 6.4 - PROBABILIDADES DOS NÓS RAÍZES.....	61
FIGURA 6.5 - PROBABILIDADES DE ERRO DOS AUXILIARES	63

FIGURA 6.6 - MODELO INTEGRADO CAUSAL HÍBRIDO PARA HISTERECTOMIA VAGINAL.....	63
FIGURA 6.7 - PROBABILIDADE DOS ESTADOS FINAIS DA ETAPA DO DSE DA FIGURA 5.7	64
FIGURA 6.8 - PROBABILIDADE DOS ESTADOS FINAIS DO DSE DA FIGURA 5.9.....	66
FIGURA 6.9 - RB CIRURGIÃO.....	66
FIGURA 6.10 - RB AUXILIARES	66
FIGURA 6.11 - PROBABILIDADE DOS ESTADOS FINAIS DO DSE FIGURA 5.10	67
FIGURA 6.12 - PROBABILIDADE DOS ESTADOS FINAIS DO DSE FIGURA 5.11 - DSE DA LIGADURA DO COMPLEXO LIGAMENTAR	68
FIGURA 6.13 - ÁRVORE DE FALHAS COM EVENTO TOPO FALHA NA APLICAÇÃO DO BISTURI	70
FIGURA 6.14 - PROBABILIDADE DOS ESTADOS FINAIS DA FIGURA 5.13	71
FIGURA 6.15 - PROBABILIDADE DOS ESTADOS FINAIS DA FIGURA 5.14	72
FIGURA 6.16 - PROBABILIDADE DOS ESTADOS FINAIS DA FIGURA 5.15	73
FIGURA 6.17 - PROBABILIDADE DOS ESTADOS FINAIS DA FIGURA 5.16	74
FIGURA 6.18 - PROBABILIDADE DOS ESTADOS FINAIS DA FIGURA 5.17	74
FIGURA 6.19 - COMPARATIVO DAS PROBABILIDADES DOS ESTADOS FINAIS DO DSE DA FIGURA 5.9.....	75
FIGURA 6.20 – COMPARATIVO DAS PROBABILIDADES DOS ESTADOS FINAIS DO DSE DA FIGURA 5.10	76

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 – TABELA DE PROBABILIDADES CONDICIONAIS DO ESTADO FINAL S3.....	19
TABELA 2.2 - TABELA DE PROBABILIDADES CONDICIONAIS PARA FALHA DO SISTEMA.....	19
TABELA 2.3 - SIMBOLOGIA PARA OS EVENTOS DO DSE.....	20
TABELA 2.4 - SIMBOLOGIAS DOS CONDICIONAIS DO DSE	20
TABELA 2.5 - SIMBOLOGIAS DAS PORTAS DO DSE	21
TABELA 3.1 – FATORES DE DESEMPENHO (SWAIN & GUTTMANN, 1983).....	27
TABELA 5.1 - COLOCAÇÃO DA PACIENTE NA POSIÇÃO GINECOLÓGICA.....	41
TABELA 5.2 - ASSEPSIA DA PACIENTE	41
TABELA 5.3 - INCISÃO DA MUCOSA VAGINAL ANTERIOR	42
TABELA 5.4 - INCISÃO DA MUCOSA VAGINAL POSTERIOR.....	42
TABELA 5.5 - LIGADURA DO COMPLEXO LIGAMENTAR.....	43
TABELA 5.6 - LIGADURA DAS ARTÉRIAS UTERINAS	43
TABELA 5.7 - LIGAÇÃO DO COMPLEXO TUBO-OVARIANO	43
TABELA 5.8 - FIXAÇÃO DO ÂNGULO VAGINAL.....	44
TABELA 5.9 - REVISÃO DE ÁREAS SANGRENTAS	44
TABELA 5.10 - TOQUE RETAL.....	45
TABELA 6.1- TABELA DE PROBABILIDADES DOS NÓS FOLHA	57
TABELA 6.2 - TPC DOS FATORES EXTERNOS DADO DESIGN DO EQUIPAMENTO (DE) E CONDIÇÕES AMBIENTAIS (CA)	58
TABELA 6.3 - TPC DA FADIGA DADO FATORES EXTERNOS (FE) E CARGA DE TRABALHO (CT)	58
TABELA 6.4 - TPC DA ATENÇÃO DADO FADIGA (FA) E ESTADO EMOCIONAL (EE)	58
TABELA 6.5 - TPC DA CAPACIDADE DE EXECUTAR A TAREFA (CET) DADO ATENÇÃO (AT) E PRECISÃO (PR)	59
TABELA 6.6 - TPC DA EXECUÇÃO DA TAREFA EM EQUIPE (ETE) DADO CET E IDENTIFICAÇÃO DO GRUPO DE TRABALHO (IG)	59
TABELA 6.7- TPC DO CIRURGIÃO DADO ETE E A EXPERIÊNCIA (EX) DO MESMO.....	59
TABELA 6.8 - TABELA DE PROBABILIDADES DOS NÓS FOLHA	60
TABELA 6.9 - TPC DOS FATORES EXTERNOS DADO DESIGN DO EQUIPAMENTO (DE) E CONDIÇÕES AMBIENTAIS (CA)	62
TABELA 6.10 - TPC DA FADIGA DADO FATORES EXTERNOS (FE) E CARGA DE TRABALHO (CT)	62
TABELA 6.11 - TPC DA ATENÇÃO DADO FADIGA (FA) E ESTADO EMOCIONAL (EE)	62
TABELA 6.12 - TPC DA CAPACIDADE DE EXECUÇÃO DA TAREFA EM EQUIPE (ETE) DADO ATENÇÃO E IDENTIFICAÇÃO COM O GRUPO DE TRABALHO (IG)	62
TABELA 6.13 - TPC DO CIRURGIÃO AUXILIAR DADO ETE E A EXPERIÊNCIA (EX) DO MESMO.....	62
TABELA 6.14 - RESULTADO DA MODELAGEM DO DSE DA FIGURA 5.7	64
TABELA 6.15 - RESULTADO DA MODELAGEM DO DSE DA FIGURA 5.9	65
TABELA 6.16 - RESULTADO DA MODELAGEM DO DSE FIGURA 5.10	67
TABELA 6.17 - RESULTADO DA MODELAGEM DO DSE FIGURA 5.11 - DSE DA LIGADURA DO COMPLEXO LIGAMENTAR.....	68

TABELA 6.18 - RESULTADO DA MODELAGEM DO DSE DA FIGURA 5.13	70
TABELA 6.19 - RESULTADO DA MODELAGEM DO DSE DA FIGURA 5.14	71
TABELA 6.20 - RESULTADO DA MODELAGEM DO DSE DA FIGURA 5.15	72
TABELA 6.21 - RESULTADO DA MODELAGEM DO DSE DA FIGURA 5.16	73
TABELA 6.22 - RESULTADO DA MODELAGEM DO DSE DA FIGURA 5.17	74
TABELA 6.23 - RESULTADO DA MODELAGEM DO DSE DA FIGURA 5.9 DADO NÍVEL DE EXPERIÊNCIA DO CIRURGIÃO ADEQUADO	75
TABELA 6.24 - RESULTADO DA MODELAGEM DO DSE DA FIGURA 5.10 DADO NÍVEL DE EXPERIÊNCIA DO CIRURGIÃO ADEQUADO.....	76
TABELA 6.25 - RESULTADO DA MODELAGEM DO DSE DA FIGURA 5.10 DADO A EVIDÊNCIA QUE A FADIGA NÃO ESTÁ PRESENTE NA RB DO CIRURGIÃO.....	76

LISTA DE ACRÔNIMOS

- ACH- Análise de Confiabilidade Humana
- AE- Árvore de Eventos
- AF- Árvore de Falhas
- BEL- *Bayesian Belief* (Crença Bayesiana)
- CPC- *Common Performace Conditions*
- CREAM- *Cognitive Reliability and Error Analysis Method* (Método de Análise de Erros e Confiabilidade Cognitiva)
- DAG- *Directed Aciclic Graph* (Grafo Acíclico Direcionado)
- DG- *Directed Graph* (Grafo Direcionado)
- DSE- Diagrama de Seqüência de Eventos
- DS- *D-Separation* (D-Separação)
- EF- Estado Final
- EI- Evento Iniciador
- EMH- Equipamentos Médico Hospitalares
- EP- Evento Pivotal
- ET- Evento Topo
- FD- Fator de desempenho
- HA- Histerectomia Abdominal
- HTA- *Hierarchical Task analysis*
- HV- Histerectomia Vaginal
- IDAC- *Identification, Decision And Action in Crew* (Identificação, Decisão e Ação em Grupo)
- IMIP- Instituto Materno Infantil de Pernambuco
- RB- Rede Bayesiana
- TPC – Tabela de Probabilidades Condicionais
- UTI- Unidade de Terapia Intensiva

1 INTRODUÇÃO

A Histerectomia é um dos procedimentos cirúrgicos mais realizados no mundo atualmente e é a segunda operação de grande porte mais realizada nos Estados Unidos, desde o início da década de 90, conforme Wilcox et al. (1994). A técnica convencional, que é invasiva ao paciente, inclui a abertura da parede abdominal para acessar o órgão e extirpá-lo. Em contrapartida a essa técnica invasiva, foi desenvolvida a Histerectomia Vaginal (HV) na ausência de prolapso, que consiste na retirada do útero através da vagina sem a necessidade de incisão abdominal.

Kovac (2000) comprova que os resultados da Histerectomia por via vaginal são bem mais satisfatórios do que aqueles feitos por via abdominal. O tempo de permanência no hospital das pacientes submetidas ao procedimento de HV, foi de $2,76 \pm 0,94$ dias contra $3,99 \pm 1,16$ dias ($p < 0,001$), sendo p o p -valor (Bussab & Morettin, 2003), daquelas submetidas à cirurgia convencional. Fato que comprova que as pacientes de HV custam menos aos hospitais do que as de Histerectomia Abdominal (HA). Um outro dado importante da pesquisa é que a chance de uma paciente apresentar um ou mais tipos de complicações pós-operatórias é de 9,3% para pacientes de HA enquanto que para a HV o percentual de complicações é de 5,3% com $p < 0,001$. No tocante aos casos de infecção ou febre pós-operatória os percentuais são 4,0% versus 0,8% com $p = 0,029$ para o caso de HA contra os de HV. Resultados bastante semelhantes podem ser encontrados nos estudos feitos por Costa et al. (2003) no Instituto Materno Infantil de Pernambuco (IMIP).

Devido aos fatos supra mencionados a HV tornou-se a técnica *Gold Standard*, ou seja, a primeira opção de procedimento cirúrgico dentre todas as técnicas de histerectomia.

Contudo, apesar da HV ser atualmente a principal opção de técnica cirúrgica para retirada do útero, a mesma não está isenta de falhas. De fato, os relatos de problemas mais freqüentemente encontrados são as lesões acidentais. Estas podem acontecer em diferentes etapas da cirurgia e conseqüentemente em diferentes locais, como lesões de bexiga, intestinais, uretrais e ovarianas. Outra intercorrência cirúrgica referida pelos ginecologistas é a exteriorização da vagina, mais conhecida como prolapso de cúpula vaginal, decorrente de uma fixação não adequada do ângulo vaginal.

Apesar de todos esses relatos de problemas que ocorrem durante a execução do procedimento cirúrgico, ainda não existem trabalhos de avaliação destes riscos. Existem sim, diversos estudos que analisam o risco de uma cirurgia baseado na avaliação dos pacientes no

seu pós-operatório, como se pode observar em Karlson (1997) ou em Costa et al. (2003), onde ambos descrevem os riscos associados ao procedimento cirúrgico baseados nas probabilidades de quadros clínicos desfavoráveis à paciente, detectados no pós-operatório das mesmas. Ou seja, estes trabalhos, fazendo uso de uma análise frequencista, as probabilidades de cada tipo de quadro clínico desfavorável ao procedimento são encontradas pela razão de pacientes que apresentaram tal quadro e a quantidade total de pacientes submetidas ao procedimento cirúrgico.

Uma outra linha de pesquisa é apresentada por Dierks & Nouri (2006), que avalia, de forma macro, o risco de procedimentos cirúrgicos ao longo de todas as fases do processo, como pré-operatório, intra-operatório e pós-operatório. Nesse trabalho modelam-se as interações entre as fases e os fatores que nelas influenciam, utilizando para tal, ferramentas como diagramas de seqüências de eventos e árvores de falha. Contudo, o trabalho de Dierks & Nouri também não avalia os riscos durante a execução da cirurgia. Nem tampouco quantifica os erros associados à execução das tarefas pelos cirurgiões.

Dessa forma, tendo em vista este contexto ainda não explorado da avaliação e quantificação dos riscos durante a execução das cirurgias que é apresentado e justificado este trabalho. No presente estudo é proposta uma metodologia para mapear a cirurgia e desenvolver um procedimento de análise para identificação das chances de falha e suas causas associadas. Tomando-se como base a opinião de especialistas consultados, os quais relatam que os problemas supra-citados são causados em sua grande maioria por erros humanos, que estão relacionadas diretamente a vários fatores, como por exemplo, a fadiga do cirurgião, a experiência e o entrosamento da equipe cirúrgica.

Esta metodologia tem como foco principal o aspecto da confiabilidade humana. Porém, também analisa aspectos relacionados à confiabilidade dos equipamentos médico-hospitalares utilizados durante o processo, que podem contribuir com os riscos do procedimento cirúrgico. Assim, consegue-se identificar quais pontos ou etapas devem ser modificadas e/ou melhoradas de forma a minimizar as probabilidades de erro humano e falhas em equipamentos, contribuindo para a mitigação ou erradicação dos riscos.

A metodologia proposta neste trabalho para a análise probabilística de risco em procedimentos cirúrgicos tem como foco de avaliação o caso da histerectomia vaginal.

O modelo probabilístico de risco desenvolvido é híbrido, pois é baseado na integração dos Diagramas de Seqüências de Eventos (DSE), Árvore de Falhas (AF) e Redes Bayesianas (RB). Nesta modelagem os eventos pivotais dos DSEs relacionados a erros humanos, ou seja,

resultantes diretamente de ações humanas, são modelados via redes Bayesianas, enquanto que os eventos pivotais relacionados à falha de equipamentos são modelados via árvore de falhas. Possibilita-se, ao final da análise, quantificar em termos probabilísticos os erros humanos e as falhas nos equipamentos que influenciam os resultados dos procedimentos cirúrgicos.

1.1 Justificativa

1.1.1 Objetivos

1.1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma metodologia para avaliação probabilística de risco na área de saúde, onde esta avaliação é proposta para um procedimento cirúrgico. Essa é uma metodologia genérica, que pode ser usada em qualquer cirurgia. Entretanto, este trabalho faz um estudo de caso para a Histerectomia Vaginal Total.

O modelo desenvolvido engloba o contexto da Análise de Confiabilidade Humana, modelados por redes bayesianas, com os já tradicionais métodos de avaliação de confiabilidade de equipamentos, realizados por meio de árvores de falhas.

1.1.1.2 Objetivos Específicos

- Revisão da técnica cirúrgica de Histerectomia Vaginal Total;
- Descrição das tarefas das atividades do procedimento de Histerectomia Vaginal Total;
- Identificação dos fatores de desempenho pertinentes à equipe cirúrgica durante a execução do procedimento;
- Identificação dos estados finais (sucesso ou tipos de falha) em cada passo do procedimento cirúrgico;
- Elaboração, a partir da análise hierárquica da tarefa, dos diagramas de seqüência de eventos para cada etapa da cirurgia;
- Caracterização dos erros provenientes dos estados finais das tarefas lincando-os com as devidas causas ou causadores;
- Desenvolvimento de um novo modelo de confiabilidade humana baseado em redes Bayesianas para avaliação das ações da equipe cirúrgica durante o procedimento de Histerectomia Vaginal;
- Desenvolvimento da Confiabilidade dos equipamentos médico-hospitalares utilizados durante o procedimento, através da modelagem da árvore de falhas dos mesmos.
- Elaboração do modelo causal híbrido que integra os Diagramas de Seqüência de Eventos, com as redes Bayesianas e as árvores de falhas, para a avaliação

probabilística de risco das ações da equipe cirúrgica, e a confiabilidade dos equipamentos envolvidos no procedimento.

- Elaboração do questionário para eliciação da opinião de especialistas sobre as probabilidades pertinentes ao modelo de confiabilidade humana baseado em redes Bayesianas;
- Simulação do modelo híbrido envolvendo os diagramas de seqüência de eventos, árvore de falhas e redes Bayesianas para a avaliação probabilística de risco para cada etapa do procedimento cirúrgico. Obtendo-se os cenários para cada etapa, com os respectivos valores das probabilidades dos estados finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nos tópicos abaixo são descritos os temas necessários para elaboração e apresentação da metodologia híbrida de avaliação probabilística de risco para cirurgia .

2.1 Tipos de Inferência

Existem duas escolas diferentes sobre a maneira de se inferir sobre as probabilidades dos eventos. A primeira escola é a frequentista, onde se encontram as probabilidades pela razão entre os casos favoráveis e a quantidade total dos experimentos realizados. Enquanto na segunda escola, a Subjetiva, além das informações provenientes dos experimentos, acrescenta-se ao valor das probabilidades o grau de crença ou conhecimento do analista em relação ao evento. Essa escola é também chamada de Bayesiana por se utilizar do Teorema de Bayes para atualizar o grau de crença dado que uma nova evidência foi apresentada.

2.2 Teorema de Bayes

Sejam dois eventos A e B, tal que:

$$P(A) > 0 \text{ e } P(B) > 0:$$

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)} \quad \text{Equação 2.1}$$

onde $P(A)$ é a probabilidade a priori do evento A;

$P(B|A)$ é a verossimilhança da evidência B, assumindo a ocorrência do evento A;

$P(A|B)$ é a probabilidade a posteriori de A dado B.

A fim de ajudar nos cálculos posteriores pode-se escrever o Teorema de Bayes da seguinte forma:

$$P(A|B) = \alpha P(A) \lambda(A) \quad \text{Equação 2.2}$$

$$\text{Onde } \alpha = \frac{1}{P(B)} \text{ e } \lambda(A) = P(B|A).$$

Quando a inferência Bayesiana envolve apenas duas variáveis ela é relativamente simples, entretanto quando a quantidade de variáveis se eleva, a inferência torna-se complexa e sem valor prático (Neapolitan, 2003). Assim a solução encontrada para tratar de sistemas mais complexos são as Redes Bayesianas.

2.3 Redes Bayesianas

Redes Bayesianas são estruturas gráficas que permitem representar razões ou argumentos no domínio da incerteza (Korb & Nicholom, 2003).

As estruturas gráficas em questão são os Grafos Direcionados (DG), que são definidos como um par (V,B) , onde V é um conjunto não vazio cujos elementos são chamados de nós ou vértices, enquanto B são elementos denominados de arcos ou arestas, e se um par $(Y,X) \in B$, significa que existe um arco de Y para X . Entretanto uma Rede Bayesiana tem uma estrutura um pouco mais peculiar que são Grafos Acíclicos Direcionados (DAG), ou seja, os seus arcos não podem formar ciclos.

Numa rede Bayesiana os nós representam um conjunto de variáveis aleatórias. O conjunto dos arcos conectam pares de nós, e representam dependências diretas entre as variáveis. Estas conexões direcionadas são sempre causais, de forma que a direção dos arcos correspondem a uma relação de causa e efeito entre os nós. O poder dessa relação é descrito por probabilidades condicionais sobre cada uma das variáveis da rede, dados os valores específicos dos seus causadores diretos.

A definição genealógica da estrutura de uma rede Bayesiana também é de suma importância para a sua correta compreensão. Dado um DAG formado por, $G=(V,B)$, e o par $(Y,X) \in B$, Y é pai de X e X é filho de Y se houver um único arco de Y para X . Pode-se então fazer uma generalização do conceito, Y é ancestral de X e X é descendente de Y , se houver um caminho de Y a X , podendo existir neste caminho mais de um arco, e conseqüentemente mais de um nó separando ambos. Um outro conceito é o de nó raiz, chamado desta forma aquele nó que não possui nenhum ancestral. O exemplo abaixo ilustra os conceitos acima apresentados.

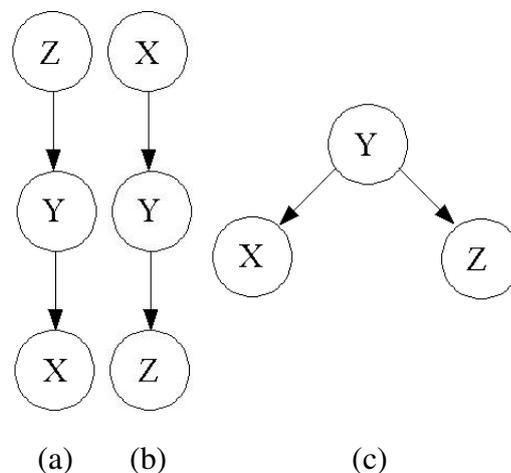


Figura 2.1 - Caminhos de uma rede Bayesiana

No caso (a) da Figura 2.1 temos que Z é pai e não descendente de Y, e Y é filho e descendente de Z. Para X temos que ele é descendente de Z, e Z é ancestral e não descendente de X. Z é um nó raiz para esse DAG. As mesmas leituras são feitas para o caso (b), entretanto onde acima lia-se Z passa-se a ler X e vice-versa. Já para o caso (c) temos que Y é pai e não descendente de X e Z, e X e Z são filhos e descendentes de Z. Y é a única raiz do DAG.

2.3.1 Nós e Valores

O primeiro passo para a montagem de uma rede Bayesiana é a identificação das variáveis de interesse. Isso envolve, segundo Korbs & Nicholson (2003), a resposta a duas perguntas: Quais são os nós a serem representados? Quais valores eles podem assumir?

Os valores devem ser mutuamente exclusivos e exaustivos. Isso significa que as variáveis devem assumir apenas um valor num determinado tempo t. Os tipos mais comuns de nós são o Boleanos, onde o nó assume duas proposições: verdadeiro ou falso, os nós de valores ordenados, que assumem por exemplo valores como alto, médio e baixo, e por último os nós de faixa de valores, onde suas proposições são faixas de valores, um exemplo pode ser o nó Peso, que pode ir de 30 a 100 Kg.

2.3.2 Estrutura das redes

A estrutura, ou topologia, da rede deve capturar as relações qualitativas entre as variáveis. Isto se dá da seguinte forma: dois nós devem ser conectados diretamente se uma deles afeta o outro, e a flecha deve estar indicando a direção deste efeito.

O exemplo de uma rede bayesiana do diagnóstico de câncer de pulmão, ilustrado abaixo, ajuda na interpretação dos conceitos mencionados acima.

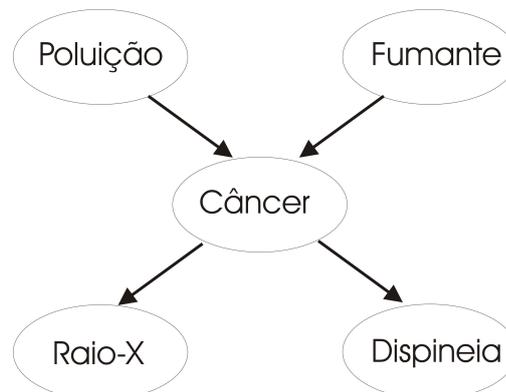


Figura 2.2 - Redes Bayesianas para diagnóstico de câncer de pulmão

Como vemos na Figura 2.2, a exposição do paciente à poluição e o fato de ele ser ou não fumante afetam a chance de se ter câncer de pulmão, portanto os arcos são direcionados

dos nós “Poluição” e “Fumante” para o nó “Câncer”. Já o nó “Câncer” afeta tanto o resultado do Raio-X, quanto o nó que representa a dificuldade de respirar do paciente, “Dispneia”.

2.3.3 Probabilidades Condicionais

A partir do momento em que a topologia da rede já esteja totalmente definida, parte-se para a etapa de quantificação das relações entre os nós conectados. Esta é feita especificando-se a distribuição de probabilidades condicionais de cada nó. Para valores discretos, é construída uma Tabela de Probabilidades Condicionais (TCP). O número de probabilidades existentes numa TPC depende do número de valores que o nó pode assumir bem como a quantidade de pais que este nó possua. Para variáveis dicotômicas, onde a variável assume apenas dois valores, o número de probabilidades da TPC é dada por:

$$N^{\circ} \text{ de probabilidades de uma TPC} = 2^{n+1} \quad \text{Equação 2.3}$$

Entretanto antes de descrever as equações que regem os cálculos das probabilidades das redes é interessante introduzir mais alguns conceitos sobre as redes Bayesianas.

2.3.4 Condição Markoviana

Definição 2.1 *Seja P a distribuição de probabilidade conjunta das variáveis aleatórias de um conjunto V e seja um DAG = (V, B) . É dito que o par (G, P) satisfaz à condição Markoviana se para cada V , onde $X \in V$, X é condicionalmente independente de todas as variáveis que compõem o conjunto dos seus não descendentes, dados os valores das variáveis que compõem seu conjunto de pais. Ou, em notação probabilística, $\{X\} \text{ ind } ND(X) | PA(X)$ onde $ND(X)$ refere-se ao conjunto de não descendentes de X e $PA(X)$ ao seu conjunto de pais.*

Em outras palavras a Condição Markoviana retrata a falta de memória do processo, ou seja, quando se sabe o atual estado do processo, informações anteriores são irrelevantes nas inferências sobre o seu estado futuro. Assim as Redes Bayesianas utilizam a Condição Markoviana para considerar um nó raiz independente de seus não descendentes. Dessa forma só existe dependência direta entre dois nós quando os mesmos estiverem ligados por um arco.

2.3.5 Aprendizado das redes Bayesianas

Quando uma nova informação (evidência) é introduzida no processo, queremos saber como a variável que está sendo observada se comporta, ou seja, como esta nova informação altera o valor da variável. Esta alteração é chamada de atualização de crença, e é feita via “fluxo” de informações através da rede.

