

FRANCISCO DE ASSIS BASILIO DE MORAES

**Aplicação de Redes Bayesianas na Análise de Risco do processo de descarga
do navio-tanque em um terminal portuário especializado**

São Paulo
2015

FRANCISCO DE ASSIS BASILIO DE MORAES

**Aplicação de Redes Bayesianas na Análise de Risco do processo de descarga
do navio-tanque em um terminal portuário especializado**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Ramos Martins

São Paulo
2015

FRANCISCO DE ASSIS BASILIO DE MORAES

Aplicação de Redes Bayesianas na Análise de Risco do processo de descarga do navio-tanque em um terminal portuário especializado

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências

Área de Concentração: Engenharia Naval e Oceânica

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Ramos Martins

São Paulo
2015

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

São Paulo, 06 de Abril de 2015.

Assinatura do autor

Assinatura do orientador

FICHA CATALOGRÁFICA

Moraes, Francisco de Assis Basilio de

Aplicação de redes Bayesianas na análise de risco do processo de descarga do navio-tanque em um terminal portuário especializado / F.A.B. de Moraes. -- ed. rev. -- São Paulo, 2015. 358 p.

Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica.

1.Análise de risco 2.Redes Bayesianas 3.Navio tanque 4.Terminal portuário especializado I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica II.t.

MORAES, F. A. B. DE. **Título:** Aplicação de Redes Bayesianas na Análise de Risco do processo de descarga do navio-tanque em um terminal portuário especializado. São Paulo. 2015. Ed. Rev. 358 págs. (Mestrado) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

Dedico este trabalho a minha esposa, Ana, e aos meus filhos, Gabriel e Rafael.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais por terem me ensinado o respeito ao próximo e ao patrimônio alheio.

Agradeço a minha esposa, Ana Maria, pelos momentos que não pude estar ao seu lado, na elaboração deste trabalho, bem como, pelo mesmo motivo, aos meus filhos Gabriel e Rafael, minhas obras de maior envergadura, certo que viverei eternamente neles, nos filhos deles, e assim por diante.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Marcelo Ramos Martins, insigne professor e engenheiro de escol, pela amizade, pela transmissão do conhecimento, inserindo-me em complexa área da engenharia, bem como pela paciência em sanar as minhas dúvidas. Minha eterna gratidão.

Agradeço aos