2.3.6 Tipos de raciocínio através da rede

Diagnóstico: quando o raciocínio é feito dos sintomas para as causas. No exemplo da Figura 2.2 a evidência em questão é o paciente apresentar Dispneia. Assim o médico com esse novo dado em mão vai atualizar sua crença sobre o Câncer no paciente. No raciocínio Diagnóstico o “fluxo” de informações segue o sentido contrário dos arcos.

Preditivo: as informações seguem o fluxo dos arcos, as novas evidências são causas que atualizam os valores dos efeitos. Como exemplo pode-se citar o caso em que o paciente chegue ao médico e diga que é fumante, com isso o médico atualiza a chance de Câncer no paciente.

Efeito de causa comum: é representado por uma estrutura em “V” na rede. No caso do exemplo da Figura 2.2, as causas “Poluição” e “Fumante” têm o mesmo efeito o “Câncer”. Inicialmente, segundo o modelo, as causas são independentes uma das outras, entretanto a condição Markoviana é quebrada pois a partir do momento em que se sabe, por exemplo, que dado que o efeito está comprovado (paciente com câncer), e que é evidenciada uma das causas, a outra causa tende a ter sua probabilidade diminuída. Esse efeito é conhecido como *explaining away* ou ativação de dependências.

2.3.7 Independência Condicional

Retomando ao caso (a) da Figura 2.1, em que a rede apresenta uma estrutura de três nós, onde Z causa Y e Y causa X, diz-se baseado na condição Markoviana, que a probabilidade de $X|Y$ é a mesma probabilidade de $X|(Y \cap Z)$, ou seja, a ocorrência de Z não altera a crença sobre X, dado que já se sabe que Y ocorreu. Dessa forma X é condicionalmente independente de Z, em notação probabilística $\{X\} \text{ind}\{Z\}|\{Y\}$.

O caso da letra (c) da

Figura 2.1 mostra a independência condicional de X em relação a Z, dado a ocorrência de Y ($\{X\} \text{ind}\{Z\}|\{Y\}$). A explicação para este fato vem de que X e Z têm causa comum Y, se não existirem evidências em relação à Y, então o fato de um dos dois efeitos estarem presentes, altera a probabilidade de Y, o que conseqüentemente altera a probabilidade sobre o outro efeito. Todavia se já se sabe sobre Y, o fato de um dos efeitos estar presente, como por exemplo o efeito X, não acrescenta nada sobre a probabilidade de se ter ou não Z.

2.3.8 d-Separação

As independências condicionais explicadas acima, são propriedades dos DAGs conhecidas como d-Separação. A d-Separação, onde o d se refere a direction-dependence, interrompe o fluxo de dependências entre dois subconjuntos disjuntos a partir de um terceiro subconjuntos disjuntos deles. No exemplo do caso (a) da

Figura 2.1, vê-se que o bloqueio de informações é feito pelo nó Y, assim tem-se que os nós Z e X são d-separáveis, que em notação é representado por $\{X\}ds\{Z\}|\{Y\}$. Para o caso três da mesma figura, se não houver indicações sobre Y, existe uma interrupção no fluxo de informações entre Z e X, tornando $\{X\}ds\{Z\}|\{Y\}$. Porém quando existem indicações a respeito de Y, automaticamente a relação de dependência entre Z e X é ativada.

2.3.9 Atualização das crenças

Supondo-se que a letra (a) da

Figura 2.1, refere-se ao caso em que um paciente esteja em uma Unidade de Terapia Intensiva (UTI), e utiliza um respirador para auxiliar suas funções respiratórias. Além deste equipamento o paciente está conectado também a um outro equipamento que monitoriza a concentração de O_2 no sangue, chamado de oxímetro. Essa concentração de oxigênio no sangue é medida através de um parâmetro chamado saturação de O_2 , ou seja, o percentual de O_2 no sangue naquele dado instante. Um valor típico para uma pessoa saudável varia de 96% a 100% de saturação.

Num determinado momento o médico visualiza o display do oxímetro e vê que o paciente apresenta uma saturação abaixo do desejável. Entretanto o médico não confia totalmente no equipamento e resolve fazer um exame de gasimetria no paciente, onde é retirado uma certa quantidade de sangue do paciente, e este é analisado quimicamente, indicando assim a concentração de oxigênio no sangue do paciente.

É importante salientar que cada um dos métodos acima mencionados têm uma confiabilidade determinada pelos respectivos fabricantes dos equipamento e os valores mostrados abaixo são meramente ilustrativos não retratando a realidade desses números, mas são dispostos dessa maneira para facilitar o entendimento do exemplo.

Assim para modelar-se uma rede Bayesiana para este exemplo toma-se a baixa saturação de O_2 como o nó Z, dessa forma $P(Z)$ é a probabilidade do paciente ter saturação

abaixo do tolerável, devido a algum problema no respirador¹ ou da entubação do paciente. A indicação da saturação dada pelo oxímetro como o nó Y, sendo $P(Y)$ a probabilidade da indicação dada pelo oxímetro ser real. O resultado do exame químico como o nó X, com $P(X)$ a probabilidade do exame estar correto. No exemplo só são consideradas duas categorias para todas as variáveis, verdadeiro (0) e falso (1).

Pela experiência do analista, aqui denotado pelo médico, obtém-se as seguintes probabilidades a priori: $P(Z=0)=0,05$ e $P(Z=1)=0,95$ e a TPC tem os seguintes valores: $P(Y=0|Z=0)=0,9$, $P(Y=1|Z=0)=0,1$, $P(Y=0|Z=1)=0,2$, $P(Y=1|Z=1)=0,8$.

Num determinado momento o médico olha a indicação do oxímetro e vê que o mesmo indica que o paciente está com a saturação abaixo do aceitável. Assim tem-se uma evidência de $Y=$ Verdadeiro (0). O cálculo para a atualização de crenças a partir desta evidência é mostrado a seguir, onde *Bel* refere-se a crença em relação sobre a variável dada a evidência.

De acordo com a $P(A|B)=\alpha P(A)\lambda(A)$

Equação 2.2:

$$Bel(Z=0|Y=0) = \alpha P(Z=0)\lambda(Z=0)$$

que pode ser reduzido a:

$$Bel(Z=0) = \alpha P(Z=0)\lambda(Z=0)$$

$$Bel(Z=0) = \alpha \times 0,05 \times 0,9$$

$$Bel(Z=0) = 0,045 \alpha$$

Fazendo-se o mesmo raciocínio para o caso em que a variável assume o valor de 1:

$$Bel(Z=1) = \alpha P(Z=1)\lambda(Z=1)$$

$$Bel(Z=1) = \alpha \times 0,95 \times 0,2$$

$$Bel(Z=1) = 0,19 \alpha$$

O valor de α é então calculado por:

$$Bel(Z=0) + Bel(Z=1) = 1 = 0,045 \alpha + 0,19 \alpha$$

$$\text{Assim } \alpha = 4,26$$

Desta forma atualizou-se as crenças obtendo os seguintes resultados:

$$Bel(Z=0) = 0,191 \text{ e } Bel(Z=1) = 0,809$$

¹ Respirador – equipamento também conhecido como ventilador mecânico, utilizado para dar suporte à vida à pacientes que têm suas funções respiratórias prejudicadas (incapacitados de realizar o ciclo respiratório espontaneamente), fornecendo-os ciclos respiratórios artificiais.

Portanto, com a evidência do oxímetro mostrar que a saturação do paciente estava abaixo do tolerável, a chance do paciente realmente não estar recebendo a quantidade de oxigênio esperada sobe dos iniciais 0,05 para 0,191.

Suponha agora que só temos o resultado da gasimetria, e que por algum motivo não o valor apresentado pelo oxímetro não pode ser lido. Uma nova TPC é montada a partir da experiência do médico, representada pela possibilidade de inacurácia na gasimetria.

$$P(X=0|Y=0)=0,95, P(X=1|Y=0)=0,05, P(X=0|Y=1)=0,15, P(X=1|Y=1)=0,85$$

Dado que o teste de gasimetria deu verdadeiro para baixa saturação, uma nova evidência foi introduzida na rede:

$$\lambda(Z=0)=P(X=0|Y=0)P(Y=0|Z=0)+P(X=0|Y=1)P(Y=1|Z=0)$$

$$\lambda(Z=0)=0,95 \times 0,9 + 0,15 \times 0,1 = 0,87$$

$$Bel(Z=0) = \alpha P(Z=0) \lambda(Z=0) = \alpha \times 0,05 \times 0,87 = 0,0435 \alpha$$

Calculando agora para $Z=1$:

$$\lambda(Z=1)=P(X=0|Y=0)P(Y=0|Z=1)+P(X=0|Y=1)P(Y=1|Z=1)$$

$$\lambda(Z=1)=0,95 \times 0,2 + 0,15 \times 0,8 = 0,31$$

$$Bel(Z=1) = \alpha P(Z=1) \lambda(Z=1) = \alpha \times 0,95 \times 0,31 = 0,2945 \alpha$$

Como:

$$Bel(Z=0) + Bel(Z=1) = 1 = 0,0435 \alpha + 0,2945 \alpha$$

$$Bel(Z=0) = 0,129 \text{ e } Bel(Z=1) = 0,871$$

Mostrando-se que a probabilidade da falta de oxigenação no sangue eleva-se de 0,05 para 0,129, dado que foi feito um exame químico.

O exemplo apresentado acima é um dos casos mais básicos de uma Rede Bayesiana, Percebe-se, então, que se o número de nós aumentar muito e tiver muitas ramificações o esforço demandado no cálculo das probabilidades será enorme. Portanto torna-se essencial a utilização de simuladores (modelos computacionais) para a realização destes cálculos. Foi com esse intuito que Firmino & Droguett (2006) desenvolveram um simulador para modelos híbridos (DSE + AF + RB), o qual resolve os DSEs e AFs via BDD e as RB via PTCC (Huang & Darwiche, 1994).

2.3.10 Árvore de Falhas

Segundo Modarres et al.(1999) Árvore de Falhas (AF) é um processo dedutível em que um evento indesejado chamado de Evento Topo (ET) é postulado e as possíveis formas deste evento ocorrer são sistematicamente deduzidas.

A análise qualitativa é feita identificando-se as combinações dos modos de falhas existentes num processo para que o evento topo venha a ocorrer. Em seguida é feita a associação de probabilidades aos modos de falhas para assim realizar a estimação da probabilidade do evento topo.

As figuras abaixo mostra a representação gráfica da AF.

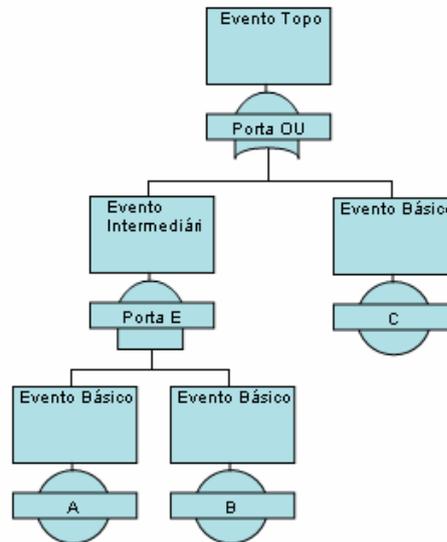


Figura 2.3 - Árvore de Falhas

Na Figura 2.3 A, B e C são eventos básicos, ou seja eles não requerem mais detalhamentos. A e B estão conectados a porta lógica “E”, o que representa que o Evento Intermediário só irá acontecer se e somente se A e B ocorrerem. Já o Evento Intermediário e C estão conectados a uma porta lógica “OU”, ou seja, o Evento Topo irá ocorrer se o Evento Intermediário acontecer, se C acontecer ou se ambos acontecerem.

Uma das maneiras de se calcular a probabilidade do ET ocorrer é pelo método dos cortes mínimos, onde são encontrados as expressões Booleanas para cada porta lógica, envolvendo apenas os eventos básicos.

Para ajudar chama-se o ponto da porta lógica “E” como G1, assim:

$$ET = G1 + C;$$

$$\text{Entretanto } G1 = A * B;$$

$$ET = (A * B) + C$$

Ficando a expressão para ET apenas em função dos eventos básicos, como era desejado.

Encontrado os cortes mínimos da árvore calcula-se a probabilidade de ocorrência do evento topo:

$$P(ET) = P(A * B) + P(C)$$

Supondo-se a independência dos eventos básicos tem-se que:

$$P(ET) = (P(A)P(B)) + P(C)$$

Pela propriedade da Distributividade de álgebra Booleana, obtém-se a expressão final para a probabilidade do ET:

$$P(ET) = P(A)P(C) + P(B)P(C) \quad \text{Equação 2.4}$$

2.3.11 Árvore de Eventos

Quando o sucesso de um sistema depende de uma cronologia, ou seja, existe uma seqüência definida para a operação alcançar êxito, a Árvore de Eventos (AE), aparece como sendo o método apropriado para modelá-lo.

A AE é uma estrutura gráfica horizontal que tem início na esquerda, onde o evento iniciador descreve uma determinada situação, e é o ponto de partida para o desenvolvimento de uma seqüência cronológica.

No exemplo da Figura 2.4, mostra-se uma AE para uma situação em que um sistema é formado por 3 subsistemas. O primeiro que está em funcionamento e dois outros de reserva, que estão conectados de forma que o segundo entra em funcionamento assim que detecta falha no primeiro e o terceiro entra em funcionamento assim que detecta falha no segundo.

O subsistema 1 (S1) do dado sistema é representado na parte superior da AE como Falha de S1, e este é o evento iniciador do processo. E como visto, para o sistema obter sucesso na sua operação ou o subsistema 2 (S2) tem de operar corretamente, ou se o mesmo falhar o subsistema 3 (S3) deve obter êxito, caso contrário o sistema irá falhar.

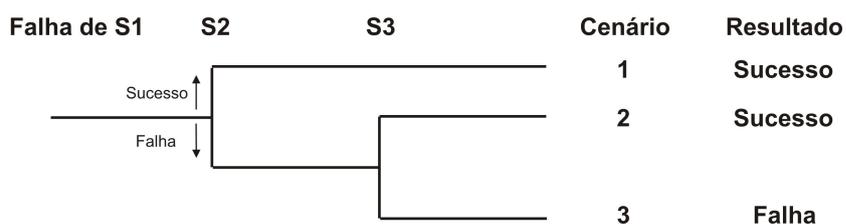


Figura 2.4 - Exemplo de Árvore de Eventos

A probabilidade de sucesso do sistema é calculado pela probabilidade da soma das sequências de sucesso. A nomenclatura $\overline{S_n}$ significa que o enésimo subsistema falhou.

$$P(\text{Sucesso do Sistema}) = P(\text{Sequências de Sucesso})$$

$$P(\text{Sucesso do Sistema}) = P(\text{Cenário 1} + \text{Cenário 2})$$

$$P(\text{Sucesso do Sistema}) = P(\text{Cenário 1}) + P(\text{Cenário 2})$$

Onde,

$$P(\text{Cenário 1}) = P(\overline{S1} S2) = P(\overline{S1})P(S2)$$

$$P(\text{Cenário 2}) = \overline{S1} \overline{S2} S3 = P(\overline{S1})P(\overline{S2})P(S3)$$

Assim:

$$P(\text{Sucesso do Sistema}) = P(\overline{S1})P(S2) + P(\overline{S1})P(\overline{S2})P(S3) \quad \text{Equação 2.5}$$

2.3.12 Modelagem das probabilidades de falhas de subsistemas de uma árvore de eventos através de árvores de falhas

A modelagem das probabilidades de falhas dos subsistemas de uma árvore de eventos podem ser quantificadas através das árvores de falhas.

Decompondo os Subsistemas S1, S2 e S3, tendo Falha de S2 e Falha de S3 como evento topo:

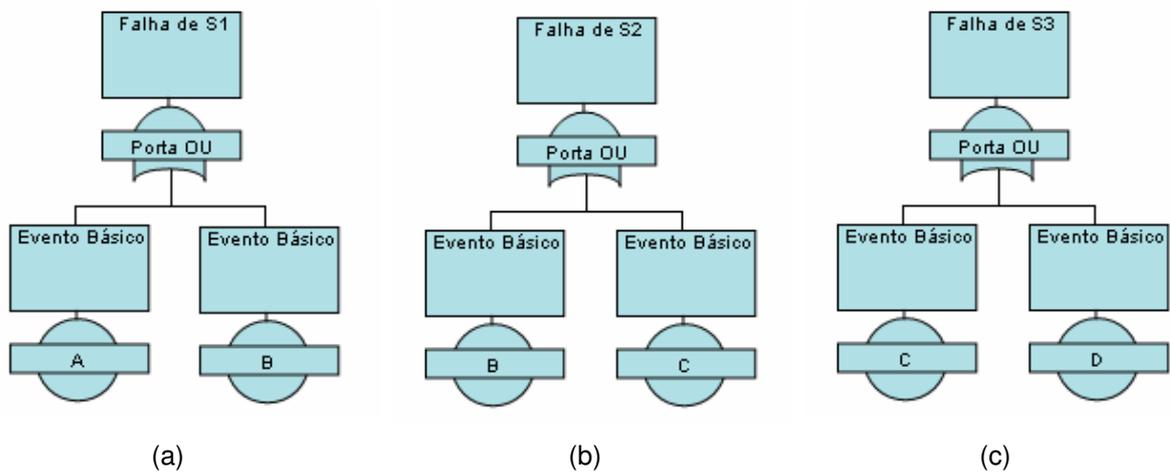


Figura 2.5 - Árvore de Falhas dos subsistemas S1, S2 e S3

Assim a probabilidade de falha de cada subsistema é dado pelas seguintes expressões, em função dos seus eventos básicos:

$$P(\overline{S1}) = P(A)P(B)$$

$$P(\overline{S2}) = P(B)P(C)$$

$$P(\overline{S3}) = P(C)P(D)$$

Dessa forma a Equação 2.5 torna-se:

$$P(\text{Sucesso do Sist.}) = P(A)P(B)[1 - P(B)P(C)] + P(A)P(B)P(B)P(C)[1 - P(C)P(D)]$$

$$P(\text{Sucesso do Sist.}) = P(A)P(B) - P(A)[P(B)]^2[P(C)]^2P(D)$$

O complementar é dado por:

$$P(\text{Falha do Sistema}) = 1 - P(\text{Sucesso do Sistema}) \quad \text{Equação 2.6}$$

2.3.13 Conversão da árvore de eventos em rede Bayesiana

A conversão de uma AE à uma Rede Bayesiana, é feita de forma a facilitar a compreensão do sistema. Pois, como já dito anteriormente, as Redes Bayesianas têm uma representação gráfica que mostram de forma mais clara e direta as relações causais que regem o processo.

Para a árvore sugerida na Figura 2.4, que tem suas equações de probabilidades de falhas dos subsistemas definida pela $P(\text{Sucesso do Sistema}) = P(\overline{S1})P(S2) + P(\overline{S1})P(\overline{S2})P(S3)$

Equação 2.5, tem-se sua Rede Bayesiana equivalente dada pela Figura 2.6.

Onde o anagrama SiF representa a falha do i-ésimo subsistema.

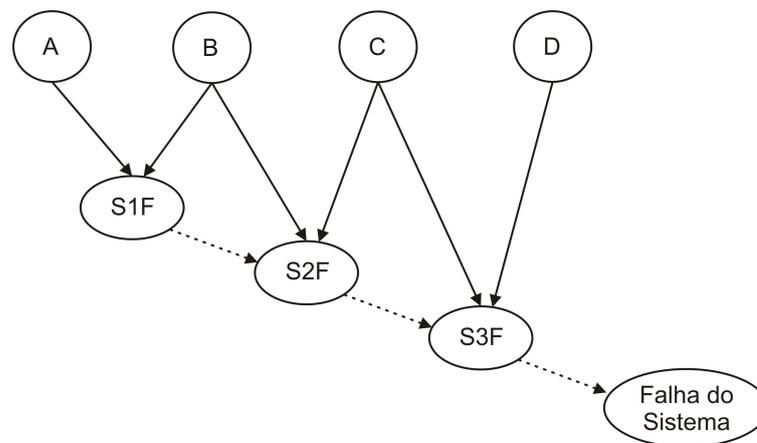


Figura 2.6 - Conversão da árvore de eventos em rede Bayesiana

As linhas tracejadas representam as relações funcionais entre os subsistemas, de acordo com a sequência de eventos que leva a cada cenário apresentado na árvore de eventos. Ao se percorrer a Rede a partir de um evento básico é possível visualizar o contexto de causa e efeito que cada processo provoca no sistema. Como exemplo, partindo-se do evento básico B, ou seja B ocorre, os subsistemas S1 e S2 falham, então S3 é ativado. Caso haja falha de C ou D, o sistema irá falhar por completo. É importante salientar que a árvore da Figura 2.6 foi desenvolvida no contexto de falha.

2.3.14 Tipos de modelagem

Numa Rede Bayesiana, segundo Santos (2005), os cenários podem ser modelados de acordo com o nível de dependência dos eventos. A classificação de dependência é dada da seguinte forma: dependência total, dependência parcial e independência.

Abaixo são descritos todos os casos.

Independência: os eventos que compõem um dado cenário não sofrem nenhuma influência do evento anterior, bem como não causam influência no evento posterior. Este tipo de representação reproduz apenas uma quantificação aproximada da realidade.

Para modelar graficamente a rede com essa característica, deve-se concatenar através de arcos todos os seus nós ao nó final, sem existir interligações entre os nós. Feita esta construção, monta-se a Tabela de Probabilidades Condicionais do Evento Final, e a partir da quantificação desta tabela é obtida a modelagem do cenário desejado.

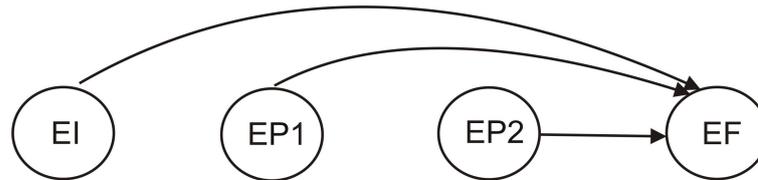


Figura 2.7 - Rede Bayesiana com eventos independentes

Dependência Parcial: os eventos que compõem um dado cenário são considerados dependentes apenas de uma quantidade determinada de eventos imediatamente anteriores a ele. Podendo existir uma flexibilização dessa quantidade de eventos dependentes, facilitando a modelagem para alguns tipos de cenários.

Para a modelagem gráfica da rede com dependência parcial deve-se conectar os nós dependentes através de arcos, ligando-os diretamente. Da mesma forma que nas redes com eventos independentes, para as redes com dependência parcial constrói-se uma TPC para o Estado Final do cenário.

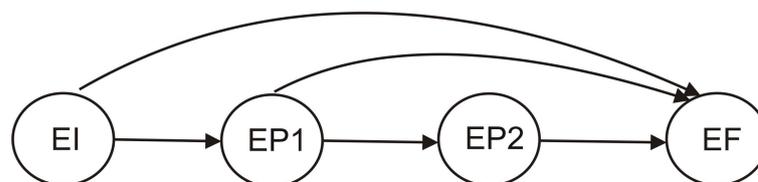


Figura 2.8 - Rede Bayesiana com eventos parcialmente dependentes

Dependência Total: os eventos que compõem um dado cenário são totalmente dependentes quando eles são dependentes de todos os eventos anteriores a ele. Numa linguagem gráfica, significa dizer que cada evento irá receber um arco de um evento anterior a ele.

Da mesma forma que os casos anteriores constrói-se uma TPC do evento final e quantifica-se o cenário desejado.

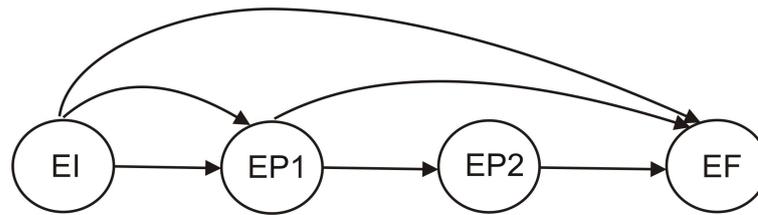


Figura 2.9 - Rede Bayesiana com eventos totalmente dependentes

Abaixo são mostradas as tabelas da lógica Booleana para cada variável e seus causadores. Em uma Rede Bayesiana a quantificação do cenário final é feita através de atribuições de probabilidades à tabela de probabilidades condicionais do estado final, vide Tabela 2.2.

Tabela 2.1 – Tabela de probabilidades condicionais do estado final S3

S2F, C, D			P(S3F S2F, C, D)	
			Sim	Não
Sim	Sim	Sim	1	0
Sim	Sim	Não	1	0
Sim	Não	Sim	1	0
Sim	Não	Não	0	1
Não	Sim	Sim	0	1
Não	Sim	Não	0	1
Não	Não	Sim	0	1
Não	Não	Não	0	1

Tabela 2.2 - Tabela de probabilidades condicionais para falha do sistema

S1F, S2F, S3F			P(Sistema Falhar S1F, S2F, S3F)	
			Sim	Não
Sim	Sim	Sim	1	0
Sim	Sim	Não	0	1
Sim	Não	Sim	0	1
Sim	Não	Não	0	1
Não	Sim	Sim	0	1
Não	Sim	Não	0	1
Não	Não	Sim	0	1
Não	Não	Não	0	1

2.4 Diagrama de Seqüência de Eventos

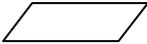
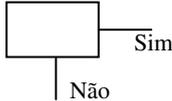
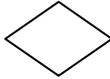
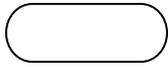
O Diagrama de Seqüência de Eventos (DSE) pode ser visto como uma representação visual do cenário a ser avaliado. Esta técnica é utilizada em várias instâncias, Stutzke et al. (1991) propõe o uso de DSEs para o auxílio da compreensão em cenários de acidentes e

ajudar a monitorá-los. DSEs também são usadas para auxiliar na construção de Árvores de Eventos nas Usinas Nucleares.

O DSE ajuda na identificação e construção de seqüências de eventos em cenários dinâmicos, dado que ele se parece bastante com os tradicionais Gráficos de Fluxo. O que é visto no DSE é o que pode vir a acontecer no processo de acordo com um evento iniciador. A caracterização do DSE é feita a partir de uma sêxtupla, com o seguintes elementos:

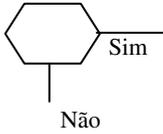
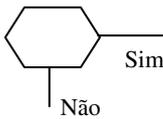
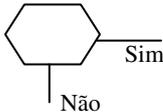
Eventos (E) : pode ser qualquer fenômeno físico observado pelo analista, que ele deseje colocar no DSE. Abaixo segue uma tabela com os símbolos utilizados pelos eventos:

Tabela 2.3 - Simbologia para os eventos do DSE

	Caixa de Comentário: usada apenas melhor compreensão da seqüência de eventos.
	Evento Iniciador: O primeiro evento num DSE, aquele que inicia a seqüências de eventos.
	Evento Pivotal: Evento com dois possíveis resultados, normalmente “Sim” ou “Não”.
	Estado Final: É o ponto final da seqüência de eventos. Numa dada seqüência pode existir vários estados finais.
	Atrasos: Podem ser detreminísticos, onde nenhum evento ocorre durante aquele dado período, ou podem ser aleatórios, onde o tempo de atraso é uma variável aleatória.

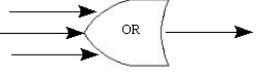
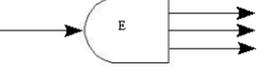
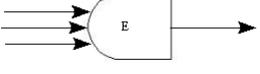
Condicionais (C) : São usadas para escolher entre caminhos binários, baseados na satisfação ou não da condição.

Tabela 2.4 - Simbologias dos condicionais do DSE

	Condições de Tempo: Baseadas em limites de tempos. Expressos na forma $a < t < b$.
	Competição: É uma “corrida”entre dois eventos. Tem dois resultados possíveis dependendo de qual seja completo primeiro.
	Switch: Baseado num processo deterministico, expresso da forma $a < p < b$, sendo o resultado dependente da satisfação ou não da condição.

Portas (P) : São duas as portas utilizadas, a porta “E” e a porta “OU”. Podem conectar eventos simples a eventos múltiplos ou vice-versa.

Tabela 2.5 - Simbologias das portas do DSE

	<p>Porta “OU” de Saída: é usada para modelar resultados mutuamente exclusivos.</p>
	<p>Porta “OU” de entrada: é usada para combinar diferentes eventos que geram um mesmo evento.</p>
	<p>Porta “E” de saída: uma entrada que gera múltiplos eventos concorrentes.</p>
	<p>Porta “E” de entrada: para situações em que os cenários só evoluem, depois que um conjunto de situações independentes acontecem. Essa porta pode ser chamada de sincronizadora.</p>

Conjunto de Parâmetros do Processo (CPP): Consiste nos parâmetros temporais e físicos que influenciam no sistema.

Fronteiras (F): Um intervalo ou conjunto de intervalos dos parâmetros do processo que estão em competição para a ocorrência de um evento.

Os DSE podem ser bastante complexos e ajudar bastante na construção de vários cenários de acidentes, porém para o trabalho proposto utiliza-se basicamente apenas os eventos iniciadores, eventos pivotais e estados finais na construção das seqüências de eventos de forma a facilitar a conversão dos DSE em AE.

2.4.1 Cenários

O cenário para a ACH contém um EI, um ou mais EP e um Estado Final (EF), conforme pode se visto no diagrama da Figura 2.10.

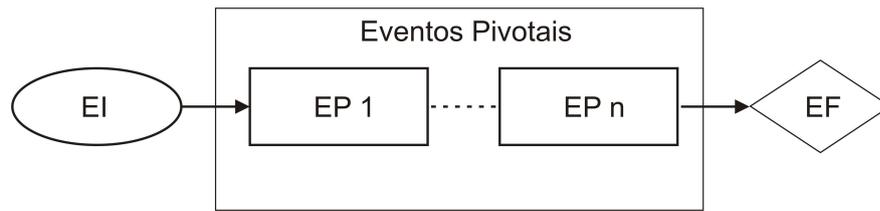


Figura 2.10 - Descrição do cenário em ACH

2.4.2 Eventos Inicializadores

Os eventos inicializadores são falhas ou perturbações que dão início a um cenário. É de suma importância que o máximo de candidatos a EI sejam considerados. Dado que seu conjunto de candidatos está formado, é possível fazer uma análise um pouco mais criteriosa para eliminar ou agrupar alguns destes candidatos.

A eliminação pode ser feita se o candidato tiver uma probabilidade de ocorrência muito baixa em relação aos outros, se este mesmo candidato for um evento iniciador de perturbação em um outro estado do sistema ou se o mesmo não estiver dentro da abrangência da análise de risco em questão.

Os candidatos devem ser agrupados num mesmo EI quando eles induzirem o sistema a uma mesma resposta.

2.4.3 Eventos Pivotalis

Eventos que possuem dois possíveis resultados, normalmente “sim” e “não”.

2.4.4 Estado Final

É o ponto final de uma sequência de eventos. Para uma dada sequência podem existir vários estados finais.

2.4.5 Ilustração do Diagrama de Seqüência de Eventos

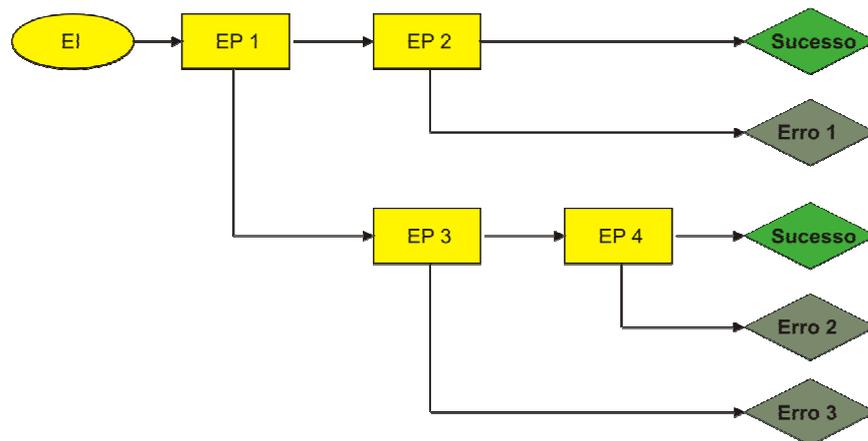


Figura 2.11 - Conceito de Diagrama de Seqüência de Eventos

Com a utilização do simulador de modelos híbridos citado anteriormente, não é preciso converter os DSEs em AEs pois o software já faz o cálculo das probabilidades dos estados finais, sem ser necessária a conversão. Entretanto para melhor ilustrar os cenários todas as AEs das etapas do processo cirúrgico foram desenvolvidas.

Na análise probabilística do risco a AE de um processo é derivada a partir do seu respectivo DSE. O início da AE é representado pelo Evento Iniciador do DSE, o qual irá definir o processo a ser estudado. Os caminhos da árvore são montados baseando-se nos eventos pivotais, sua ocorrência ou não, definem cenários diferentes.

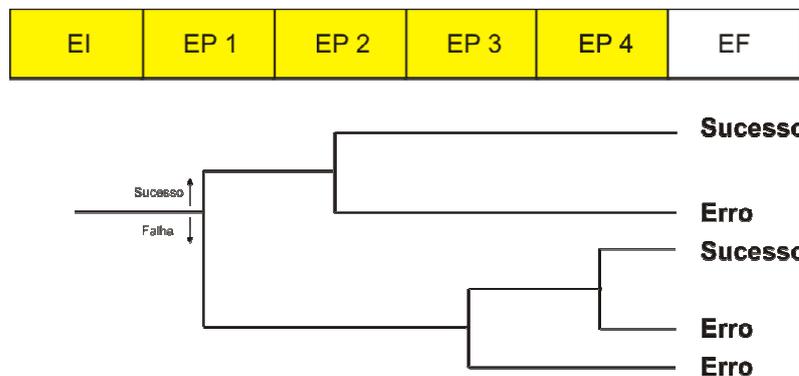


Figura 2.12 - Representação do DSE da Figura 2.11 através de uma árvore de eventos

3 ANÁLISE DE CONFIABILIDADE HUMANA

A Análise de Confiabilidade Humana é uma metodologia de avaliação de confiabilidade humana, definida por Swain & Guttman (1983), como sendo a probabilidade de que uma tarefa ou procedimento seja concluída com sucesso pelo seu operador ou equipe em qualquer estágio na operação de um sistema dentro de um mínimo de tempo exigido.

Dessa forma o não sucesso da tarefa está associada a um erro humano cometido pelo operador ou equipe. Segundo Wickens et al. (1997), erro humano é um comportamento inapropriado que diminui o nível de eficiência ou segurança de um sistema, o qual pode ou não resultar em acidentes ou danos.

Os erros podem ser classificados de diferentes formas dependendo de cada autor. Para Swain & Guttman (1983) existem duas formas de classificação: erros de comissão, aqueles que são cometidos durante a execução da tarefa; e os erros de omissão, os quais são cometidos por se omitir um determinado passo da tarefa. Já Reason (1990) dá a seguinte nomenclatura aos erros: *Mistakes*, ações intencionais que provocam erros, ou seja, o executor acredita estar tomando a ação correta entretanto realiza ações incorretas. *Lapses*, ações não intencionais que provocam erros devido à falhas de memória no decorrer da tarefa. *Slips*, erro cometido durante a execução da tarefa, como por exemplo rapidez ou lentidão na execução do procedimento.

Num primeiro momento foram desenvolvidos métodos de avaliação da confiabilidade humana baseada em árvores de eventos, nos quais as variáveis só assumem valores binários, várias vezes utilizado dá análise por árvores de falhas para discriminar os erros. Esses métodos foram caracterizados como modelos de 1ª Geração. Destacam-se nesta geração os seguintes: *Accident, Investigation and Analysis* (AIPA), *Confusion Matrix* (CM), *Technique for Human Error Prediction* (THERP), *Human Cognitive Reliability* (HCR), dentre vários outros, que podem ser melhor observados em Hollnagel (1998) *apud* Menezes, R. (2005).

Devido a essa essência binária dos modelos da 1ª geração, desenvolveu-se um método de avaliação em que as variáveis podem assumir valores policotômicos, afim de retratar mais fielmente a natureza do cenário causador dos erros cometidos pelos homens. Os principais métodos retratados na literatura são: *Cognitive Environment Simulator* (CES), *Intention Event tree System* (INTENT), *Cognitive Event Tree System* (COGENT), *EPRI Project on Methods for Addressing Human in Safety Analysis*, *Human Interaction Timeline* (HITLINE), *A Technique for Human Error Analysis* (ATHEANA), *Cognitive Reliability and Error Analysis*

Method (CREAM). A seguir descreve-se o modelo IDAC que é um modelo muito importante na evolução das técnicas de ACH.

Para ilustrar melhor a segunda geração o método CREAM é descrito a seguir.

3.1 Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM)

A técnica foi desenvolvida por Hollnagel em 1993, com o objetivo de fazer uma análise preditiva do desempenho humano, caracterizando de forma mais fiel a influência das causas em relação as manifestações observadas. Caracterização que tem início a partir de métodos sistemáticos de descrição da tarefa.

Após descrever a tarefa, através do *Common Performace Conditions* (CPC) avalia-se as condições de trabalho, tais como tempo disponível para o procedimento, preparação e treinamento adequados para os operadores, dentre outros. Em seguida determina-se a probabilidade associada à capacidade de executar a tarefa por um operador integrado no contexto do CPC.

3.2 Modelo IDAC

Entretanto, a fim de suplantar as restrições impostas pelos métodos da 1ª e 2ª gerações e com o objetivo de melhor modelar as relações de causa e efeito em uma sala de controle de uma planta de energia nuclear, Chang & Mosleh (1999) desenvolveram um método que tenta descrever mais fielmente os fatores que influenciam no comportamento dos operadores durante a realização de tarefas. Este modelo cognitivo foi chamado de IDAC (*Information, Decision and Action in a Crew*).

Para tornar o modelo dinâmico, acopla-se o IDAC a árvores de eventos. A partir de um evento iniciador, tenta-se modelar o comportmeto do operador dentro de um sistema dinâmico, observarvando-se as diferentes possibilidades de escolha que o operador pode tomar. Onde fatores ambientais (frio, calor, umidade), fatores fisiológicos (fadiga, stress), fatores organizacionais (ambiente de trabalho, ferramentas disponíveis), fatores de grupo de trabalho (liderança, grupo coeso, confiança) e fatores internos como experiência e autoconfiança, entram no modelo influenciando a resposta do operador.

Cada um dos caminhos seguidos dentro da árvore de falhas é influenciado por um ou mais de um dos fatores supra-mencionados. O primeiro passo para se calcular a probabilidade deste dado caminho, é elicitare os especialistas para que eles indiquem os pesos que devem ser atribuídos a cada um dos fatores. Posteriormente define-se quais fatores irão interferir nos

determinados estágios do modelo. Então calcula-se a probabilidade da alternativa tomando-se o valor do seu peso dividido pelo fator de normalização, que é dado pelo somatório dos pesos de todas as alternativas existentes num determinado estágio. O último passo deste processo é multiplicar todas as probabilidades de um dado caminho para assim obter a probabilidade desta sequência da árvore.

Entretanto mesmo o modelo IDAC, apesar de já ser bem mais realístico do que os modelos de 1ª e 2ª gerações, também apresenta falhas de modelagem. Pois como mostrado em Firmino et al. (2004) e Firmino (2004), o IDAC assume independências irreais entre as variáveis do sistema. E com o intuito de minimizar essas limitações a seguir é proposto um outro método de ACH.

3.3 Fatores de Desempenho

Segundo Swain e Guttman (1983), os Fatores de Desempenho (FD) são todos os fatores que influem de alguma forma sobre a confiabilidade humana e conseqüentemente auxiliam na determinação da probabilidade de erro humano. Estes FD são divididos em três tipos:

FD Externo: como o próprio nome já diz, são fatores de fora do indivíduo, que passam a influenciar a realização de uma determinada tarefa. Dentre estes fatores estão as condições ambientais e as condições de trabalho para a execução da tarefa.

Os FDs externos são subdivididos em mais três subgrupos da seguinte forma: Características do Local de Trabalho, como exemplo temperatura e umidade do local; Característica da Tarefa/Equipamento, por exemplo o design do equipamento; e por último a Instrução da atividade de trabalho e da tarefa, onde podem ser citados como exemplo a quantidade de treinamento dado a uma pessoa para a execução da tarefa.

FD Internos: são os fatores intrínsecos do ser humano que passam a determinar o nível de competência desse indivíduo para desempenhar uma certa tarefa. Pode-se citar como FD Internos a condição física do trabalhador, a sua identificação com o grupo de trabalho, dentre outros que estão mostrados na Tabela 3.1, que foi retirada de Swain e Guttman (1983).

FD Estressantes: de acordo com Lipp (1996), estresse é uma reação do organismo, com componentes físicos e psicológicos, causadas pelas alterações psicofisiológicas que ocorrem quando a pessoa se confronta com uma situação que, de um modo ou de outro, a irrite, amedonte, excite, confunda ou mesmo que a faça feliz.

Devido a extrema importância dessa reação orgânica, o estresse apesar de ser uma reação interna ao indivíduo, e portanto seria classificada como um FD Interno, é tratado num

grupo especial designado somente para si mesmo. A tabela 3.1 descrimina os fatores estressantes.

Tabela 3.1 – Fatores de Desempenho (Swain & Guttman, 1983)

FD EXTERNOS		FD ESTRESSANTES	FD INTERNOS
CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DE TRABALHO	CARACTERÍSTICAS DA TAREFA E EQUIPAMENTOS	FATORES PSICOLÓGICOS	CARACTERÍSTICAS INDIVIDUAIS
<ul style="list-style-type: none"> - Característica estrutural - Qualidade do ambiente de trabalho: <ul style="list-style-type: none"> - Temperatura - Umidade - Radiação - Perturbação sonora - Vibração - Limpeza - Hora de trabalho/ Hora de descanso - Mudança de turnos - Disponibilidade de equipamentos e ferramentas especiais - Estrutura organizacional: <ul style="list-style-type: none"> - Autoridade - Responsabilidade - Canais de Comunicação - Política organizacional da empresa - Prêmios e benefícios 	<ul style="list-style-type: none"> - Percepção exigida na tarefa - Movimentos exigidos na tarefa: <ul style="list-style-type: none"> - Velocidade - Força - Precisão - Atenção aos sinais de alerta - Solicitação antecipada - Interpretação - Tomada de decisão - Complexidade - Estreiteza da tarefa - Frequência e repetitividade - Criticalidade da tarefa - Capacidade de memória exigida para execução da tarefa: <ul style="list-style-type: none"> - Termos exigidos durante muito tempo na memória - Termos exigidos durante pouco tempo na memória 	<ul style="list-style-type: none"> - Surpresa inicial - Duração do estresse - Velocidade da tarefa - Carga de atividade - Riscos na execução da tarefa - Ameaças: <ul style="list-style-type: none"> - De fracasso - Perda do trabalho - Trabalhos monótonos - Trabalhos de longos e sem sentido - Conflitos de avaliação de desempenho do trabalho - Ausência de reforço ou reforço negativo - Senso de privação - Distração por: <ul style="list-style-type: none"> - Barulho - Luminosidade - Movimento - Tela trêmula - Cor - Dicas inconsistentes 	<ul style="list-style-type: none"> - Treinamento prévio/experiência - Estado prático atual ou destreza - Personalidade e inteligência variável - Motivação e atitude - Estado emocional - Estresse (mental ou tensão corpórea) - Conhecimento do desempenho necessário padrão - Diferença sexual - Condição física - Atitude baseada na influência da família, em outras pessoas de fora da família ou agências - Identificação do grupo
		FATORES FISIOLÓGICOS	
FATORES ORGANIZACIONAIS	<ul style="list-style-type: none"> - Requisito matemático - <i>Feedback</i> - Atividade dinâmica vs passo a passo - Estrutura e comunicação da equipe - Fatores de interface homem-máquina: <ul style="list-style-type: none"> - Projeto do primeiro equipamento - Teste do equipamento - Fabricação do equipamento - Ajuda no trabalho - Ferramentas 	<ul style="list-style-type: none"> - Duração do estresse - Fadiga - Dor ou desconforto - Fome ou sede - Temperatura extrema - Radiação - Força G extrema - Pressão atmosférica Externa - Oxigênio insuficiente - Vibração - Restrição de movimento - Falta de exercício físico - Interrupção do ritmo cardíaco 	

3.4 Descrição da Tarefa

Dentre os vários métodos de Descrição da Tarefa existentes, selecionou-se o *Hierarchical Task Analysis* (HTA), uma metodologia capaz de melhorar o entendimento das atividades que integram um determinado trabalho. Segundo Kirwan & Ainsworth (1992), HTA é um método sistemático que descreve e organiza as tarefas que deverão ser executadas no decorrer de um trabalho.

A HTA inicia-se com a definição da meta a ser atingida. Após a definição da meta, estabelecem-se os planos que contém as tarefas seqüenciadas para a se obter a realização da meta. Para cada uma dessas tarefas determina-se suas sub-tarefas, indicando quando as mesmas forem simultâneas. O analista decide a que nível de detalhamento das sub-tarefas deve-se chegar. Dessa forma, a partir da construção da HTA os Eventos Iniciadores dos DSEs podem ser caracterizados.

4 HISTERECTOMIA VAGINAL

Abaixo é descrita brevemente a anatomia da genitália feminina para uma melhor compreensão da técnica cirúrgica que será analisada nas seções subseqüentes.

4.1 Anatomia Genital Feminina

De acordo com Rock & Thompson (1999) a pelve feminina pode ser dividida espacialmente em duas porções: a genitália externa e a genitália interna.

4.1.1 Genitália Externa

A genitália externa, também conhecida como *vulva*, é subdividida nas seguintes partes:

- *Grandes Lábios*: são pregas cutâneas ricas em tecido adiposo que formam as porções laterais da *vulva*, possuem glândulas sudoríparas e sebáceas. São provenientes do Monte de Vênus e recobrem o intróito vaginal. A parte externa dos grandes lábios é recoberta por pêlos.
- *Pequenos Lábios*: são constituídos de duas pregas finas, ricas em vasos sanguíneos. Possui grande quantidade de glândulas sebáceas, não possuindo glândulas sudoríparas. Os pequenos Lábios são usualmente recobertos pelos Grandes Lábios, eles se estendem do prepúcio do Clitóris se unindo aos Grandes Lábios na comissura posterior.
- *Hímen*: é uma membrana irregular que cobre parcialmente o intróito vaginal, sua forma e espessura variam de pessoa para pessoa.
- *Clitóris*: é um corpo cilíndrico e erétil localizado na parte na borda inferior da sínfise púbica. É o órgão homólogo ao pênis no corpo masculino.
- *Vestíbulo*: é uma fenda entre os pequenos lábios que vai do Clitóris à região posterior do Hímen. É no Vestíbulo que se localizam o meato uretral, o intróito vaginal e as glândulas de Bartholin.
- *Meato Uretral*: orifício por onde sai a urina.
- *Intróito Vaginal*: é a abertura da vagina na vulva.
- *Glândulas de Bartholin*: são glândulas sebáceas que têm função de lubrificação da genitália durante o ato sexual.
- *Monte de Vênus*: coxim gorduroso, que diminui o impacto durante a relação sexual, está localizado acima do Prepúcio Clitoriano.

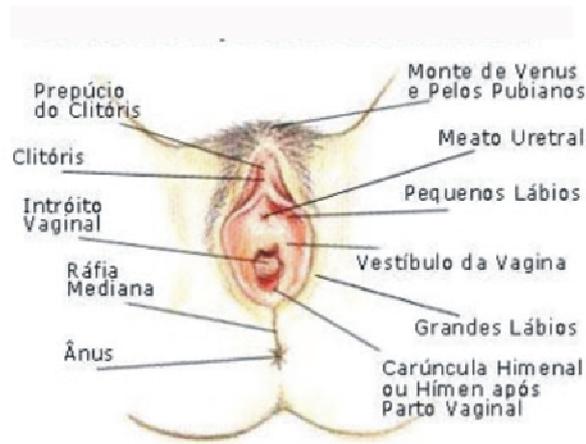


Figura 4.1 – Representação da Genitália Externa

4.1.2 Genitália Interna

A genitália interna é formada pela vagina, útero, trompas uterinas e ovários.

- *Vagina*: é um órgão tubular elástico, responsável pela cópula, que comunica o útero ao meio externo. A sua média de tamanho é de aproximadamente 10cm. Sua musculatura é lisa e é recoberta por uma mucosa formada de epitélio escamoso e apresenta uma grande resposta aos estímulos hormonais. É irrigada na sua porção superior pela artéria vaginal, já sua porção inferior é irrigada pelos vasos hemorroidários e de ramos da artéria pudenda.
- *Útero*: é um órgão muscular interno localizado entre o reto e a bexiga, comunicando-se diretamente com a vagina na sua parte inferior e com as trompas na sua parte superior. Suas medidas aproximadas são de 7 x 5 x 2,5 cm. O órgão é dividido em quatro regiões: fundo uterino, istmo, corpo e colo uterino. O útero normalmente é um órgão móvel, estando fixo à parede pélvica lateral e é sustentada por vários ligamentos, como o ligamento largo, a mosossalpinge e o ligamento infundíbulo pélvico. É neste órgão onde se desenvolvem os fetos durante todo o período da gravidez.
- *Trompas Uterinas*: conhecidas também como Trompas de Falópio, são estruturas tubulares bilaterais com aproximadamente 10 cm de extensão. Podem ser divididas em três porções: Intersticial, que é responsável pelo contato direto com a cavidade uterina, ístmica, que é a porção menos estreita da trompa. E a ampola, porção mais longa que leva os dois tubos a se abrem no ovário.

- **Ovários:** são estruturas sólidas de cor rosa-acinzentada, situadas lateralmente ao útero. É ligado inferiormente às trompas uterinas. Possuem forma ovóide e medem aproximadamente 5 x 2 x 2 cm e pesando de 4 a 8 g. Esse tamanho varia de acordo com a idade da paciente e da fase do ciclo menstrual da mesma. Os ovários são irrigados pelas artérias ovarianas e por ramos ovarianos da artéria uterina, e sua sustentação é feita pelos ligamentos suspensos do ovário, ligamento ovariano, mesovário, ligamento uterovariano e ligamento infundibulopélvico.

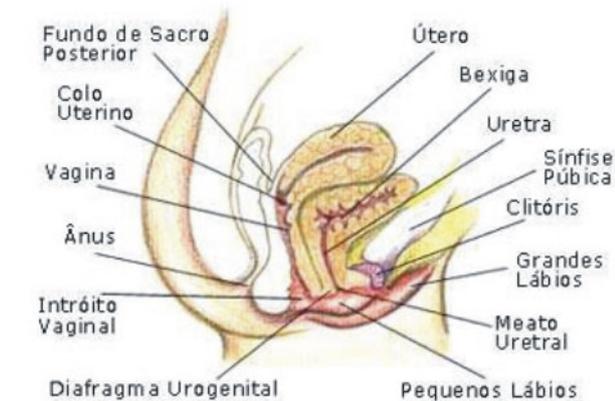


Figura 4.2 – Representação da Genitália Interna

4.2 Histórico da Histerectomia

Até o século XIX não houveram avanços significativos nas técnicas de histerectomia, entretanto estão registrados vários relatos deste procedimento anteriormente a esta data. A histerectomia vaginal foi realizada muitos séculos antes de qualquer registro de cirurgia por via abdominal. As primeiras referências à técnica vaginal, feitas por Hipócrates, datam do século V aC. Já em 1517 o italiano Jacopo Berengario, realizou cirurgias de histerectomia vaginal, adaptando a técnica desenvolvida por seu pai. Em 1600, Schenck de Granbenberg relatou 26 casos de histerectomia vaginal. Todas essas primeiras cirurgias foram realizadas devido a prolapso ou inversão uterina, pois os médicos ou parteiras da época não reconheciam a natureza do útero invertido, cortando-o imprudentemente.

Contudo, os relatos de cirurgia tornam-se esporádicos durante o século XVII e XVIII. O século XIX inicia-se com os cirurgiões retomando a técnica e a realizando em vários países como França, Alemanha, Inglaterra e Estados Unidos. Sendo obtidos resultados bem sucedidos para o tratamento do câncer de útero. Segundo Rock & Thompson (1999) no final

deste século a técnica de histerectomia vaginal foi sistematicamente estudada e desenvolvida por Czerny, Billroth, Mikulicz, Schoroeder, Kocher, Teuffel e Spencer Wells.

Paralelamente à técnica vaginal foi desenvolvendo-se a histerectomia abdominal. Entretanto, cirurgia por via abdominal só evoluiu a partir do momento em que os cirurgiões passaram a ter o controle da dor, controle da infecção e controle da hemorragia. Pois antes deste momento as taxas de mortalidade eram cerca de 80% a 90%. O controle pleno destes parâmetros aconteceram no século XX, o que tornou a histerectomia abdominal, como já mencionado anteriormente, na segunda cirurgia de grande porte mais realizada no mundo.

Dessa forma a HA foi o tipo de intervenção que dominou a medicina durante o século passado. Entretanto, com os avanços nos materiais utilizadas nos instrumentais cirúrgicos a HV voltou à tona no início da década de 80. Com o aprimoramento da técnica, como já foi mencionado anteriormente, vários cirurgiões passaram a utilizar a HV e, como já mencionado, os resultados para esta técnica são mais favoráveis.

A partir desta breve revisão histórica, observa-se que a cirurgia de histerectomia evoluiu consideravelmente nos últimos 150 anos. É mais importante, passou de uma cirurgia de altíssimo risco e feita com pequena frequência para uma modalidade terapêutica muito importante e de grande porte, que pode salvar vidas das pacientes, bem como melhorar a sua saúde, desde que haja uma correta seleção da técnica a ser aplicada e que haja um preparo adequado da paciente e do corpo clínico envolvido no procedimento cirúrgico.

4.3 Indicações e contra-indicações para o procedimento cirúrgico

Como descrito anteriormente, o número de intervenções por via genital vem se multiplicando nos últimos anos, dado que esta técnica apresenta as mesmas vantagens da cirurgia vídeo-assistida, sem os inconvenientes das anestesia geral, maior permanência da paciente no EAS, e os altos custos de instrumental e material especializado para cirurgias assistidas por imagens. Aponta-se como outras vantagens da HV sobre a histerectomia abdominal os seguintes fatores: menor tempo de cirurgia, menor incidência de íleo paralítico e aderências, menor intensidade dolorosa e retorno mais rápido as atividades. Maior facilidade para correção das distopias genitais, menor tempo de internação e custo hospitalar, menor incidência de complicações e taxa de mortalidade.

Abaixo são apontadas as indicações para a realização da Histerectomia:

1. Sangramento uterino disfuncional não responsivos a medicações.

2. Miomatose sintomática .
3. Dismenorréia severa
4. Hiperplasia endometrial.

As contra-indicações para a HV são as seguintes:

1. Mobilidade uterina ausente ou muito comprometida mesmo após a anestesia.
2. Amplitude vaginal menor do que 3cm.
3. Úterus com configuração em bola de canhão (aumento difuso com volume maior do que 300cm³).
4. História de suspensão uterina prévia principalmente fixação ventral a parede abdominal.
5. Endometriose, DIP, fundo de saco ocupado.
6. Abscesso tubo-ovariano.
7. Patologias malignas uterinas, das trompas ou dos ovários.

Antes da realização da cirurgia é de fundamental importância a equipe cirúrgica ter em mãos os seguintes exames da paciente: ABO/Rh, hemograma, glicemia, creatinina, coagulograma, sumário de urina, citologia oncológica, Ultrassom transvaginal, eletrocardiograma, raio x de tórax em PA e perfil, estudo endometrial.

4.4 Descrição do procedimento cirúrgico

O procedimento cirúrgico é detalhadamente descrito durante a apresentação da descrição da tarefa no Capítulo 5.

5 CARACTERIZAÇÃO DOS RISCOS NO PROCEDIMENTO DE HISTERECTOMIA VAGINAL

5.1 Metodologia Proposta

O fluxograma da Figura 5.1 apresenta a metodologia proposta para o desenvolvimento da avaliação probabilística do risco num procedimento cirúrgico em geral. Entretanto ele é desenvolvido baseado na análise da Histerectomia Vaginal.



Figura 5.1 – Metodologia Proposta

A primeira etapa é constituída da familiarização com o procedimento a ser estudado. É neste momento que se adquire conhecimento necessário para se começar a fazer as análises qualitativas do processo. A principal maneira de adquirir esse conhecimento, caso o analista não seja um especialista na área, é a observação do procedimento bem como a troca de informações com especialistas que atuam na área.

Após a familiarização constrói-se as HTAs do processo que, como já definido anteriormente, é uma descrição hierárquica das tarefas envolvidas no processo de forma a descrevê-las e organizá-las sistematicamente. Paralelamente, são feitas as tabelas que descrevem cada etapa da HTA, identificando a tarefa realizada, os operadores envolvidos, a suas respectivas localizações, suas ações e os possíveis erros decorrentes de uma execução errônea da tarefa estabelecida.

5.1.1 Análise Qualitativa

As etapas da análise qualitativa são compostas pela construção dos Diagramas de Sequência de Eventos, das Árvores de Falhas e das redes Bayesianas, que são baseados nas coletas de informação desenvolvidas na etapa anterior. A integração destas etapas formam o modelo causal híbrido, que será descrito detalhadamente no próximo tópico.

5.1.1.1 Modelo Causal Híbrido

O modelo probabilístico de risco é híbrido pois é baseado na integração dos diagramas de seqüências de eventos, árvore de falhas e redes Bayesianas dinâmicas. Nesta modelagem os eventos pivotais dos DSEs relacionados a erros humanos, ou seja, resultantes diretamente de ações humanas, são modelados via redes Bayesianas. Enquanto que os eventos pivotais relacionados à falha de equipamentos são modelados via árvore de falhas.

Os DSEs são usados para caracterizar a evolução temporal de forma dinâmica das etapas do procedimento cirúrgico. Por meio das HTAs pode-se identificar e caracterizar as relações causais de cada cenário e seqüência de eventos. Este fato é importante não apenas para caracterizar os riscos, como também para reduzi-los, pois sabendo suas causas torna-se viável eliminar ou mitigar os riscos.

5.1.1.2 Etapas da análise qualitativa

Na primeira etapa são definidos os estados finais e os eventos pivotais do DSE, caracterizando as relações causais dos cenários e das seqüências de eventos existentes no procedimento. Para os eventos pivotais relacionado às falhas em equipamentos, o modelo de confiabilidade baseado em árvore de falhas é aplicado. Construindo-se a AF correspondente a cada equipamento envolvido.

A próxima etapa qualitativa é a fase de identificação dos fatores de desempenho relevantes ao corpo clínico que participa do procedimento cirúrgico. Estes FDs são a base para a construção do modelo de confiabilidade humana baseado em Redes Bayesianas Dinâmicas para o cirurgião e dos seus dois auxiliares diretos.

A última etapa da análise qualitativa consiste na modelagem dos eventos pivotais relacionados a erros humanos, ou seja, na construção das redes Bayesianas dinâmicas dos fatores de desempenho para os integrantes dos cenários estabelecidos.

5.1.2 Análise Quantitativa

Devido à escassez de dados empíricos relativos ao desempenho humano durante o procedimento de Histerectomia Vaginal, teve-se que recorrer à opinião de especialistas para se obter as probabilidades das redes Bayesianas.

A fim de alimentar as RBs do sistema com suas probabilidades foram feitas entrevistas com os especialistas, conhecidas como elicitacões, para obter-se estas probabilidades. Neste trabalho foi utilizado, como será mencionado adiante, o método de elicitacão direta onde cada especialista atribui uma probabilidade para um cenário mais pessimista, mais otimista e um

mais freqüente. Estes valores são tratados por uma distribuição lognormal, onde a partir desta encontra-se o valor da mediana e do fator de erro calculado para cada resposta do especialista. A depender da confiança que o analista tem sobre o especialista atribui-se inicialmente um fator de erro (k) para o mesmo, este valor será levado em consideração no cálculo do fator de erro, como pode ser visto em Droguett et al. (2004).

De posse dos valores da mediana e do fator de erro para cada resposta de cada especialista, e sobre cada probabilidade da RB do modelo de confiabilidade humana as opiniões são processadas via modelo Bayesiano de variabilidade populacional proposto por Droguett et al. (2004).

Uma vez definidos os modelos híbridos de todas as etapas dos procedimentos e de posse dos dados das probabilidades dos nós folha e das tabelas de probabilidade condicional das redes Bayesianas dinâmicas do cirurgião e dos auxiliares, obtidos a partir da elicitação dos mesmos, calcula-se através do simulador de modelos híbridos as probabilidades dos estados finais de cada etapa.

As dependências entre os estados de cada etapa são modeladas de forma que os possíveis estados finais da etapa imediatamente anterior influenciam diretamente sobre a probabilidade de erro humano durante a execução da tarefa subsequente. Para tanto se adiciona um nó à RB original, representando uma variável de como foi concluída a etapa anterior. Este nó é ligado diretamente ao nó folha nas redes do cirurgião e de seus auxiliares, alterando-se assim a probabilidade de erro humano na etapa atual da seqüência de eventos. Dessa forma a acumulação do histórico do procedimento se dá lincando os possíveis estados finais do passo anterior com as RBs dos fatores de desempenho da atual etapa do procedimento, conforme pode ser observado na Figura 5.2. Este fato gera uma dependência direta entre todas as etapas dos diagramas de seqüências de eventos, pois cada etapa estará ligada a anterior através das probabilidades de erro humano, que por sua vez foram alteradas pelo nó que representa os possíveis estados finais da etapa anterior.

As probabilidades de sucesso e erros correspondentes aos estados finais são ligados diretamente ao nó final da RB do Cirurgião e ao nó final da RB do Auxiliar, alterando-se a chance de sucesso ou erro humano na execução de cada uma das tarefas, a cada etapa do processo. Com isso, as probabilidades dos eventos pivotais relacionados a erros humanos de cada DSE é gerada a partir das redes Bayesianas dinâmicas dos FD, podendo-se, como será mostrado posteriormente, fazer uma análise de sensibilidade de quais fatores de desempenho ou etapas do procedimento cirúrgico mais afetam o resultado final da mesma.

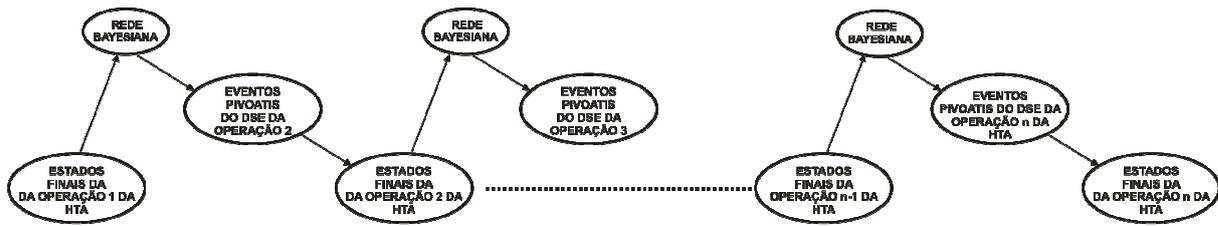


Figura 5.2 – Modelo de integração causal híbrido

O mesmo tipo de raciocínio é adotado para os eventos pivotais relacionados à falha nos equipamentos utilizados. Entretanto, os possíveis estados finais da etapa anterior irão influenciar o evento básico da árvore de falha que corresponde à execução do trabalho com o equipamento. Portanto devido à dependência modelada entre as etapas do processo, o sucesso ou falha na cirurgia será mensurado no último passo do procedimento.

5.2 Descrição da tarefa para o procedimento cirúrgico

Nesta seção são desenvolvidas e explicadas todas as HTAs envolvidas ao longo da cirurgia de Histerectomia Vaginal Total, que vão desde a preparação da sala cirúrgica até a recuperação pós-anestésica da paciente.

Para a Histerectomia Vaginal na ausência de prolapso uterino as HTAs foram desenvolvidas a partir de informações coletadas através da observação da técnica, bem como da troca de informações com a equipe técnica da cirurgia. Abaixo estão ilustradas as HTAs dos pontos considerados de mais relevância para a avaliação probabilística do risco durante o procedimento.

A Figura 5.3 apresenta a visão global da cirurgia, onde a meta final estabelecida pelo analista é a conclusão da Histerectomia Vaginal. Este processo inicia-se com a etapa de preparação da sala de cirurgia, na qual o espaço físico e os equipamentos que compõem o ambiente são limpos e organizados para a realização do procedimento. A sub-etapa 1.2 é a esterelização dos instrumentais cirúrgicos, que é feito na Central de Esterelização do Hospital. Neste local os instrumentais são submetidos a um equipamento conhecido como Autoclave, que gera altas temperaturas para assim eliminar bactérias dos materiais, assim desinfetando-os. Passada esta esterelização os instrumentos retornam à sala cirúrgica e estão aptos para o uso. A etapa 1.3 é a descrição do procedimento cirúrgico, e está desmembrada em outra HTA. Já a etapa 1.4 é a etapa pós-cirúrgica, que consiste inicialmente na recuperação pós-anestésica da paciente e vai até a saída da mesma do hospital.

O segundo módulo das HTAs (Figura 5.4) mostra de uma forma geral as quatro etapas básicas de um procedimento cirúrgico, seja ele uma Histerectomia ou um outro procedimento qualquer.

A HTA do procedimento anestésico é mostrada na Figura 5.5. O responsável por esta etapa é o anestesista da equipe médica, ele inicialmente verifica os equipamentos que serão utilizados durante o procedimento cirúrgico. Em seguida instala-se a monitorização na paciente, checando-se seus sinais vitais: frequência cardíaca, pressão arterial não-invasiva e a saturação periférica da hemoglobina pelo oxigênio (SpO₂). Havendo alguma anormalidade nestes parâmetros observados, o anestesista toma a decisão de aplicar alguma droga relaxante. Se este for o caso ele espera o efeito da droga, e refaz a verificação dos sinais vitais. Caso a primeira verificação tenha sido positiva, faz-se uma punção venosa na paciente e hidratação com uma solução de Ringer com Lactato. O procedimento anestésico adotado é o peridural, com posicionamento da paciente na posição sentada, preparação da pele com solução de álcool iodado, colocação de campo, anestesia local com lidocaína a 2% através do espaço intervertebral entre L₂-L₃ e punção com agulha de Tuohy. Paralelamente à execução da cirurgia, o anestesista acompanha todos os parâmetros vitais da paciente e verifica a necessidade ou não de mais sedação.

Apesar da anestesia ser uma etapa fundamental dentro de qualquer procedimento cirúrgico ela não será foco deste trabalho, que visa fazer neste primeiro momento, apenas uma avaliação probabilística do risco para o procedimento cirúrgico em si. Ficando, assim, a integração entre a anestesia e o procedimento cirúrgico uma tarefa para um próximo trabalho.

A quarta HTA apresentada discrimina os passos da histerectomia vaginal na ausência de prolapso uterino, tendo os campos 1.3.3.3 e 1.3.3.8 descartados por não serem causadores de risco para o procedimento de acordo com a equipe médica especialista consultada.

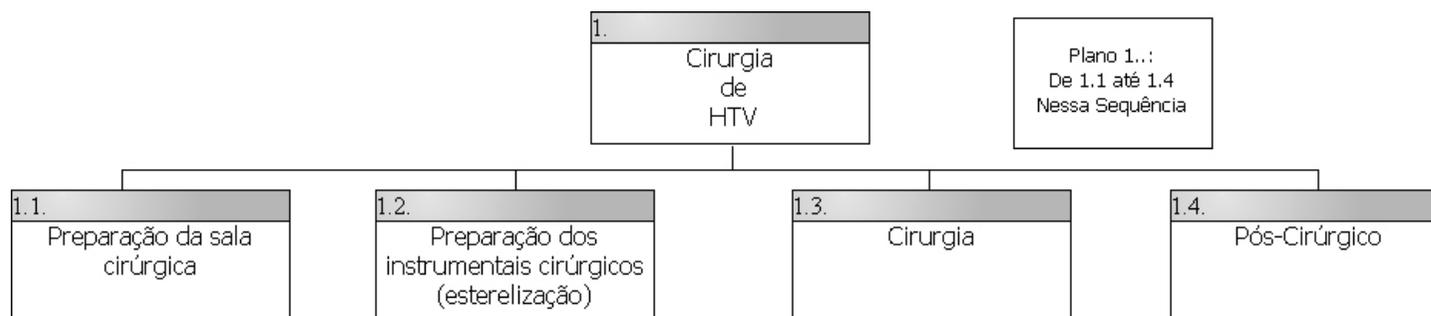


Figura 5.3 - HTA da Cirurgia de HTV

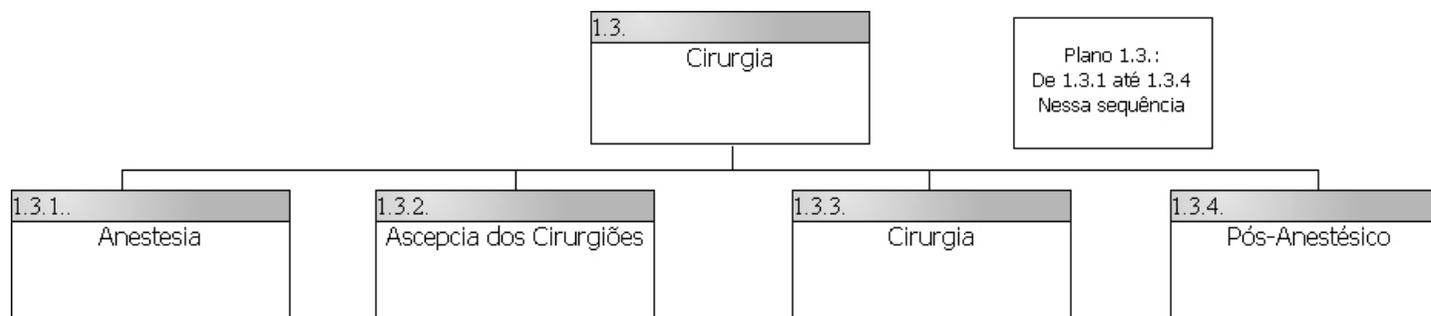


Figura 5.4 - HTA do Procedimento Cirúrgico



Figura 5.5 - HTA do Procedimento Anestésico

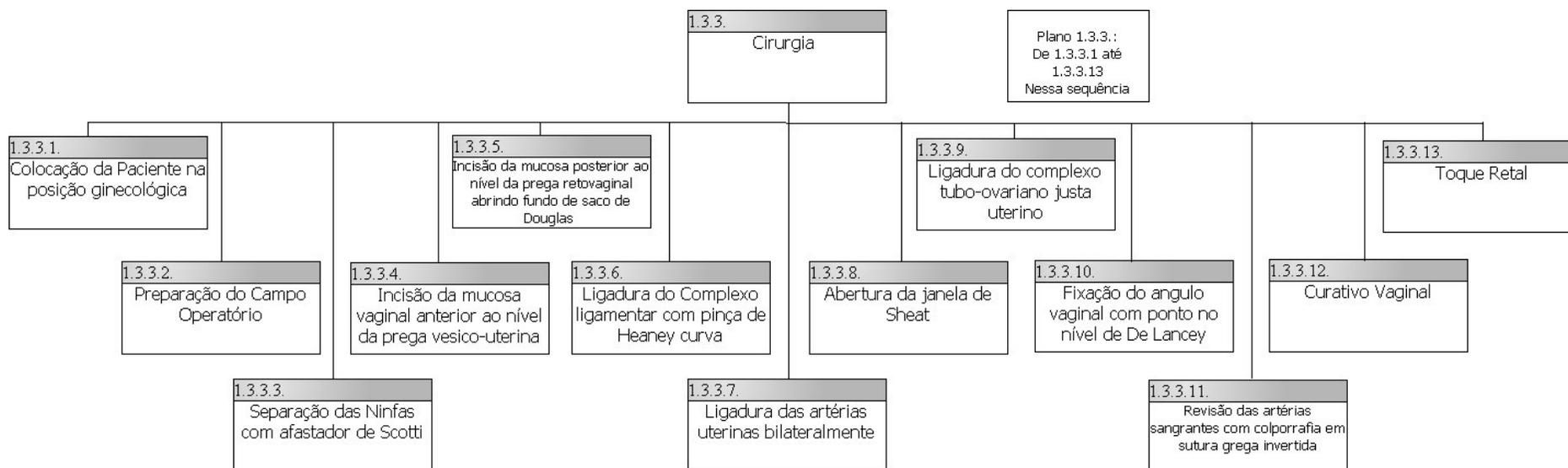


Figura 5.6 - HTA discriminada do procedimento cirúrgico

5.2.1 Etapas da HTA da Cirurgia

As tabelas de 5.1 a 5.10 caracterizam os passos da HTA do procedimento de histerectomia vaginal. Deve-se ressaltar que na coluna de localização, o cirurgião sempre situa-se na posição central, ficando sempre o primeiro auxiliar à esquerda do cirurgião e o segundo auxiliar à direita. Logo abaixo a cada tabela encontram-se discriminadas as conseqüências caso não haja sucesso na execução das tarefas.

Passo 1.3.3.1- Colocação da Paciente em Posição Ginecológica

Tabela 5.1 - Colocação da Paciente na posição ginecológica

Tarefa	Responsável	Localização	Ação	Erro
Posição Ginecológica	1º Auxiliar	à esquerda	Colocação da mesa cirúrgica e das perneiras na posição adequadas, proporcionando Abdução da coxa e Hiperextensão dos membros inferiores	Posicionamento incorreto
	2º Auxiliar	à direita	Ajudar ação do 1º auxiliar	Ajuda incorreta
	Cirurgião	Central	Supervisionar	Supervisão inadequada

Como conseqüência de um posicionamento ginecológico inadequado, aumenta o grau de dificuldade na aplicação da técnica cirúrgica, bem como pode provocar lesões nos nervos

Passo 1.3.3.2 – Assepsia e preparação do campo operatório

Tabela 5.2 - Assepsia da Paciente

Tarefa	Responsável	Localização	Ação	Erro
Assepsia	Instrumentadora	Frontal à paciente	Assepsia do campo operatório	Assepsia ineficaz
	Cirurgião	Central	Supervisionar	Supervisão Inadequada

A conseqüência de uma assepsia inadequada pode propiciar à paciente uma maior chance de contrair uma infecção, durante o seu pós-operatório.

Passo 1.3.3.4 – Incisão da mucosa vaginal anterior ao nível da prega véscico-uterino

Tabela 5.3 - Incisão da mucosa vaginal anterior

Tarefa	Responsável	Localização	Ação	Erro
Identificação e Incisão da Mucosa Anterior	1º Auxiliar	à esquerda	Ajuda nas manobras de identificação da prega vésico-uterino	Ajuda ineficaz
	2º Auxiliar	à direita	Ajuda nas manobras de identificação da prega vésico-uterino	Ajuda ineficaz
	Cirurgião	Central	Identificação da prega vésico-uterino	Falsa identificação
			Incisão da mucosa anterior	Incisão incorreta

Uma identificação incorreta da prega vésico-uterino pode levar a uma incisão incorreta na mucosa. Esta pode gerar uma lesão acidental na bexiga.

Passo 1.3.3.5 – Incisão da mucosa posterior ao nível da prega retovaginal abrindo fundo de Saco de Douglas e identificação do segmento ligamentar cardinal útero-sacro

Tabela 5.4 - Incisão da mucosa vaginal posterior

Tarefa	Responsável	Localização	Ação	Erro
Identificação e Incisão da Mucosa Posterior	1º Auxiliar	à esquerda	Ajuda nas manobras de identificação da prega retovaginal	Ajuda ineficaz
	2º Auxiliar	à direita	Ajuda nas manobras de identificação da prega retovaginal	Ajuda ineficaz
	Cirurgião	Central	Identificação da prega retovaginal	Falsa identificação
			Incisão da mucosa posterior	Incisão incorreta

A falsa identificação pode levar a incisão incorreta da mucosa posterior gerando: Falso Trajeto e uma lesão intestinal.

Passo 1.3.3.6 – Ligadura do complexo ligamentar com pinça de Heaney curva (Etapa de Fixação da Vagina)

Tabela 5.5 - Ligadura do Complexo Ligamentar

Tarefa	Responsável	Localização	Ação	Erro
Ligadura do Complexo Ligamentar	1º Auxiliar	à esquerda	Oferecer Campo visual do lado direito	Campo operatório insuficiente
	2º Auxiliar	à direita	Oferecer Campo visual do lado esquerdo	Campo operatório insuficiente
	Cirurgião	Central	Ligadura do complexo com a pinça de Heaney	Ligadura (fixação) inadequada

A não fixação correta da vagina leva a um problema chamado de Vagina exteriorizada ou Prolapso de cúpula vaginal.

Passo 1.3.3.7 – Ligaduras das artérias uterinas bilateralmente

Tabela 5.6 - Ligadura das artérias uterinas

Tarefa	Responsável	Localização	Ação	Erro
Ligadura das Artérias	1º Auxiliar	à esquerda	Oferecer Campo visual do lado direito	Campo operatório insuficiente
	2º Auxiliar	à direita	Oferecer Campo visual do lado esquerdo	Campo operatório insuficiente
	Cirurgião	Central	Identificação das artérias	Falsa identificação
			Ligadura das artérias utilizando Bisturi Eletrônico	Cauterização arterial mal feita

As conseqüências para a não execução correta na ligadura das artérias são a Lesão no Ureter e Sangramento pela artéria uterina mal ligada.

Passo 1.3.3.9 – Ligação do complexo tubo-ovariano justa uterino

Tabela 5.7 - Ligação do complexo tubo-ovariano

Tarefa	Responsável	Localização	Ação	Erro
Ligadura do complexo tubo-ovariano	1º Auxiliar	à esquerda	Oferecer Campo visual do lado direito	Campo operatório insuficiente
	2º Auxiliar	à direita	Oferecer Campo visual do lado esquerdo	Campo operatório insuficiente
	Cirurgião	Central	Identificação das artérias	Falsa identificação

			Ligadura das artérias utilizando Bisturi Eletrônico	Cauterização arterial mal feita
--	--	--	---	---------------------------------

As conseqüências de erros na execução deste passo são: Lesão no Ovário e Sangramento pela artéria ovariana mal ligada.

Passo 1.3.3.10 – Fixação do ângulo vaginal com ponto no nível de De Lancey. (Depende diretamente de uma boa Execução do Passo 6)

Tabela 5.8 - Fixação do ângulo vaginal

Tarefa	Responsável	Localização	Ação	Erro
Ligadura do Complexo Ligamentar	1º Auxiliar	à esquerda	Oferecer Campo visual do lado direito	Campo operatório insuficiente
	2º Auxiliar	à direita	Oferecer Campo visual do lado esquerdo	Campo operatório insuficiente
	Cirurgião	Central	Fixação do ângulo vaginal através de sutura	Sutura mal executada

Como conseqüência a não execução de forma satisfatória da ligadura do complexo ligamentar a paciente pode vir a apresentar um prolapso de cúpula vaginal.

Passo 1.3.3.11 – Revisão de áreas sangrantes com colporrafia em sutura grega invertida

Tabela 5.9 - Revisão de áreas sangrantes

Tarefa	Responsável	Localização	Ação	Erro
Ligadura do Complexo Ligamentar	1º Auxiliar	à esquerda	Identificar áreas sangrantes do lado direito	Identificação ineficaz
	2º Auxiliar	à direita	Identificar áreas sangrantes do lado esquerdo	Identificação ineficaz
	Cirurgião	Central	Identificar áreas sangrantes	Identificação ineficaz
			Utilizar Bisturi para cauterizar áreas sangrantes	Não estancar áreas sangrantes

Se as áreas sangrantes não forem identificadas corretamente a paciente pode vir a ter que retornar à sala cirúrgica para um novo procedimento, por apresentar hemorragia.

Passo 1.3.3.12 – Toque Retal

Tabela 5.10 - Toque Retal

Operação	Responsável	Localização	Ação	Erro
Toque Retal	Cirurgião	Central	Identificar Lesões	Identificação ineficaz

A identificação ineficaz pode provocar alguma complicação posterior devido a alguma lesão, levando a paciente a retornar ao bloco cirúrgico.

5.3 Desenvolvimento de cenários e caracterização das relações causais via DSE e AF do procedimento cirúrgico

Nesta seção são desenvolvidos e descritos as seqüências de eventos e os seus correspondentes cenários. É de suma importância explicitar que neste trabalho considera-se que cada etapa do procedimento cirúrgico sempre ocorre, ou seja, $P(\text{Evento Iniciador})=1,0$.

Inicialmente, a fim de facilitar a análise, os estados finais dos DSE foram agrupados e definidos da seguinte forma:

- Sucesso: tarefa completada com sucesso, conforme planejamento estabelecido. Sem trazer nenhuma dificuldade futura ao procedimento.

- Erro 1: O mau posicionamento da paciente à posição ginecológica aumenta a dificuldade do procedimento cirúrgico. Pois dificulta o acesso à genitália interna, conseqüentemente aumentando o tempo do procedimento e fadiga da equipe cirúrgica. Também está englobado neste tipo de falha a questão de fornecimento de campo operatório não adequado ao cirurgião, visto que este problema leva a conseqüências idênticas as do mau posicionamento da paciente, e mais, a posição influencia diretamente a abertura do campo cirúrgico.

- Erro 2: Aumento na chance da paciente contrair uma infecção.

- Erro 3: São lesões causadas por falsa identificação nas pregas e/ou artérias gerando a possibilidade de falsos trajetos e conseqüentemente lesões em locais não desejados, ou mesmo a não identificação de áreas sangrantes durante a intervenção cirúrgica.

- Erro 4: São lesões causadas por incisões, ligaduras e cauterizações não eficazes podendo gerar por exemplo sangramento nas artérias uterinas e ovarianas.

- Erro 5: Gera um problema chamado de Vagina Exteriorizada, que também é conhecido como Prolapso de Cúpula Vaginal. Este é causado por uma fixação(ligadura) incorreta da vagina e sutura incorreta o ângulo vaginal.

5.3.1 Colocação da Paciente na posição ginecológica

Analisando-se a tarefa de colocar a paciente na posição ginecológica, observa-se que tem-se como primeiro evento pivotal o erro do 1º Auxiliar em colocar a mesa cirúrgica e as perneiras que dão sustentação as pernas da paciente na posição adequada para o cirurgião ter um campo operatório adequado. Como mencionado acima, um erro de posicionamento irá dificultar o andamento do processo cirúrgico, pois aumenta a dificuldade ao acesso dos órgãos femininos, o que leva a um aumento no tempo da cirurgia e conseqüente aumento na fadiga da equipe. O DSE desta tarefa está ilustrada na Figura 5.7.

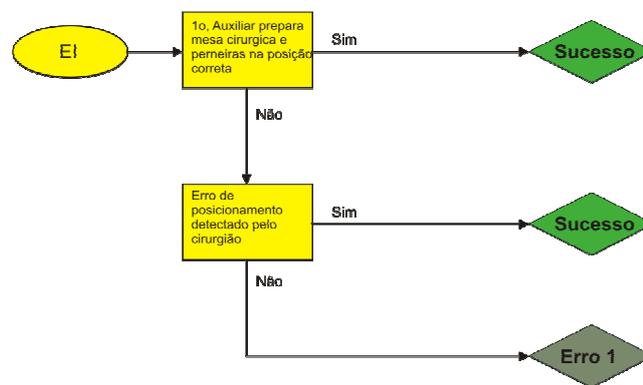


Figura 5.7 - DSE da colocação da paciente na posição ginecológica

5.3.2 Assepsia

Nesta etapa do procedimento o instrumentador realiza a assepsia do órgão genital feminino. A supervisão é feita pelo cirurgião, que indica se a tarefa foi ou não realizada corretamente. Uma assepsia não correta aumenta a chance da paciente desenvolver uma infecção após a cirurgia.

Apesar desta etapa ser relevante para o aumento ou diminuição da chance da paciente vir a contrair uma infecção, ela não será integrada junto as demais etapas do procedimento, pois esta só causará um efeito, a infecção, num momento posterior à cirurgia, o que não é o foco deste trabalho. Entretanto seu DSE foi montado afim de que em trabalhos futuros os riscos pós-operatórios também sejam modelados.

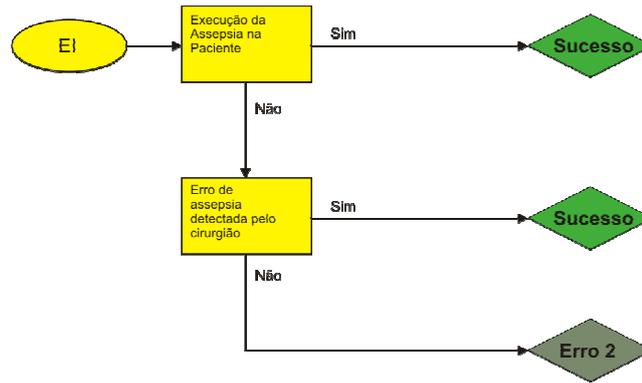


Figura 5.8 - DSE da Assepsia da Paciente

5.3.3 Incisão da mucosa vaginal anterior ao nível da prega véscico-uterino

A primeira etapa para a incisão da mucosa vaginal anterior é a correta identificação da prega véscico-uterina. Os dois cirurgiões auxiliares ajudam o cirurgião principal na identificação da prega. Caso haja uma falha de toda a equipe na identificação ocorre a falha na tarefa. Numa leitura de confiabilidade seria o caso de uma porta “OU”, onde se ao menos um membro da equipe identificar a prega a tarefa será efetuada corretamente, pois este avisará aos demais membros a exata localização da mesma. Sendo caracterizada uma identificação incorreta, o médico pode vir a fazer uma incisão no local errado, levando em alguns casos a uma lesão acidental na bexiga.

No momento em que a equipe cirúrgica identifica a prega, o cirurgião utilizando-se de uma lâmina de bisturi faz a incisão na mucosa vaginal anterior. Existindo um erro na incisão, caracteriza-se um erro descrito anteriormente como o tipo 4, podendo esta levar a sangramentos na área, os quais podem ou não ser identificados no momento ou posteriormente no passo da Identificação das Áreas sangrentas.

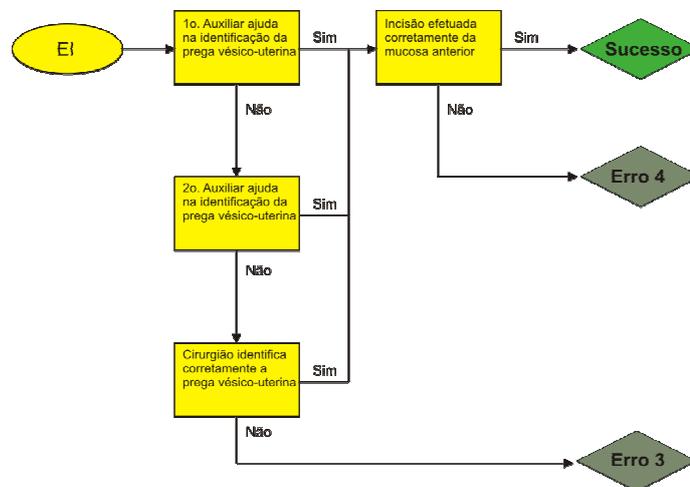


Figura 5.9 - DSE Incisão da Mucosa Vaginal Anterior

5.3.4 Incisão da mucosa posterior ao nível da prega retovaginal

Assim como na etapa de incisão da mucosa anterior, para a incisão da mucosa posterior ser efetuada corretamente é necessário que inicialmente os cirurgiões identifiquem a prega retovaginal com precisão. Caso nenhum dos três faça a identificação adequada, a incisão pode ser feita num local inapropriado. Como exemplo, pode-se citar uma lesão intestinal tendo como fonte geradora um falso trajeto dado a localização da prega não foi precisa.

No momento em que a prega retovaginal está devidamente identificada, parte-se para a etapa de incisão da mucosa vaginal posterior abrindo-se o fundo de Saco de Douglas. O erro na incisão leva à um erro tipo 4, já mencionada anteriormente.

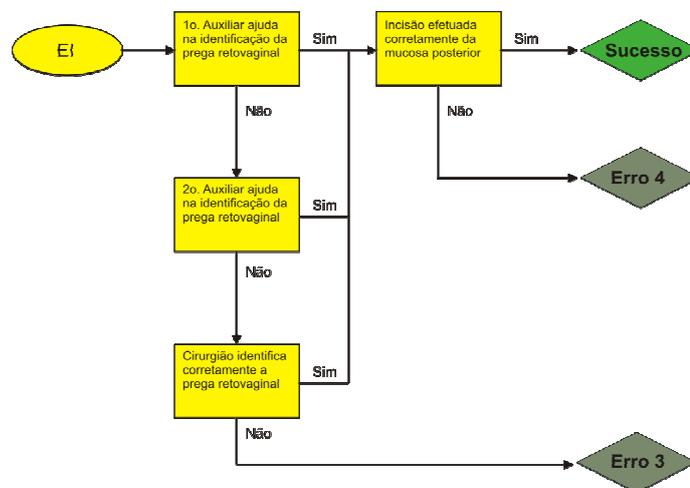


Figura 5.10 - DSE da Incisão da Mucosa Posterior

5.3.5 Ligadura do Complexo Ligamentar

Nesta etapa do procedimento cirúrgico, a função dos auxiliares é oferecer um campo de visão cirúrgico adequado para o cirurgião. Cabe ao 1º auxiliar que está posicionado à direita do cirurgião oferecer o campo deste lado, da mesma forma para o 2º auxiliar que está posicionado à esquerda. Caso a visão do campo cirúrgico não seja a mais apropriada, irá gerar uma maior dificuldade em acessar o Complexo Ligamentar, conseqüentemente aumentando o tempo para a realização desta tarefa, o que aumenta diretamente a fadiga da equipe e a chance de cometer-se um erro. A ligadura do complexo ligamentar é efetuada pelo cirurgião com a Pinça de Heaney, vide Figura 5.12. A ligação não eficiente do complexo traz um problema conhecido como prolapso de cúpula vaginal, que é a exteriorização da vagina. O útero é considerado sem prolapso, quando o colo não ultrapassa uma linha imaginária ao nível das espinhas isquiáticas.

Esta etapa do processo está diretamente ligada ao sucesso do passo 10 (Fixação do ângulo vaginal), e será modelado de forma que a probabilidade do erro tipo 5 ocorrer incidirá diretamente nos eventos pivotais do DSE do passo 10 (vide Figura 5.15 - DSE da Fixação do ângulo vaginal), ficando o nó que será ligada as RBs do cirurgião e dos auxiliares na próxima etapa do procedimento com as variáveis sucesso e o erro 1.

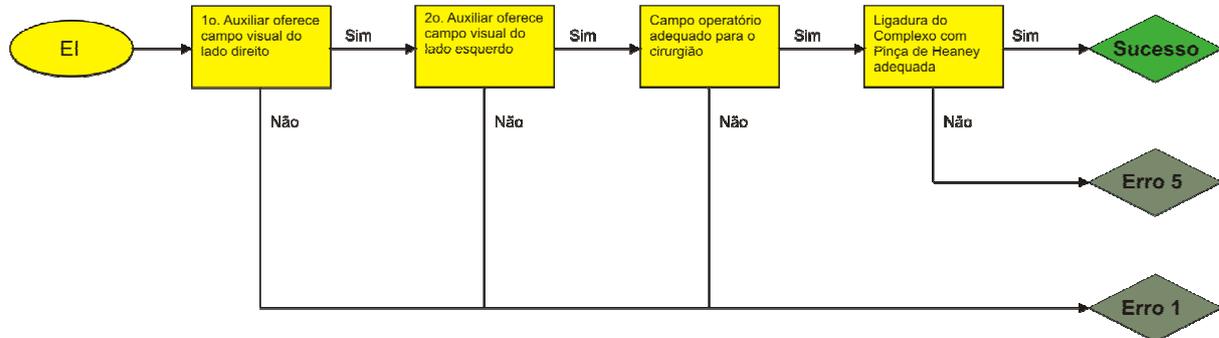


Figura 5.11 - DSE da Ligadura do Complexo Ligamentar



Figura 5.12 - Pinça de Heaney

5.3.6 Ligadura das Artérias Uterinas

Da mesma forma que a tarefa anterior, os auxiliares têm que continuar a fornecer campo cirúrgico apropriado para o cirurgião. Entretanto, nesta etapa da cirurgia a identificação das artérias uterinas é feita pelo cirurgião. Caso as artérias não sejam identificadas corretamente o erro tipo 3 acontece, o que pode levar em alguns casos lesões no Ureter.

A ligadura das artérias uterinas é feita através de um Bisturi Eletrônico². A condição de falha no equipamento será introduzida na análise do sistema por meio da Árvore de Falhas que modela a confiabilidade deste equipamento. A probabilidade de falha no evento pivotal ligadura das artérias uterinas é dado pela probabilidade do evento topo da AF do bisturi.

² Bisturi Eletrônico – equipamento eletrônico que gera altas frequências (RF) utilizado para realizar cortes, cauterizações e coagulações nos pacientes.

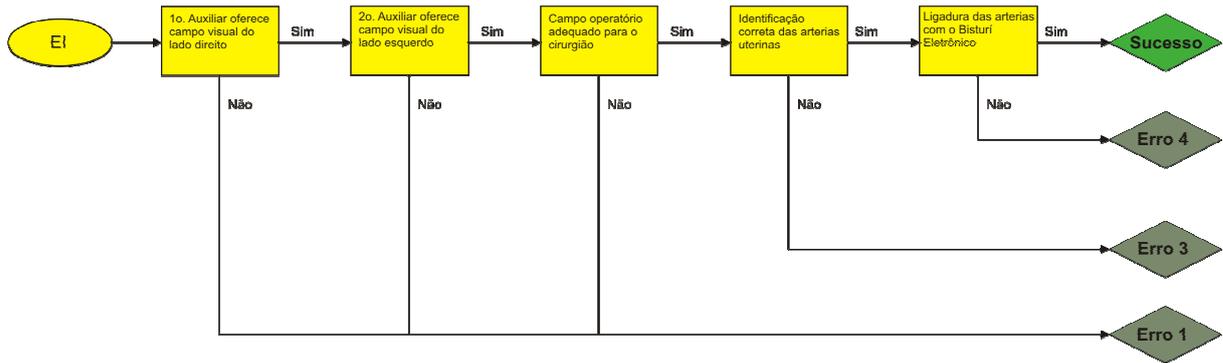


Figura 5.13 - DSE da Ligadura das Artérias Uterinas

5.3.7 Ligação do Complexo Tubo-Ovariano

Esta etapa do procedimento é bastante similar as duas anteriores. O cirurgião é encarregado de identificar as artérias ovarianas corretamente, caso isto não ocorra podem ocorrer lesões no ovário, caracterizadas como erros tipo 3. Para a etapa de ligadura das artérias o bisturi eletrônico é novamente utilizado, sendo, como já mencionado no tópico anterior, a probabilidade do evento pivotal ligadura das artérias tubo-ovarianas proveniente do evento topo da AF do bisturi.

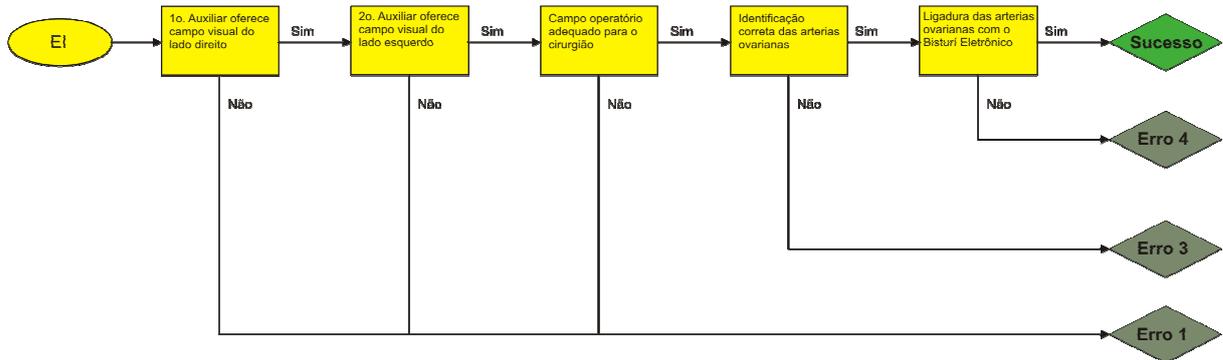


Figura 5.14 - DSE da Ligação do Complexo Tubo-Ovariano

5.3.8 Fixação do Ângulo Vaginal

Esta etapa da cirurgia, como já dito anteriormente, depende diretamente da execução correta da ligadura do complexo ligamentar. Esta dependência é modelada no DSE da Figura 5.15, pois são introduzidos eventos pivotais dado o sucesso ou erro na etapa de ligadura do complexo ligamentar. Portanto a chance do cirurgião errar a sutura do ângulo vaginal vai aumentar ou diminuir de acordo com o sucesso ou erro na etapa 5. Vale salientar que as dependências explicadas anteriormente que são modeladas influenciadas pelos estados finais da etapa anterior via RB ainda se mantém em todos os outros eventos pivotais do DSE.

Os auxiliares continuam a fornecer o cone de visão para o cirurgião, que fixa o ângulo vaginal através de uma sutura no local. No caso de uma sutura inadequada a paciente pode vir a apresentar a vagina exteriorizada (erro tipo 5).

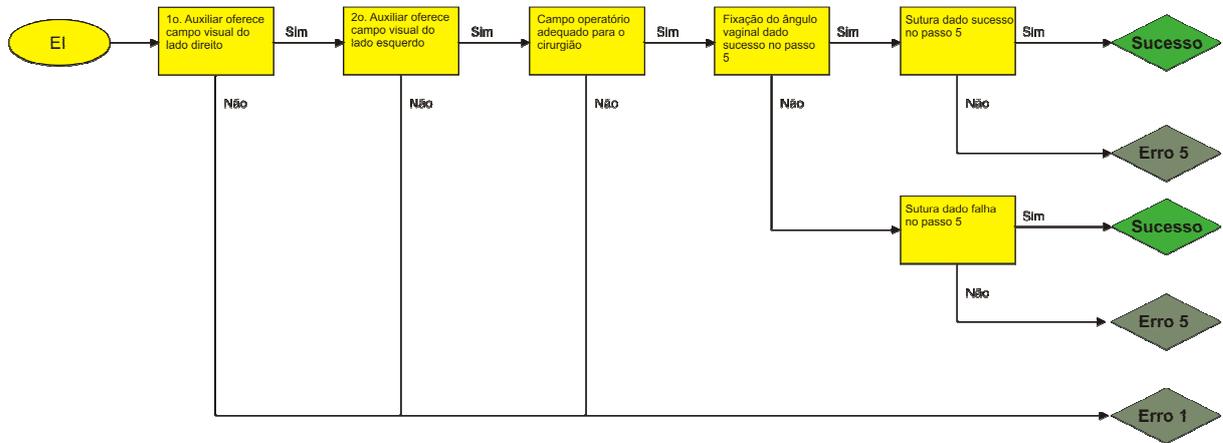


Figura 5.15 - DSE da Fixação do ângulo vaginal

5.3.9 Revisão das áreas sangrantes

Nesta etapa os dois auxiliares e o cirurgião tentam identificar se existe alguma área sangrante na região genital feminina. Caso alguma área seja positivamente identificada com sangramento o bisturi eletrônico é utilizado para cauterizar tais locais. A cauterização não eficaz provoca sangramentos (erro tipo 4), podendo levar a paciente a uma hemorragia tendo a mesma que vir a voltar à sala cirúrgica para ser realizado um novo procedimento. Este mesmo problema acontece caso a equipe não seja capaz de identificar as áreas sangrantes, entretanto foi estabelecido que este tipo de erro é caracterizado como uma falsa identificação, erro tipo 3.

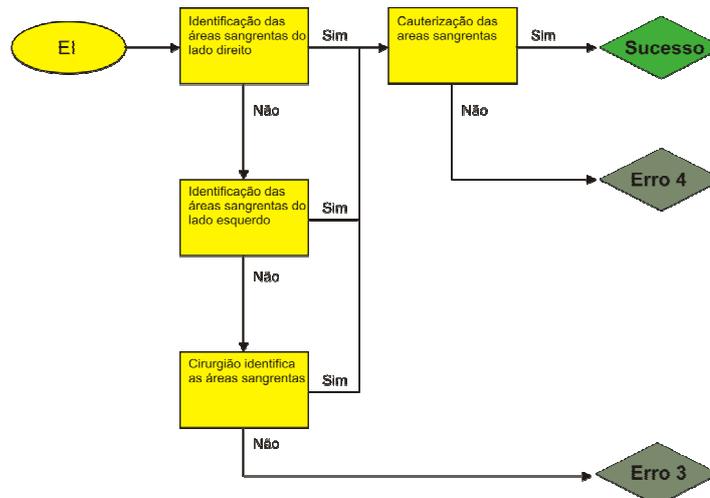


Figura 5.16 - DSE da Revisão das áreas sangrantes

5.3.10 Toque Retal

A última tarefa estabelecida para a cirurgia é o toque retal na paciente. Nesta etapa o cirurgião verifica se ainda existe alguma lesão não identificada nas etapas anteriores. Caso ele não identifique nenhuma lesão e as mesmas realmente não existam ou mesmo faça a identificação da lesão e uma manobra para a sua correção, a cirurgia ocorre com sucesso ao final.

Entretanto, se existirem lesões e elas não forem identificadas, pode haver na paciente uma posterior hemorragia, que em alguns casos provoca o retorno ao centro cirúrgico para uma novo procedimento.



Figura 5.17 - DSE do toque retal

5.4 Fatores de desempenho envolvidos no processo cirúrgico

Numa cirurgia, segundo relatos dos cirurgiões, um dos primeiros fatores externos de desempenho a serem levados em consideração é a qualidade do ambiente de trabalho, pois o mesmo não deve ter perturbação sonora e deve estar numa temperatura agradável para que o corpo clínico trabalhe em condições adequadas. Um aumento na temperatura pode trazer desconforto ao cirurgião e provocar que ele perca o foco da cirurgia. Ainda tratando-se de fatores externos, a percepção exigida ao trabalho é de suma importância para uma boa execução da tarefa. Dessa mesma maneira destacam-se também os movimentos de precisão exigidos na cirurgia, a criticalidade de cada etapa cirúrgica, a estrutura de comunicação da equipe e a arquitetura, ou seja, o design, do instrumental e dos equipamentos utilizados pelos cirurgiões durante o procedimento.

A grande maioria dos médicos cirurgiões realizam duas ou mais cirurgias num único dia, além de ter que atender a outros pacientes pré ou pós operados. Dessa forma, a carga de trabalho é muito intensa o que vem a ser um fator de desempenho relevante no contexto cirúrgico e que, juntamente com o risco na execução da tarefa caracterizam os fatores estressantes num processo cirúrgico.

Dentro da categoria fisiológica, a fadiga é considerada um dos fatores mais relevantes para a equipe cirúrgica. Esta é diretamente relacionada à carga de trabalho e as condições ambientais do trabalho já citadas anteriormente.

Como o procedimento cirúrgico trata-se de uma tarefa extremamente minuciosa, exige de toda a equipe experiência e treinamento, bem como uma boa identificação com o grupo de trabalho, pois a todo momento há interação entre os seus membros. Assim a atenção e o estado emocional de todos os integrantes são essenciais na determinação dos fatores internos.

Chang & Mosleh (2004) tratam das relações de causa e efeito entre fatores de diferentes grupos. Entretanto, fatores enquadrados dentro de uma mesma categoria podem influenciar e ser influenciados por outros desse mesmo grupo. Esta influência não é levada em consideração por Chang & Mosleh. Como verificou-se que estas influências são relevantes para o procedimento cirúrgico analisado, adota-se neste trabalho a metodologia de influências por fatores do mesmo grupo, proposta por Mênenezes (2005).

Para a elaboração a rede Bayesiana dos profissionais envolvidos na cirurgia de histerectomia vaginal foram levados em consideração os fatores que mais influenciam na análise de confiabilidade humana. Para o 1º e 2º cirurgiões auxiliares foram tratados os seguintes fatores de desempenho: Experiência, Carga de Trabalho, Condições Ambientais, Design dos equipamentos, Atenção, Estado Emocional, Identificação com a equipe de trabalho e Fadiga.

Para o cirurgião tem-se os seguintes FD's: Experiência, Carga de Trabalho, Condições Ambientais, Design dos equipamentos, Atenção, Estado Emocional, Identificação com a equipe de trabalho, Fadiga e Precisão na execução dos movimentos.

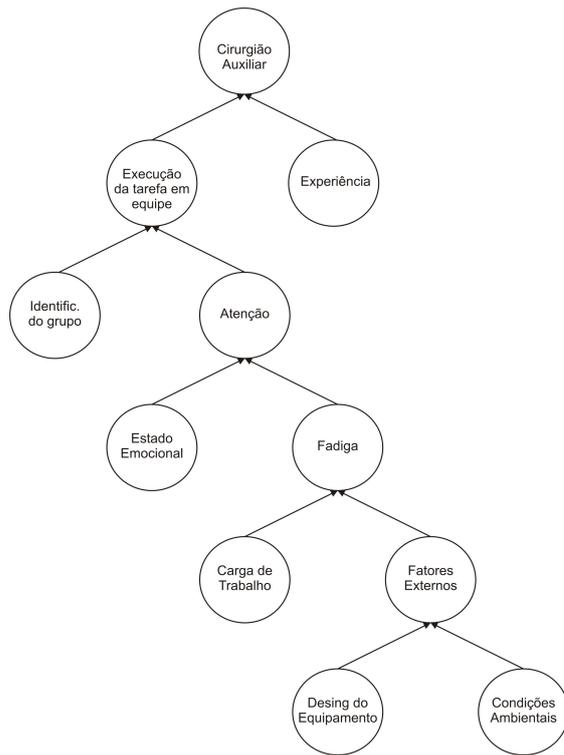


Figura 5.18 - RB dos Cirurgiões Auxiliares

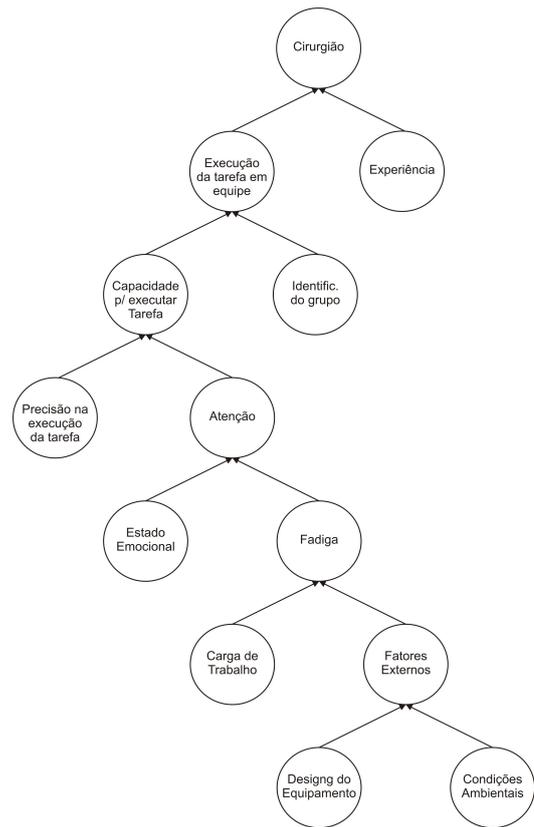


Figura 5.19 - RB do Cirurgião

Segue a definição de cada um dos fatores de desempenho envolvidos nas redes Bayesianas mostradas nas figuras 5.26, 5.27 e 5.28:

Experiência: conhecimento técnico específico ao procedimento que é adquirido ao longo do tempo e número de cirurgias realizadas. É caracterizado como adequada ou inadequada.

Carga de Trabalho: corresponde à jornada de trabalho do indivíduo, ou seja, a quantidade de horas trabalhadas por dia. É caracterizada como adequada ou inadequada.

Condições Ambientais: conjunto de fatores ambientais do local de realização da tarefa que influem fisiologicamente sobre os indivíduos, como exemplo cita-se a temperatura, umidade e ruído do local. É caracterizada como adequada ou inadequada.

Design dos equipamentos: é dada pela disposição e interface dos equipamentos, e como estes podem vir a influenciar a execução das tarefas. É caracterizado como adequado ou inadequado.

Atenção: nível de consciência exigido para a execução de uma tarefa. É caracterizado como adequada ou inadequada.

Estado Emocional: estado interior aos indivíduos, que podem ser identificados por mudanças no comportamento padrão dos mesmos. É caracterizado como adequado ou inadequado.

Identificação com a equipe de trabalho: fator de desempenho relacionado à interação da equipe de trabalho, como a equipe responde em conjunto a execução da tarefa. Está intimamente ligado ao entrosamento dos indivíduos que compõem a equipe. Pois na Histerectomia vaginal é muito importante que os auxiliares e o cirurgião tenham coordenação nos movimentos para que um não venha a atrapalhar o outro. É caracterizado como adequado ou inadequado.

Fadiga: segundo Nahas (2001) é compreendida como um conjunto de reações que ocorrem no organismo. Podem ser resultantes de atividades físicas ou mentais, levando à uma sensação de cansaço generalizado. É comprovado que um aumento na fadiga diminui a atenção para a execução de tarefas, o que pode ser visto nas três RB mostradas nas figuras 3.1, 3.2 e 3.3. A fadiga é caracterizada como presente ou não presente.

Precisão na execução dos movimentos: capacidade do indivíduo em executar com exatidão os movimentos. É caracterizada como adequada ou inadequada.

Vale salientar que o nó “Fatores Externos”, “Capacidade p/ executar tarefa” e “Execução da tarefa em equipe” presentes nas rede Bayesianas do instrumentador, dos auxiliares e do cirurgião, não são fatores de desempenho, e sim nós que são colocados para a separação de múltiplos pais, conforme Korb & Nicholson (2003).

6 RESULTADOS

6.1 Coleta de Dados

A grande dificuldade para a aplicação das redes Bayesianas em modelos de avaliação probabilística de risco está na grande quantidade de probabilidades necessárias para alimentar a rede. Na grande maioria dos casos não existe um banco de dados sobre desempenho humano com as informações necessárias, o que leva à dependência total do conhecimento do especialista. Segundo Ayyub (2001) especialistas são pessoas experientes e com treinamento e conhecimento em alguma área específica. Portanto, eduzir esse conhecimento demanda bastante tempo, o que implica diretamente em altos custos, dado o elevado valor da hora de trabalho destes especialistas.

De acordo com Zio (1996) uma análise formal da opinião do especialista tem como objetivo inicial estimar os valores possíveis de um dado parâmetro incerto para representar corretamente a incerteza associada a ele na luz do atual estado de conhecimento disponível na comunidade científica. A opinião do especialista pode ser entendida como o seu julgamento ou crença própria que é baseada em alguma informação ou no seu conhecimento a respeito do assunto em questão.

Na literatura são apresentadas diversos modelos para a elicitação das probabilidades junto aos especialistas. Dentre estas, destaca-se do ponto de vista teórico a de Nadler & Campello de Souza (2001), que leva ao autoconhecimento das crenças do especialista de forma gradativa, fornecendo métricas matemáticas (enquadrando o questionário como um problema de programação linear) para avaliar a qualidade das opiniões fornecidas nos questionários. Entretanto, a técnica impõe uma exigência mínima no número de questões a serem respondidas, o que para casos de importância prática no qual há um grande número de probabilidades a serem elicidadas geraria uma quantidade enorme de perguntas a serem respondidas, o que inviabiliza um pouco a utilização do método. Como contrapartida a esse problema Firmino et al. (2005) propõe uma redução para 26 questões por questionário, o que representa uma diminuição proporcional 40% no número de questões.

Todavia, ainda assim o custo da aplicação de tais procedimentos é inviável para o contexto em análise neste trabalho, devido a disponibilidade de tempo dos médicos. Desta forma, foi utilizado o método de elicitação direta do especialista, o qual possui custo bem menor para esta educação.

Afim de se elicitarem as probabilidades condicionais, faz-se necessário introduzir o especialista no cenário desejado, cabendo ao entrevistador mostrar com clareza e objetividade o cenário de interesse. A elaboração das questões são fundamentais para esse entendimento. Deve-se ainda ressaltar que as redes Bayesianas também ajudam bastante o entrevistado a entender os cenários apresentados, pois estas auxiliam na capacidade do indivíduo simular o raciocínio nos cenários já conhecidos por ele.

6.1.1 Entrevistas

Para alimentar as redes Bayesianas dos fatores de desempenho, bem como as das etapas do procedimento cirúrgico são necessárias 156 probabilidades. Estas foram obtidas através do tratamento dos dados, por intermédio do modelo de Bayes, das entrevistas com três fontes diferentes: um cirurgião experiente, com alguns anos de experiência na aplicação da técnica de histerectomia vaginal, uma médica não especializada na área de cirurgia, e por fim as probabilidades atribuídas pelo próprio analista.

A fim de valorizar a confiança no cirurgião foi atribuído a ele um fator de erro (k) menor que o fator de erro da médica, que por sua vez teve um fator de erro menor do que o do analista.

6.2 Modelagem para rede Bayesiana de probabilidade de erro do cirurgião

Tabela 6.1- Tabela de Probabilidades dos nós Folha

Nó	Probabilidade de erro ou desfavorável
Condições Ambientais	0,02
Design do Equipamento	0,05
Carga de Trabalho	0,20
Estado Emocional	0,15
Precisão na execução da tarefa	0,10
Identificação do grupo	0,15
Experiência	0,20

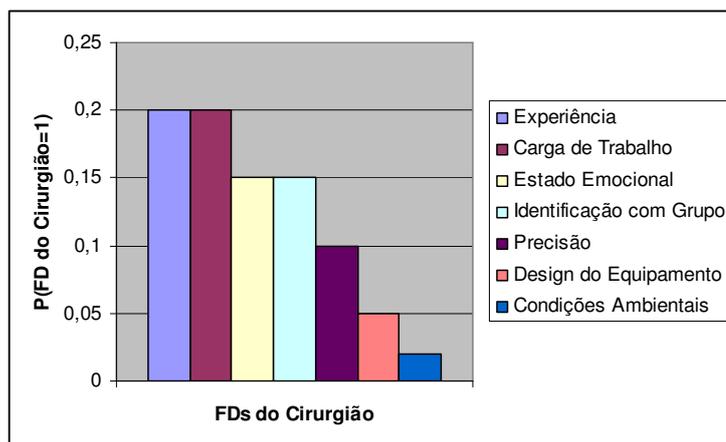


Figura 6.1 - FD do Cirurgião

Para o cirurgião, os FDs estão apresentados no gráfico da Figura 6.1 - FD do Cirurgião. Observa-se pelo gráfico que os fatores “experiência” e “carga de trabalho” destacam-se como aqueles de mais relevância na probabilidade de erro do cirurgião, ou seja, a probabilidade destes dois fatores estarem inadequados é maior que a probabilidade dos demais fatores estarem inadequados. No outro extremo, aparece as “condições ambientais” como o fator de desempenho com menor probabilidade de ser desfavorável.

Tabela 6.2 - TPC dos fatores externos dado design do equipamento (DE) e condições ambientais (CA)

DE, CA	Fatores externos	
	Inadequados	Adequados
Adequada, Adequada	0	1
Adequada, Inadequado	0,30	0,70
Inadequado, Adequada	0,20	0,80
Inadequado, Inadequado	1	0

Tabela 6.3 - TPC da fadiga dado fatores externos (FE) e carga de trabalho (CT)

FE, CT	Fadiga	
	Não presente	Presente
Adequado, Adequada	0,90	0,10
Adequado, Inadequado	0,70	0,30
Inadequado, Adequada	0,80	0,20
Inadequado, Inadequado	0,60	0,40

Tabela 6.4 - TPC da atenção dado fadiga (FA) e estado emocional (EE)

FA, EE	Atenção	
	Inadequada	Adequada
Presente, Adequado	0,30	0,70
Presente, Inadequado	0,40	0,60
Não presente, Adequado	0,05	0,95

Não presente, Inadequado	0,15	0,85
--------------------------	------	------

Tabela 6.5 - TPC da capacidade de executar a tarefa (CET) dado atenção (AT) e precisão (PR)

AT, PR	CET	
	Inadequada	Adequada
Adequado, Adequado	0	1
Adequado, Inadequado	0,20	0,80
Inadequado, Adequado	0,30	0,70
Inadequado, Inadequado	1	0

Tabela 6.6 - TPC da execução da tarefa em equipe (ETE) dado CET e identificação do grupo de trabalho (IG)

CET, IG	ETE	
	Sucesso	Erro
Adequado, Adequado	0,95	0,05
Adequado, Inadequado	0,90	0,10
Inadequado, Adequado	0,70	0,30
Inadequado, Inadequado	0,60	0,40

Tabela 6.7- TPC do cirurgião dado ETE e a experiência (EX) do mesmo

ETE, EX	Cirurgião	
	Sucesso	Erro
Sucesso, Adequado	0,995	0,005
Sucesso, Inadequado	0,90	0,10
Erro, Adequado	0,95	0,05
Erro, Inadequado	0,85	0,15

Dada as condições iniciais do cirurgião para o início do procedimento cirúrgico, a chance da tarefa ser realizada com sucesso é de **97,3%** e de **2,7%** de ser realizada com erro.

Uma análise de sensibilidade mostra que a experiência do cirurgião é o fator de desempenho de maior impacto no resultado final de sua RB. Este fato é comprovado dado que se o cirurgião tiver experiência comprovada a chance de sucesso para a execução da tarefa no início da cirurgia aumenta para **98,8%**.

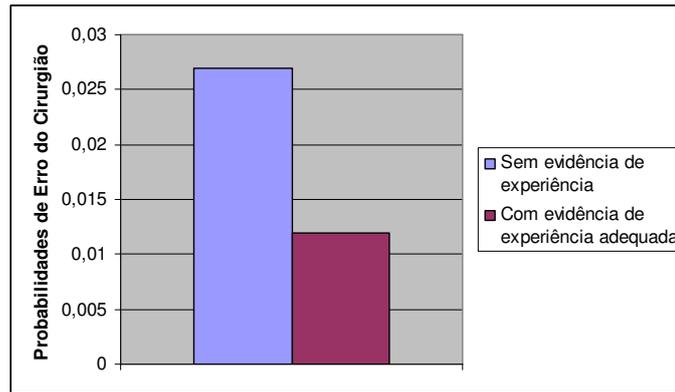


Figura 6.2 - Probabilidades de erro do Cirurgião

Uma outra análise é a evidência de que a fadiga está presente no cirurgião a chance de erro aumenta para 3,0%, que representa um aumento percentual de 11,1%. Sobre este resultado está implícito o fato de que a carga de trabalho é o fator de maior relevância para a fadiga, o que mostra que uma carga de trabalho excessiva diminuiu consideravelmente a confiabilidade humana.

6.3 Modelagem para rede Bayesiana da probabilidade de erro dos cirurgiões auxiliares

A modelagem da rede Bayesiana para o primeiro e segundo cirurgiões auxiliares são exatamente as mesmas, dado que estes médicos executam as mesmas tarefas, só que em posições diferentes, um à direita e o outro à esquerda do cirurgião.

Tabela 6.8 - Tabela de Probabilidades dos nós Folha

Nó	Probabilidade de erro ou desfavorável
Condições Ambientais	0,02
Design do Equipamento	0,05
Carga de Trabalho	0,10
Estado Emocional	0,15
Identificação do grupo	0,15
Experiência	0,15

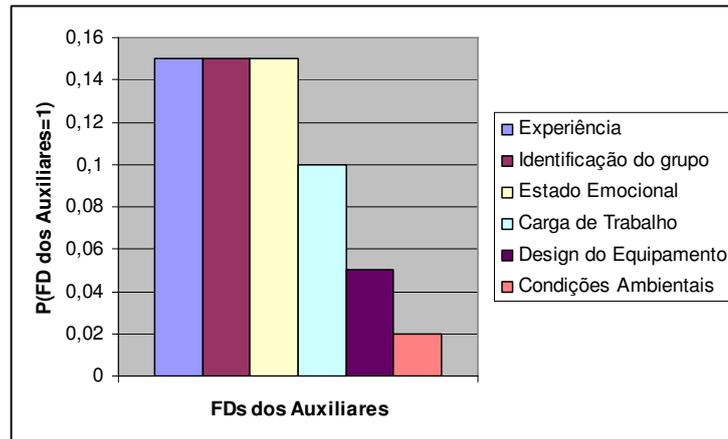


Figura 6.3 - FD dos auxiliares

Para os cirurgiões auxiliares, os FDs estão apresentados no gráfico da Figura 6.3. Observa-se pelo gráfico que os fatores “experiência” e “identificação com o grupo” e “estado emocional” destacam-se como aqueles de mais relevância na probabilidade de erro dos auxiliares, ou seja, a probabilidade destes três fatores estarem inadequados é maior que a probabilidade dos demais fatores estarem inadequadas. No outro extremo, aparece as “condições ambientais” como o fator de desempenho com menor probabilidade de ser desfavorável.

O gráfico da Figura 6.4 faz uma comparação entre os fatores de desempenho do cirurgião e dos auxiliares que são nós raízes das RBs. Observando-se que os únicos dois nós que apresentam probabilidades diferentes entre o cirurgião e os auxiliares são a “experiência” e a “carga de trabalho”, o que parece razoável. Pois, normalmente o cirurgião tem uma maior carga de trabalho do que o auxiliar, bem como a “experiência” do cirurgião causa um maior impacto na probabilidade de erro durante o processo cirúrgico, visto que ele executa as principais tarefas do procedimento.

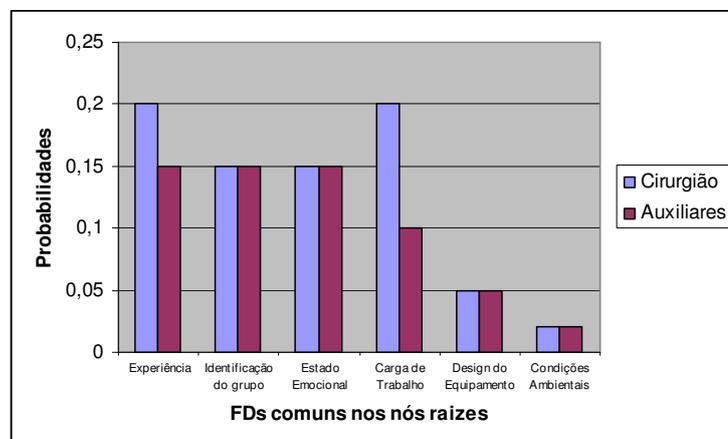


Figura 6.4 - Probabilidades dos nós raízes

Tabela 6.9 - TPC dos fatores externos dado design do equipamento (DE) e condições ambientais (CA)

DE, CA	Fatores externos	
	Inadequados	Adequados
Adequada, Adequada	0	1
Adequada, Não adequada	0,30	0,70
Não adequada, Adequada	0,20	0,80
Não adequada, Não adequada	1	0

Tabela 6.10 - TPC da fadiga dado fatores externos (FE) e carga de trabalho (CT)

FE, CT	Fadiga	
	Não presente	Presente
Adequado, Adequada	0,90	0,10
Adequado, Inadequado	0,70	0,30
Inadequado, Adequada	0,80	0,20
Inadequado, Inadequado	0,60	0,40

Tabela 6.11 - TPC da atenção dado fadiga (FA) e estado emocional (EE)

FA, EE	Atenção	
	Inadequada	Adequada
Presente, Adequado	0,30	0,70
Presente, Inadequado	0,40	0,60
Não presente, Adequado	0,05	0,95
Não presente, Inadequado	0,15	0,85

Tabela 6.12 - TPC da capacidade de execução da tarefa em equipe (ETE) dado atenção e identificação com o grupo de trabalho (IG)

AT, PR	ETE	
	Sucesso	Erro
Adequado, Adequado	0,95	0,05
Adequado, Inadequado	0,90	0,10
Inadequado, Adequado	0,70	0,30
Inadequado, Inadequado	0,60	0,40

Tabela 6.13 - TPC do cirurgião auxiliar dado ETE e a experiência (EX) do mesmo

ETE, EX	Cirurgião auxiliar	
	Sucesso	Erro
Sucesso, Adequado	0,999	0,001
Sucesso, Inadequado	0,90	0,10
Erro, Adequado	0,95	0,05
Erro, Inadequado	0,80	0,20

Utilizando-se a simulação são obtidos os seguintes valores para os dois auxiliares para o início da cirurgia:

Sucesso: 0,979

Erro: 0,021

Assim como para o resultado final da RB do cirurgião, uma análise de sensibilidades comprova que a experiência é o fator de desempenho de maior impacto também para os auxiliares. Dado a evidência de que o nível da variável experiência está adequado, a chance de erro é de 0,006 o que representa uma diminuição de 71% na sua probabilidade de erro.

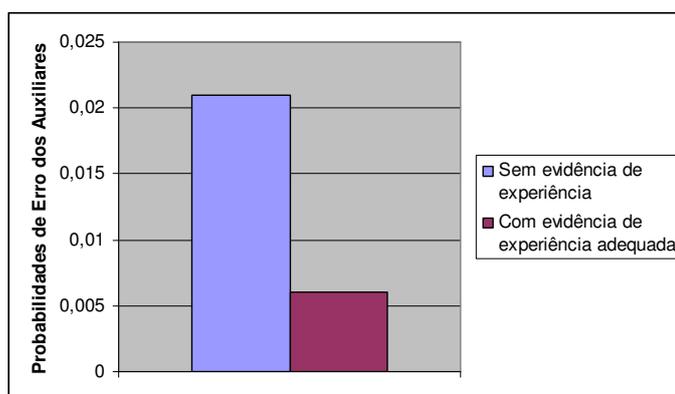


Figura 6.5 - Probabilidades de erro dos Auxiliares

6.4 Método proposto de avaliação probabilística do risco

6.4.1 Modelo Integrado Causal Híbrido para Histerectomia Vaginal

Como já explicado anteriormente durante a apresentação da metodologia do trabalho, o modelo integrado causal híbrido proposto, visa concatenar todas as etapas do procedimento cirúrgico. Usando para isto as redes Bayesianas, as árvores de falhas e os diagramas de seqüência de eventos apresentados ao longo do texto. Nas próximas seções este modelo é desenvolvido e quantificado de acordo com a Figura 6.6, a qual mostra o conceito do modelo proposto graficamente.

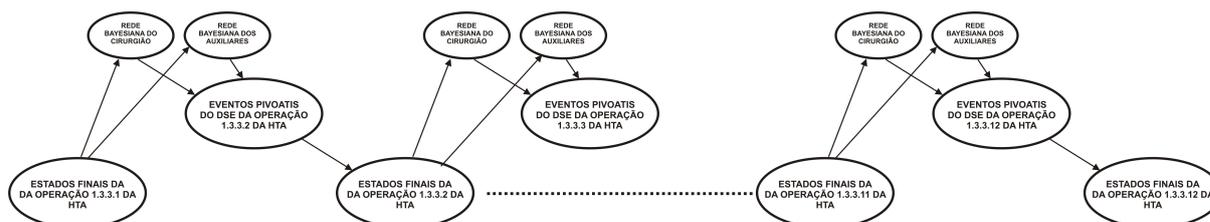


Figura 6.6 - Modelo integrado causal híbrido para Histerectomia Vaginal

6.4.2 Resultados da simulação

Nas próximas seções serão apresentados os resultados das simulações obtidas a partir do uso do simulador para modelo causal híbrido.

6.4.2.1 Posição Ginecológica

Nesta primeira etapa as ações do 1º auxiliar e do cirurgião são condições iniciais do processo, e por essa razão são moldadas de acordo com as redes Bayesianas apresentadas na Figura 5.18 e Figura 5.19, tendo suas tabelas de probabilidades condicionais apresentadas na Tabela 6.1 a Tabela 6.13. De acordo com o resultado das simulações apresentadas anteriormente, obtém-se que o cirurgião tem 2,7% de chance de errar no início da cirurgia. Enquanto que os auxiliares apresentam 2,1% de chance de errar.

Estas probabilidades são inseridas nos eventos pivotais 1 e 2 do DSE da Figura 5.7, e em seguida é feita a simulação obtendo-se, conforme pode ser visto na Tabela 6.14, as probabilidades dos cenários desta operação. A Figura 6.7 apresenta as probabilidades de ocorrência dos estados finais resultantes da modelagem híbrida apresentada para esta operação. Esta operação apresentou o estado final “Sucesso” com a maior probabilidade de ocorrência, enquanto o “Erro 1” apresentou a menor.

Tabela 6.14 - Resultado da modelagem do DSE da Figura 5.7

Ranking	Cenário	Tipo de Estado Final	Probabilidade	Cortes Mínimos
1	Iniciador:Erro1	Erro 1	0,000567	1
2	Iniciador:Sucesso	Sucesso	0,999433	2

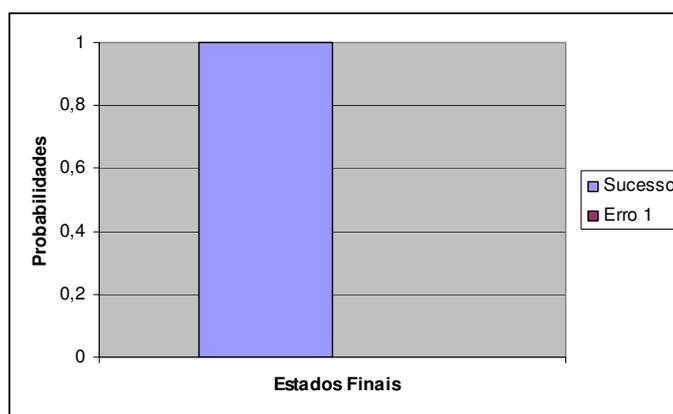


Figura 6.7 - Probabilidade dos estados finais da etapa do DSE da Figura 5.7

6.4.2.2 Incisão da mucosa vaginal ao nível da prega vésico-uterina

Nesta etapa do procedimento começa a surgir a dependência entre o estado final da etapa anterior e os eventos pivotais da etapa atual. A modelagem de erros do cirurgião e do 1º e 2º auxiliares são feitas inserindo-se um nó folha na RB dos fatores de desempenho, ligado diretamente aos nós finais de cada RB, contendo as probabilidades das variáveis dos estados finais da etapa anterior. A Figura 6.9 e a Figura 6.10 ilustram este fato.

Devido à introdução deste novo nó na RB do cirurgião, é refeita a simulação da mesma, obtendo-se agora as seguintes probabilidades de sucesso ou erro na execução da tarefa para o cirurgião:

Sucesso: 0,970

Erro: 0,030

A partir destes valores conclui-se que um erro de posicionamento da paciente na posição ginecológica aumenta em 11% a chance do cirurgião cometer um erro nesta etapa do procedimento. Isto se deve ao fato de que um mau posicionamento dificulta o acesso à genitália interna feminina, e conseqüentemente expande o grau de dificuldade para a incisão da mucosa vaginal anterior.

Analogamente o mesmo procedimento é feito para a RB dos Auxiliares, obtendo-se os seguintes valores de probabilidades:

Sucesso: 0,976

Erro: 0,024

Ou seja, o erro de posicionamento causa um aumento de 14% na chance dos auxiliares cometerem erros nesta etapa do procedimento.

Estes valores atualizados de probabilidades são agora inseridos no DSE da Figura 5.9, e em seguida é feita a simulação obtendo-se, conforme pode ser visto na Tabela 6.15, as probabilidades dos cenários desta operação. A Figura 6.8 apresenta as probabilidades de ocorrência dos estados finais resultantes da modelagem híbrida apresentada para esta operação. Esta operação apresentou o estado final “Sucesso” com a maior probabilidade de ocorrência, enquanto o “Erro 3” apresentou a menor.

Tabela 6.15 - Resultado da modelagem do DSE da Figura 5.9

Ranking	Cenário	Tipo de Estado Final	Probabilidade	Cortes Mínimos
1	Iniciador:Erro 3	Erro 3	0,0023705056	1
2	Iniciador:Erro 4	Erro 4	0,0296392982	3
3	Iniciador:Sucesso	Sucesso	0,9679901961	3

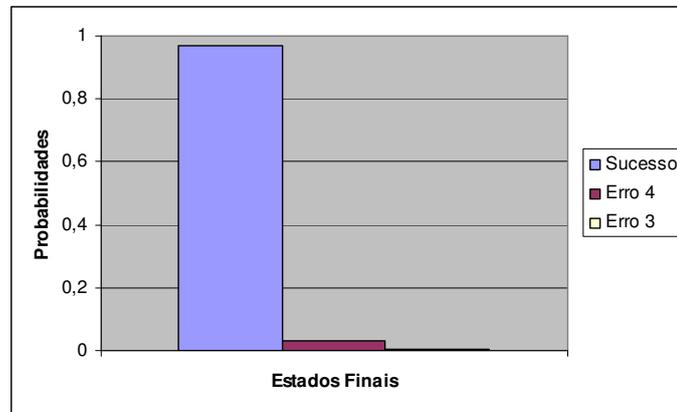


Figura 6.8 - Probabilidade dos estados finais do DSE da Figura 5.9

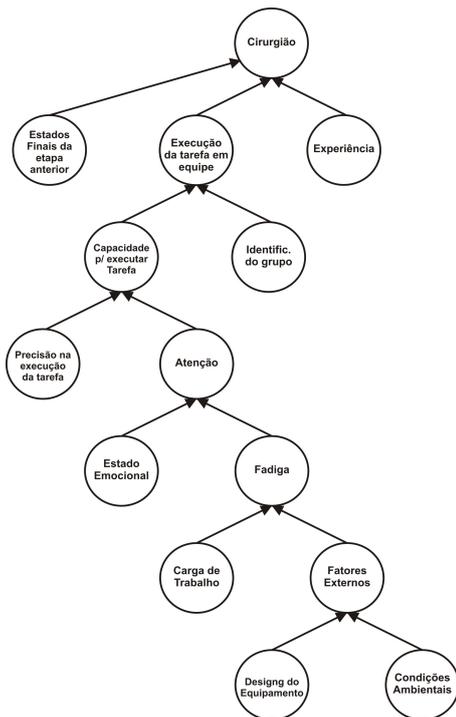


Figura 6.9 - RB Cirurgião

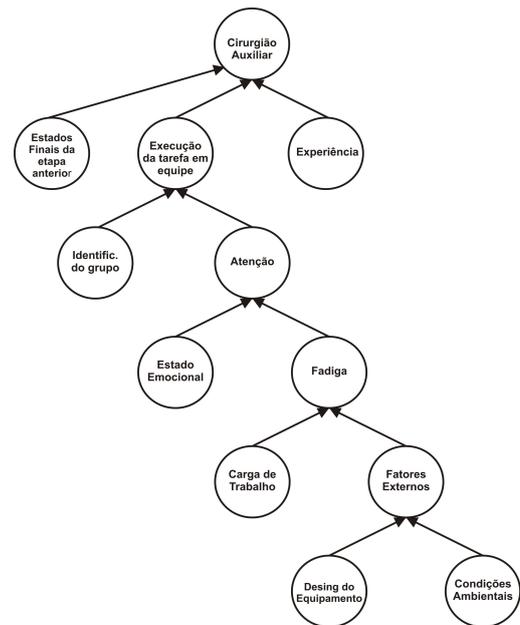


Figura 6.10 - RB Auxiliares

6.4.2.3 Incisão da mucosa vaginal ao nível da prega retovaginal

Da mesma forma que na etapa anterior, a dependência entre os estados finais da etapa anterior e os eventos pivotais da etapa atual passa a existir, acumulando-se assim o histórico dos passos anteriores da cirurgia. Entretanto, nesta etapa é inserido um nó na RB do cirurgião

e dos auxiliares, contendo as probabilidades das variáveis que representam os estados finais da etapa anterior, que são as probabilidades do erro 3, erro 4 e sucesso.

Atualizando-se as probabilidades obtém-se para o cirurgião os seguintes resultados:

Sucesso: 0,967

Erro: 0,033

Caso os erros não tenham se propagado até esta tarefa, o cirurgião terá uma probabilidade de erro, como já visto na RB inicial do cirurgião, de 0,027. Dessa forma a confirmação da presença dos erros traz um acréscimo de 18% na probabilidade de erro.

Para os auxiliares, encontra-se um resultado similar:

Sucesso: 0,971

Erro: 0,029

Analogamente à análise feita ao cirurgião, se os erros não forem detectados até este momento da cirurgia a taxa de erros dos auxiliares será de 0,021. Redução que representa uma diminuição percentual de 28%.

Novamente, as probabilidades obtidas nesta rodada de simulação das RBs são inseridas no DSE da incisão da mucosa vaginal posterior, apresentando os seguintes resultados:

Tabela 6.16 - Resultado da modelagem do DSE Figura 5.10

Ranking	Cenário	Tipo de Estado Final	Probabilidade	Cortes Mínimos
1	Iniciador:Erro 3	Erro 3	0,0000277001	1
2	Iniciador:Erro 4	Erro 4	0,0329990841	3
3	Iniciador:Sucesso	Sucesso	0,9669731628	3

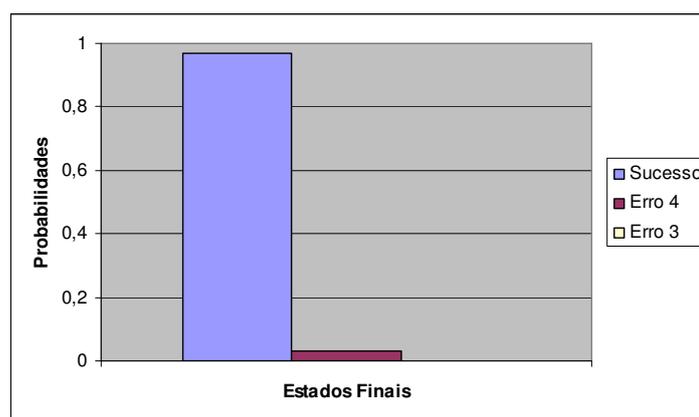


Figura 6.11 - Probabilidade dos estados finais do DSE Figura 5.10

6.4.2.4 Ligadura do complexo ligamentar

Analogamente às etapas anteriores, o histórico do procedimento é trazido até este momento da cirurgia. A RB do cirurgião e dos auxiliares é exatamente a mesma da Figura 6.9 e da Figura 6.10, com o nó que representa os estados finais da etapa anterior apresentando os valores das probabilidades do erro tipo 3, erro tipo 4 e sucesso. A atualização de valores, via simulação, apresenta os seguintes resultados para o cirurgião:

Sucesso: 0,962

Erro: 0,038

E para os auxiliares:

Sucesso: 0,968

Erro: 0,032

De posse destes resultados os mesmos são introduzidos no DSE da ligadura do complexo ligamentar. Após a simulação os seguintes percentuais são obtidos:

Tabela 6.17 - Resultado da modelagem do DSE Figura 5.11 - DSE da Ligadura do Complexo Ligamentar

Ranking	Cenário	Tipo de Estado Final	Probabilidade	Cortes Mínimos
1	Iniciador:Erro 5	Erro 5	0,035606912	1
2	Iniciador:Erro 1	Erro 1	0,062976000	3
3	Iniciador:Sucesso	Sucesso	0,901417088	1

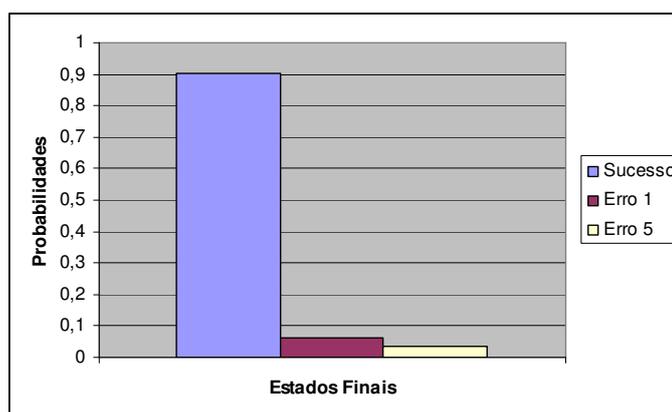


Figura 6.12 - Probabilidade dos estados finais do DSE Figura 5.11 - DSE da Ligadura do Complexo Ligamentar

Fazendo-se uma análise de sensibilidade para este resultado percebe-se que o erro tipo 1 aumentou significativamente nesta etapa do procedimento, o que torna a cirurgia mais demorada e conseqüentemente mais desgastante para toda a equipe cirúrgica. A repercussão

para este fato se dará com a inclusão desta taxa na RB da ligadura das artérias uterinas do cirurgião e dos auxiliares.

O erro tipo 5 não será introduzido na próxima etapa do processo, pois este apresenta uma dependência direta com a etapa de fixação do ângulo vaginal conforme já mostrado anteriormente. Este erro foi inserido diretamente no DSE da fixação do ângulo vaginal.

6.4.2.5 Ligadura das artérias uterinas

O erro tipo 1 da etapa anterior é introduzidas nas RB o cirurgião e do auxiliar, gerando os seguintes resultados:

Para o cirurgião:

Sucesso: 0,962

Erro: 0,038

Para os auxiliares:

Sucesso: 0,968

Erro: 0,032

A modelagem de erro do evento pivotal 5 (ligadura da artérias uterinas com bisturi elétrico) do DSE da Figura 5.13, é feito através da árvore de falhas da Figura 6.13.

O evento básico 1 é a utilização do bisturi pelo cirurgião, tendo como probabilidade de falha o mesmo resultado da simulação feita para a RB do cirurgião nesta etapa do procedimento, ou seja, 0,038. Este evento é unido através de uma porta “OU” com o evento falha do bisturi para assim gerar o resultado do evento topo.

A falha do bisturi pode acontecer se qualquer um dos eventos básicos 2, 3 ou 4 acontecerem. Segundo Marx & Slonim (2003) quando inicialmente ainda não existem pesquisa ou consenso sobre a taxa de falha para um determinado evento, “ancora-se” a estimativa em 1 erro a cada 1000 tentativas, ou seja, uma taxa de 0,001. Este valor foi considerado aceitável pelo especialista em manutenção de EMH consultado. Posteriormente, com a construção de um banco de dados, este valor é ajustado para cima ou para baixo.

Uma falha total no bisturi, como por exemplo uma falha elétrica que impossibilite o uso do mesmo na cirurgia, não foi adicionada à AF pois supõe-se que caso isto ocorra exista um equipamento similar de backup para repor aquele impossibilitado para uso.

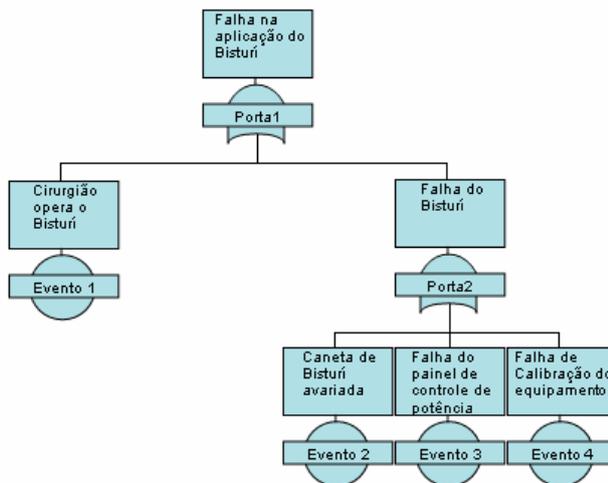


Figura 6.13 - Árvore de Falhas com evento topo Falha na aplicação do bisturi

A taxa de falha na aplicação do bisturi é então igual a 0,041.

Se o bisturi eletrônico passar por constantes calibrações e a manutenção preventiva for feita com a periodicidade indicada pelo fabricante do equipamento, a taxa de falha no painel de controle e na falha de calibração serão reduzidas de acordo com a experiência de um especialista consultado na área de manutenção de equipamentos médico-hospitalares. Segundo este especialista, numa análise pessimista esta taxa de indisponibilidade do equipamento poderia cair para 0,035, representando uma diminuição de 8% nesta indisponibilidade. Este fato evidencia a necessidade de que a equipe responsável pelo gerenciamento do parque tecnológico instalado dentro do hospital, geralmente realizado pelo departamento de Engenharia Clínica, mantenha um rígido controle sobre a calibração e a manutenção preventiva dos equipamentos que estão sobre a sua tutela.

De posse de todas as probabilidades necessárias para alimentar os EP do DSE, executa-se a simulação obtendo-se:

Tabela 6.18 - Resultado da modelagem do DSE da Figura 5.13

Ranking	Cenário	Tipo de Estado Final	Probabilidade	Cortes Mínimos
1	Iniciador:Erro 3	Erro 3	0,035606912	1
2	Iniciador:Erro 4	Erro 4	0,036852738	4
3	Iniciador:Erro 1	Erro 1	0,062976000	3
4	Iniciador:Sucesso	Sucesso	0,864564350	1

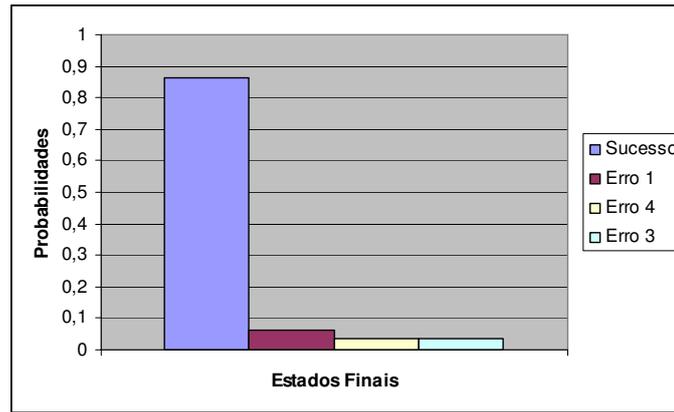


Figura 6.14 - Probabilidade dos estados finais da Figura 5.13

6.4.2.6 Ligação do complexo tubo-ovariano

Esta etapa é muito parecida com a anterior entretanto, nas RB do cirurgião e dos auxiliares são adicionados o nó com as probabilidades dos três tipos de erros e do sucesso. Para o cirurgião obtém-se os seguintes resultados:

Sucesso: 0,958

Erro: 0,042

E para os auxiliares:

Sucesso: 0,964

Erro: 0,036

O EP 5 deste DSE tem a taxa de falha dada pelo evento topo da AF da Figura 6.13. Portanto, atribuindo-se a probabilidade do cirurgião realizar esta tarefa, obtém-se que a falha na aplicação do bisturi acontece em 4,5 vezes de cada 100 realizadas. Inserindo-se estes dados no DSE são obtidos os seguintes resultados para os estados finais:

Tabela 6.19 - Resultado da modelagem do DSE da Figura 5.14

Ranking	Cenário	Tipo de Estado Final	Probabilidade	Cortes Mínimos
1	Iniciador:Erro 3	Erro 3	0,039030432	1
2	Iniciador:Erro 4	Erro 4	0,039947219	4
3	Iniciador:Erro 1	Erro 1	0,070704000	3
4	Iniciador:Sucesso	Sucesso	0,850318349	1

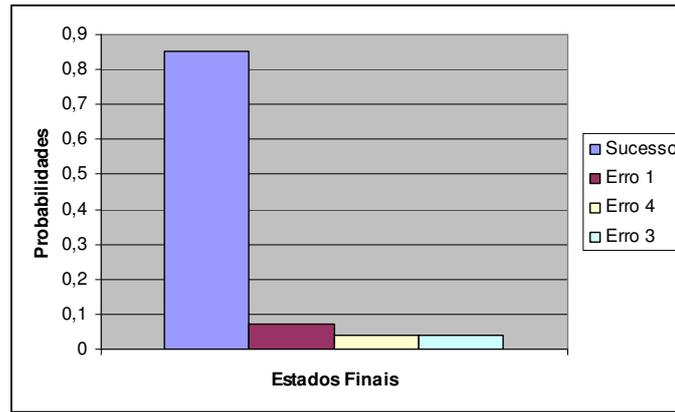


Figura 6.15 - Probabilidade dos estados finais da Figura 5.14

6.4.2.7 Fixação do ângulo vaginal

Como já discutido anteriormente, existe uma dependência direta entre esta etapa do procedimento e a ligadura do complexo ligamentar, que foi modelada no próprio DSE. Mesmo com esta dependência já apresentada, o histórico da etapa imediatamente anterior a este passo também é introduzido nas RB do cirurgião e do auxiliar. Os estados finais da etapa anterior apresentam quatro variáveis (erro 1, 3 e 4 e sucesso) que são introduzidos no nó da RB do cirurgião e dos auxiliares resultando em:

Cirurgião:

Sucesso: 0,951

Erro: 0,049

Auxiliares:

Sucesso: 0,959

Erro: 0,052

Com estes resultados faz-se a simulação do DSE da fixação do ângulo vaginal encontrando-se os seguintes valores (inserido-se o valor da probabilidade de ocorrência do erro tipo 5 no quarto evento pivotal do DSE):

Tabela 6.20 - Resultado da modelagem do DSE da Figura 5.15

Ranking	Cenário	Tipo de Estado Final	Probabilidade	Cortes Mínimos
1	Iniciador:Erro 5	Erro 5	0,045064369	4
2	Iniciador:Erro 1	Erro 1	0,080319000	3
3	Iniciador:Sucesso	Sucesso	0,874616631	1

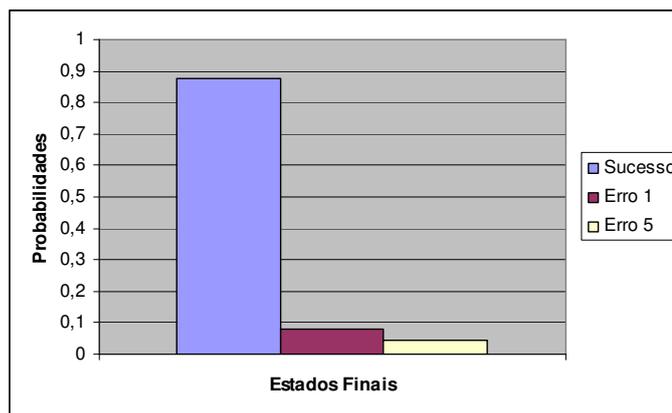


Figura 6.16 - Probabilidade dos estados finais da Figura 5.15

Desta forma observa-se que a chance da paciente ter um problema de prolapso de cúpula vaginal devido ao procedimento cirúrgico é de 4,5%.

6.4.2.8 Revisão das áreas sangrantes

A penúltima etapa do procedimento é modelada com a transposição do estado final erro tipo 1 da fixação do ângulo vaginal para a RB do cirurgião e dos auxiliares, que apresentam os seguintes resultados:

Para o cirurgião:

Sucesso: 0,957

Erro: 0,043

Para os auxiliares:

Sucesso: 0,960

Erro: 0,040

Como nesta etapa o bisturi é utilizado para cauterização dos vasos sangrantes, a sua probabilidade de falha é determinada a partir da AF do bisturi. Estes cálculos mostram que esta probabilidade é de 0,046.

Assim este valor retirado AF da utilização do bisturi é introduzida para gerar as probabilidades do último EP do DSE da Figura 5.16. Assim os estados finais desta etapa apresentam os seguintes valores:

Tabela 6.21 - Resultado da modelagem do DSE da Figura 5.16

Ranking	Cenário	Tipo de Estado Final	Probabilidade	Cortes Mínimos
1	Iniciador:Erro 3	Erro 3	0,00016	1
2	Iniciador:Erro 4	Erro 4	0,04599264	3
3	Iniciador:Sucesso	Sucesso	0,95384736	3

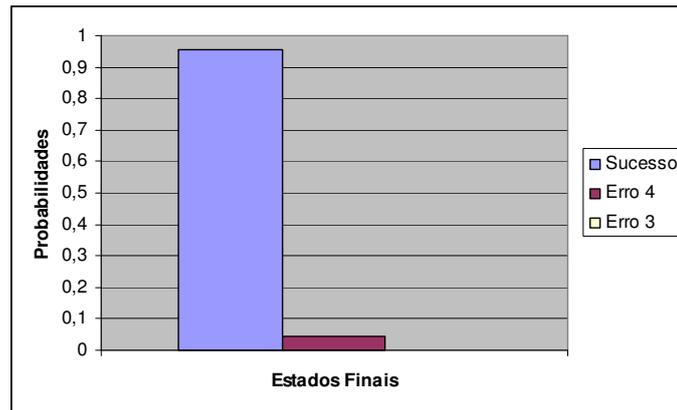


Figura 6.17 - Probabilidade dos estados finais da Figura 5.16

6.4.2.9 Toque retal

Na última etapa da cirurgia apenas a RB do cirurgião é novamente atualizada. E como só existe um único evento pivotal nesta etapa, que é a realização do toque retal para identificação de possíveis lesões, o próprio valor do sucesso ou erro do cirurgião será caracterizado como o sucesso ou erro na cirurgia.

Com isto após a simulação obtêm-se as seguintes probabilidades para o cirurgião:

Tabela 6.22 - Resultado da modelagem do DSE da Figura 5.17

Ranking	Cenário	Tipo de Estado Final	Probabilidade	Cortes Mínimos
1	Iniciador:Erro 3 e Erro 4	Erro 3 e Erro 4	0,038	1
2	Iniciador:Sucesso	Sucesso	0,962	1

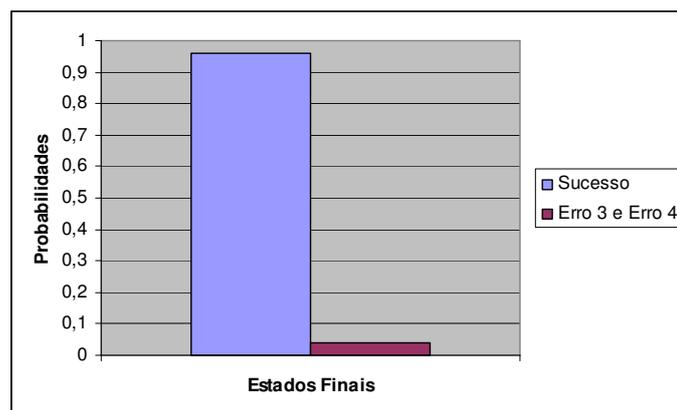


Figura 6.18 - Probabilidade dos estados finais da Figura 5.17

Para esta última etapa os erros tipo 3 e 4 foram englobados pois a partir deste momento qualquer problema com a paciente será caracterizado como um problema pós-operatório.

6.4.3 Análise de Sensibilidade

A fim de ilustrar a flexibilidade da metodologia proposta nos tópicos anteriores, são apresentadas abaixo algumas análises de sensibilidade das etapas do procedimento cirúrgico.

Para a etapa da incisão da mucosa vaginal no nível da prega vésico-uterina, pode-se estabelecer a seguinte análise: Dado que foi evidenciada a experiência do cirurgião como adequada, executa-se uma nova simulação na sua RB. A probabilidade de erro do mesmo passa a ser 0,012 contra a probabilidade de 0,030 quando não existia nenhuma evidência de experiência. Inserindo-se esse novo dado no respectivo DSE obtém-se o seguinte cenário:

Tabela 6.23 - Resultado da modelagem do DSE da Figura 5.9 dado nível de experiência do cirurgião adequado

Ranking	Cenário	Tipo de Estado Final	Probabilidade	Cortes Mínimos
1	Iniciador:Erro 3	Erro 3	0,00000057600	1
2	Iniciador:Erro 4	Erro 4	0,01199993088	3
3	Iniciador:Sucesso	Sucesso	0,98799430912	3

A Figura 6.19 apresenta a comparação entre as probabilidades dos estados finais do DSE da Figura 5.9. O erro tipo 3 foi omitido do gráfico, pois as suas probabilidades apresentam valores muito baixos que não apareceriam no mesmo.

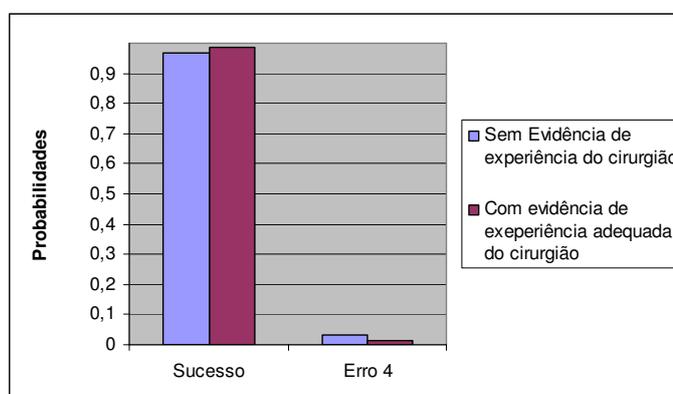


Figura 6.19 - Comparativo das probabilidades dos estados finais do DSE da Figura 5.9

Já para a etapa de incisão da mucosa vaginal ao nível da prega reto-vaginal foi feita uma análise de sensibilidade comparando-se o impacto da evidência de dois fatores de desempenho no resultado dos estados finais desta etapa.

Como já mencionado anteriormente no desenvolvimento dos fatores de desempenho do cirurgião, foi constatado que a experiência é o fator de maior impacto para a RB do cirurgião.

Este fato é comprovado pelo gráfico abaixo, que compara qual a importância do fator experiência com o fator fadiga.

Caso não exista nenhuma evidência na RB do cirurgião, ele tem uma probabilidade de executar esta etapa com sucesso de 0,967. Dado a evidência de que a sua experiência é adequada esta probabilidade aumenta para 0,9858, o que representa um aumento de 1,94%. Enquanto que, não havendo nenhuma evidência sobre a experiência do cirurgião, e existindo a evidência de que a fadiga não está presente a probabilidade do cirurgião executar a tarefa com sucesso passa a ser de 0,971, ou seja, um aumento percentual de 0,40%. Abaixo são apresentados os cenários para cada um dos casos.

Tabela 6.24 - Resultado da modelagem do DSE da Figura 5.10 dado nível de experiência do cirurgião adequado

Ranking	Cenário	Tipo de Estado Final	Probabilidade	Cortes Mínimos
1	Iniciador:Erro 3	Erro 3	8,41E-06	1
2	Iniciador:Erro 4	Erro 4	0,014199880578	3
3	Iniciador:Sucesso	Sucesso	0,985791709422	3

Tabela 6.25 - Resultado da modelagem do DSE da Figura 5.10 dado a evidência que a fadiga não está presente na RB do cirurgião

Ranking	Cenário	Tipo de Estado Final	Probabilidade	Cortes Mínimos
1	Iniciador:Erro 3	Erro 3	8,41E-06	1
2	Iniciador:Erro 4	Erro 4	0,02899975611	3
3	Iniciador:Sucesso	Sucesso	0,97099183389	3

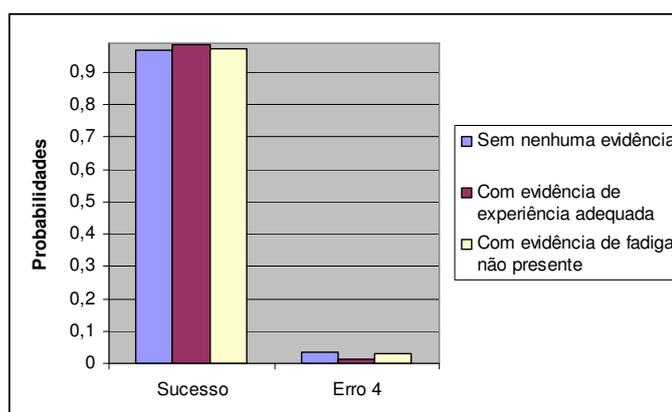


Figura 6.20 – Comparativo das probabilidades dos estados finais do DSE da Figura 5.10

A Figura 6.20 comprova o que já havia sido explicitado anteriormente neste trabalho, que a experiência do cirurgião é um dos fatores de desempenho de maior impacto no resultado

das probabilidades dos estados finais das etapas do procedimento cirúrgico. Este fato pode ser explorado pelos centros de saúde, em que se realizam histerectomias vaginais, para passarem a investir cada vez mais na capacitação dos cirurgiões. Ficando claro, a necessidade de todas as equipes cirúrgicas possuírem ao menos um cirurgião com experiência comprovada, de forma a mitigar os riscos durante a histerectomia.

Estas duas análises de sensibilidade foram apenas uma amostra da potencialidade da metodologia proposta. Podendo nos trabalhos futuros serem exploradas as análises de sensibilidade nos demais fatores de desempenho do cirurgião e dos auxiliares, explicitando-se quais e em quanto cada um dos fatores influencia no resultado final da cirurgia.

7 Conclusões

Este trabalho apresentou uma metodologia causal híbrida que combina redes Bayesianas, árvore de falhas e diagramas de seqüências de eventos para análise probabilística de risco do procedimento cirúrgico de Histerectomia Vaginal. Entretanto, esta metodologia não está restrita só a este tipo de cirurgia, podendo ser aplicada, desde que devidamente ajustada, para qualquer outro tipo de procedimento cirúrgico. Tornando-se, dessa maneira, uma ferramenta para erradicar/mitigar os riscos durante as etapas de uma cirurgia.

Como já mencionado na introdução desta dissertação, são escassos os trabalhos no contexto específico de avaliação de risco no decorrer dos procedimentos cirúrgicos. Apenas Dierks & Nouri (2006) avaliam o risco de procedimentos cirúrgicos ao longo de todas as fases do processo, como pré-operatório, intra-operatório e pós-operatório, entretanto, sem avaliar os riscos da execução das ações humanas durante o procedimento cirúrgico. É justamente numa tentativa de pelo menos preencher parcialmente este vazio que se propõe a metodologia para avaliação de risco na área cirúrgica, combinando confiabilidade humana com confiabilidade de equipamentos médicos.

O modelo proposto nesta dissertação mostrou-se condizente e eficaz para identificação e quantificação dos erros. De acordo com os resultados obtidos, verificou-se que esta metodologia de avaliação de risco está de acordo com os resultados esperados pelos especialistas. Fato este que vem estimular a continuidade deste projeto, ficando a proposta para aplicação do mesmo em outros procedimentos cirúrgicos, como por exemplo, transplantes de órgãos humanos, dado que são cirurgias de alta complexidade em que os erros devem ser minimizados devido a escassez de órgãos disponíveis.

7.1 Resumo das atividades

Inicialmente, a técnica de Histerectomia Vaginal Total foi estudada, e com auxílio de especialistas da área, foi elaborado a descrição hierárquica das tarefas. A descrição das tarefas englobou todas as etapas de um procedimento cirúrgico: desde do pré-operatório até o pós-operatório. Contudo, apenas as etapas diretamente relacionadas à execução da cirurgia foram foco principal deste trabalho. Estas etapas foram discriminadas através de tabelas, identificando-se os responsáveis, as suas tarefas, possíveis erros associados e suas conseqüências.

De posse destas tabelas, foram construídos os diagramas de seqüências de eventos para cada uma das etapas do procedimento cirúrgico, de acordo com os objetivos estabelecidos no início deste trabalho. Para correta construção dos DSEs foi necessário estabelecer as variáveis associadas aos estados finais para cada etapa da cirurgia.

O passo seguinte do trabalho foi relacionar, também com o auxílio dos especialistas, todos os fatores de desempenho relevantes ao corpo clínico que executa as tarefas. Estes fatores são montados de forma a construir as redes Bayesianas que determinam a probabilidade de erro humano para execução de uma tarefa. No início do trabalho havia a intenção de se construir uma RB para cada elemento presente dentro da sala cirúrgica e que influenciasse na execução da cirurgia. Entretanto, as RBs do anestesista e do instrumentador não foram construídas pois aumentaria significativamente a complexidade do trabalho, bem como o número de probabilidades a serem elicitadas, ficando esta complementação proposta para trabalhos futuros.

A etapa subsequente estabelecida nos objetivos do trabalho, corresponde ao desenvolvimento da análise de confiabilidade dos equipamentos médico-hospitalares envolvidos no processo cirúrgico. Para tal análise foi construída uma árvore de falhas envolvendo o bisturi elétrico, que é o único equipamento eletrônico utilizado pelo cirurgião durante o procedimento, ficando a análise de confiabilidade dos outros equipamentos, utilizados pelo anestesista, para serem também inseridos em trabalhos futuros.

Em seguida foi elaborado a metodologia causal híbrida baseada na integração dos diagramas de seqüências de eventos, árvore de falhas e redes Bayesianas dinâmicas. Nesta modelagem, como já mencionado nos capítulos anteriores, os eventos pivotais dos DSEs relacionados a erros humanos, ou seja, resultantes diretamente de ações humanas, são modelados através das redes Bayesianas, enquanto que os eventos pivotais relacionados à falha de equipamentos são modelados via árvore de falhas.

A fim de alimentar as probabilidades do modelo proposto foram realizadas as eliciações com os especialistas. Devido ao número bastante elevado de probabilidades a serem elicitadas, foi estabelecido o método de eliciação direta, questionando-se os especialistas sobre os valores mais freqüentes, otimistas e pessimistas para cada cenário apresentado. Foi constatada uma dificuldade por parte dos especialistas para indicar estas probabilidades, ficando claro que, ao responder a primeira probabilidade, seja a mais freqüente, otimista ou pessimista, o especialista ancora esta probabilidade como base para responder as demais.

Dessa forma, como o foco principal deste trabalho é a apresentação de um modelo para avaliação probabilística do risco em um procedimento cirúrgico, caracterizando os cenários, desenvolvendo as redes Bayesianas para estes cenários e integrando-as com os diagramas de seqüências de eventos para obter as probabilidades dos estados finais dos cenários, fica proposto para uma complementação deste trabalho a utilização de uma metodologia mais adequada para a elicitación das probabilidades.

A última etapa do trabalho foi simular, através do simulador de modelos causais, os cenários montados. Observa-se que neste primeiro momento, a importância dos valores obtidos se dá muito mais para confirmar a viabilidade do modelo proposto, do que como forma de estudar as probabilidades de risco para a histerectomia vaginal, pois ainda faz-se necessário melhorar o método de elicitación, bem como integrar o anestesista e o instrumentador nos cenários do procedimento cirúrgico.

7.2 A metodologia causal híbrida

Como já mencionado anteriormente, o foco principal deste trabalho foi à apresentação de uma metodologia para avaliação probabilística de risco durante um procedimento cirúrgico. Dessa forma, alguns comentários a respeito dos aspectos importantes da metodologia causal híbrida que foram demonstrados na análise do procedimento de histerectomia vaginal se fazem pertinentes.

- Identificação explícita das relações causais dos estados indesejados (riscos). Com essa identificação pode-se melhor gerenciar os riscos, reduzindo-se a verossimilhança dos mesmos ou as suas conseqüências. Pode-se, portanto, erradicar ou mitigar os riscos, pois suas causas são conhecidas e explicitadas.
- A modelagem da confiabilidade humana via redes Bayesianas, torna a identificação dos erros cometidos pelos homens mais eficiente. Pois, todos os fatores de desempenho envolvidos na execução das tarefas são relacionados, possibilitando ao analista inferir sobre quais destes fatores mais afetam o resultado final da tarefa.
- Flexibilidade nas análises de sensibilidade, possibilitando ao analista não apenas identificar quais eventos, fatores de desempenho e confiabilidade de determinados equipamentos são importantes, mas sim mensurar essa importância. Ou seja, de quanto é essa importância.

7.3 Desafios para trabalhos futuros

- Integrar ao modelo todas as etapas e equipamentos utilizados durante o procedimento cirúrgico, para reproduzir os cenários desejados o mais próximo possível da realidade;
- Utilizar métodos de elicitação de especialistas mais eficientes e que sejam economicamente viáveis;
- Realização de elicitação com mais especialistas para minimizar possíveis discrepâncias nos resultados;
- Criação de um banco de dados que passe a alimentar as redes Bayesianas dinâmicas, podendo-se desta forma ajustar as probabilidades que foram atribuídas pelo especialista;
- Realização de outras análises de sensibilidades para os cenários apresentados;
- Elaboração de planos de melhorias para alguns cenários apresentados. Identificando-se de que forma benfeitorias como treinamento do profissional, ou mesmo melhorias no instrumental cirúrgico causarão impactos na avaliação do risco do procedimento;
- A partir da análise das benfeitorias quantificá-las em termos de tempo e dinheiro gastos, avaliando a viabilidade destas melhorias;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKERSTEDT, T.; FREDLUND, P.; GILLBERG, M. & JANSSON, B. (2002)- Work load and work hours in relation to disturbed sleep and fatigue in a large representative sample. *Journal of Psychosomatic Research*. Vol. 53, p. 585-588.
- AYYUB, B. M. (2001)- *Elicitation of expert opinions for uncertainty and risks*. CRC Press. Boca Raton, FL.
- BUSSAB, W. O. & MORETTIN, P. A. (2003) – Estatística Básica . 5 ed. Editora Saraiva São Paulo.
- BYE, A., HOLLNAGEL, E. & BRENDDEFORD, T. S. (1999)- Human machine function allocation: a functional modeling approach. *Reliability Engineering & System Safety*. Vol. 64, p. 291-300.
- CARLSON, KAREN J. (1997) - Outcomes of Hysterectomy, *Clinical Obstetrics & Gynecology*. Fetal Growth Restriction; 40(4):939-946.
- CHANG, Y. H. & MOSLEH, A. (1999)- Cognitive modeling and dynamic probabilistic simulation of operating crew response to complex system accidents (ADS-IDACrew). *Center for Technology Risk Studies*. University of Maryland.
- COOKE, R. (1991)- *Experts in Uncertainty: Opinion and subjective probability in science*. Oxford University Press. New York.
- COSTA, A., AMORIM, M., & CURSINO, T. (2003) - Histerectomia vaginal *versus* histerectomia abdominal em mulheres sem prolapso genital, em maternidade-escola do Recife: ensaio clínico randomizado, *Rev Bras Ginecol Obstet*. Vol. 25, p. 169-176.
- COOKE, R. (2004)- The anatomy of the squizzel: the role of operational definitions in representing uncertainty. *Reliability Engineering & System Safety*. Vol. 83, p. 313-319.
- DAVIDOFF, L. (2001)- *Introdução à psicologia*. Mcgraw-Hill do Brasil. São Paulo.

- DESAULNIERS, D. R. (1997)- Stress in the control room: effects and solutions. U. S. Nuclear Regulatory Commission. Washington, D.C. 20555.
- DIERKS, M.M & NOURI, K. (2006)- Modeling Risk in complex medical domains: Understanding ‘hidden’ interactions and variations across different phases of care. Proceedings of the 8th International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management. PSAM-0417.
- DRISKELL, J. E. & SALAS, E. (1996)- *Stress and human performance*. Lawrence Erlbaum Associates. New Jersey.
- DROGUETT, E. L.; GROEN, F. & MOSLEH, A. (2006)- Bayesian assessment of the variability of reliability measures. *Pesquisa Operacional*. Vol. 26,no.1, p. 109-127
- DROGUETT, E. L.; GROEN, F. & MOSLEH, A. (2004)- The combined use data and expert estimates in population variability analysis. *Reliability Engineering and Systems Safety*. Vol. 83, p. 311-321.
- FIGUEIREDO O, FIGUEIREDO EG, FIGUEIREDO PG, PELOSI MA. (1999) - Vaginal removal of the benign nonprolapsed uterus: experience with 300 consecutive operations. *Obstet Gynecol*; 94:348-51.
- FIRMINO, P. R. (2004)- *Redes Bayesianas para Parametrização da confiabilidade em sistemas Complexos*. Recife. 89p. (Mestrado- Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção/ UFPE).
- FIRMINO, P. R.; MENÊZES, R. C., DROGUETT, E. L. & DUARTE, D. L. (2006)- “Eliciting Engineering Judgments in Human Reliability Assessment”. *Artigo submetido e aceito para o Annual Reliability & Maintainability Symposium (RAMS) 2006*. California – EUA.
- FIRMINO, P. R.; MENÊZES, R. C.; DROGUETT, E. L. (2005) - Método aprimorado para a quantificação do conhecimento em análises de confiabilidade por redes Bayesianas. *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO)*, , Anais do SBPO, 37, Gramado, Brasil.
- FORESTER, J.; BLEY, D.; COOPER, S.; LOIS, E.; SIU, N.; KOLACZKOWSKI, A. & SIU, N. (2004)- Expert elicitation approach for performing ATHEANA quantification. *Reliability Engineering & System Safety*. Vol. 83, p. 207-220.

- FUJITTA, Y. & HOLLNAGEL, E. (2004)- Failures without errors: quantification of context in HRA. *Reliability Engineering & System Safety*. Vol. 83, p. 145-151.
- GOOSSENS, L. H. J. & COOKE, R.M. (1997)- Applications of some risk assessment techniques: formal expert judgment and accident sequence precursors. *Safety science*. Vol. 26, p. 35-47.
- HALLBERT, B.; GERTMAN, D.; LOIS, E.; MARBLE, J.; BLACKMAN, H. & BYERS, J. (2004)- The use of empirical data sources in HRA. *Reliability Engineering & System Safety*. Vol. 83, p. 139-143.
- HAMMOND, J. S.; KEENEY, R. L. & RAIFFA, H. (1999)- *Somos movidos a decisões, decisões inteligentes: como avaliar alternativas e tomar a melhor decisão*. 5 ed. Campus. Rio de Janeiro.
- HOLLNAGEL, E. (1998)- *Cognitive Reliability and Error Analysis Method CREAM*. Elsevier Science. Oxford.
- HOLLNAGEL, E. (1996)- Reliability analysis and operator modeling. *Reliability Engineering and System Safety*. Vol. 52, p.327-337.
- HOKSTAD, P.; KNUT, O. & REINERTSEN, R. (1998)- Recommendations on the use of expert judgment in safety and reliability engineering studies. *Reliability Engineering and System Safety*. Vol. 61, p. 65-76.
- HUANG, C. & DARWICHE, A. (1994) – Inference in Belief Networks: A Procedure Guide. *International Journal of Approximate Reason*. Vol. 11, p. 1-158.
- INPO (1985). A maintenance analysis of safety significant events. Atlanta, GA: Institute of Nuclear Power Operations.
- KIM, I. S. (2001) Human reliability analysis in the man-machine interface design review. *Annals of Nuclear Energy*. Vol. 28, p. 1069-1081.
- KIRWAN, B. & AINSWORTH, L.K. (1992)- *A guide to task analysis*. Taylor & Francis. Washington.

- KORB, K. B. & NICHOLSON, A. E. (2003)- *Bayesian artificial intelligence*. Chapman & Hall/CRC. Florida.
- KOVAC, S. ROBERT. (2000) - Hysterectomy outcomes in patients with similar indications, *Obstetrics & Gynecology*; 95:787-793.
- KUMAMOTO, H. & HENLEY, E. (1996)- *Probabilistic Risk Assessment and Management for Engineers and Scientists*, IEEE Press, Piscataway, NJ.
- MACEDO ALS, SIMÕES PM, MACEDO FLS. (1995) - Histerectomia vaginal em pacientes não portadoras de prolapso do útero: estudo de 370 casos. *Rev Bras Ginecol Obstet*; 17:1011-9.
- MARSDEN, P. & HOLLNAGEL, E. (1996)- Human interaction with technology: the accidental eser. *Acta Psychologica*. Vol. 91, p. 345-358.
- MARTZ, H. F. & WALLER, R. A. (1982)- *Bayesian reliability analysis*. 2 ed. Krieger Publishing Company. Florida.
- MARX,, D. A. & SLONIM, A. D. (2003)- Assessing patient safety risk before the injury occurs: an introduction to sociotechnical probabilistic modeling in health care. *Qual. Saf. Health Care*. Vol 12, p. 33-38.
- MENEZES, R. C. S. (2005) – Uma metodologia para a avaliação da confiabilidade humana em atividades de substituição de cadeias de isoladores em linhas de transmissão. Recife. 179p. (Mestrado- Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção/ UFPE).
- MOSLEH, A. & CHANG, Y. H. (2004)- Model-based human reliability analysis: prospects and requirements. *Reliability Engineering & System Safety*. Vol. 83, p. 241-253.
- NADLER, G. C. & CAMPELLO, F. M. (2001)- In: 2º International Symposium on Imprecise Probabilities and Their Applications. New York. *A protocol for the elicitation of prior distributions*.
- NAHAS, M. V.(2001)- *Atividade física, Saúde e Qualidade de vida: conceitos e sugestões para um estilo de vida ativo*. Midiograf. Londrina.

- NEAPOLITAN, R. E. (2004)- *Learning Bayesian Networks*. Pearson Prentice Hall. New Jersey.
- ONÍSKO, A., DRUZDZEL, M. J. & WASYLUK, H. (2001)- Learning Bayesian Network parameters from small data sets: application of Noisy-OR gates. *International Journal of Approximate Reasoning*. Vol. 27, p. 165-182.
- PICKARD, LOWE AND GARRICK INC. (1993) - Seabrook Station Probabilistic Safety Assessment, PLG-0300. Prepared for Public Service Company of New Hampshire and Yankee Atomic Electric Company, Newport Beach, CA, USA.
- PEARL, J. (1988)- *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference*. 2 ed. Morgan Kaufmann. California.
- POWERS, S. K. & HONLEY, E. T. (2000)- *Fisiologia do exercício: teoria e aplicação ao condicionamento e ao desempenho*. 3 ed. Manole.
- RASMUSSEN, J. (1980)- *What can be learned from human error reports? In Changes in Working Life*. Wiley. London.
- RASMUSSEN, J.; PEDERSEN, O.M.; MANCINI, G.; CARNINO, A.; GRIFFON, M. & GAGNOLET, P. (1981) - Classification System for Reporting Events Involving Human Malfunctions. Report Riso-M-2240, Riso National Laboratories. Denmark.
- RASMUSSEN, J. (1983)- Skill, Rules, Knowledge: signals, signs and symbols and other distinctions in human performance models. *IEEE transactions: Systems, Man & Cybernetics*. Vol. 13, p. 257-266.
- REASON, J. (1988)- Modeling the basic error tendencies of human operators. *Reliability Engineering and System Safety*. Vol. 22, p.137-153.
- REASON, J. (1990) - *Human Error*. Cambridge University Press. Cambridge.
- ROCK, J. A. & THOMPSON, J. D. (1999)- *Te Linde's Operative Gynecology*. 8 ed. Lippincot – Raven. Philadelphia.
- SANTOS, W. B (2005) – Análise probabilística de riscos via redes Bayesianas: uma aplicação na construção de poços multilaterais. Recife. 158p. (Mestrado- Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção/ UFPE).

- SCHMIDT, R. A. & WRISBERG, C.A (2001)- *Aprendizagem e performance motora: uma abordagem da aprendizagem baseada no problema*. 2 ed. Artemed. Porto Alegre.
- SHORROCK, S.T. & KIRWAN, B. (2002)- Development and application of a human error identification tool for air traffic control. *Applied Ergonomics*. Vol. 33, p. 319-336.
- STAMATELATOS, M. (2002) – Probabilistic Risk Assessment Procedures Guide for NASA Managers and Practitioners. NASA Headquarters, Washington, DC.
- STRATER, O. (2004)- *Considerations on the elements of quantifying human reliability*. *Reliability Engineering & System Safety*. Vol. 83, p. 255-264.
- STUTZKE M et al. (1991) - Accident Sequence Analysis Task Procedure, R.E. Ginna Nuclear Power Plant PRA Project, Procedure TQAP-2118-1.1.
- SWAIN, A D & GUTTMANN, H. E. (1983)- *Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications*, US Nuclear Regulatory Commission. Washington.
- TORIIZUKA, T. (2001)- Application of performance shaping factor (PSF) for work improvement in industrial plant maintenance tasks. *Industrial Ergonomics*. Vol. 28, p. 225-236.
- WALLS, L. & QUIGLEY, J. (2001)- Building prior distributions to support Bayesian reliability growth modeling using expert judgment. *Reliability Engineering & System Safety*. Vol. 74, p. 117-128.
- WICKENS, C. D.; GORDON, S. E. & LIU, Y. (1998)- *An introduction to human factors engineering*. Addison Wesley Educational Publishers. New York.
- WICKENS, C.D. & HOLLANDS, J.G.(2000)- *Engineering Psychology and Human Performance*. Prentice Hall. New Jersey
- WILCOX LS, KOONIN LM, POKRAS R, STRAUSS LT, XIA Z, PETERSON HB.(1994) Hysterectomy in the United States, 1988-1990. *Obstet Gynecol* ; 83:549-55

WREATHALL, J.; BLEY, D.; ROTH, E.; MULTER, J. & RASLEAR, T. (2004)- Using an integrated process of data and modeling in HRA. *Reliability Engineering & System Safety*. Vol. 83, p. 221-228.

Oliveira, Felipe Andrade Gama de
Avaliação probabilística de risco via modelo
causal híbrido em cirurgia: o caso da histerectomia
vaginal / Felipe Andrade Gama de Oliveira. – Recife :
O Autor, 2006.
xiv, 88 folhas : il., fig., tab.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal
de Pernambuco. CTG. Engenharia de Produção,
2006.

Inclui bibliografia.

1. Engenharia de produção – Avaliação de risco.
2. Cirurgia – Avaliação probabilística de risco. 3.
Modelo causal híbrido – Confiabilidade humana e de
equipamento médico-hospitalar. 4. Redes
bayesianas – Seqüência de eventos – Diagrama. I.
Título.

658.5
658.5

CDU (2.ed.)
CDU (22.ed.) **UFPE**
BC2006 – 464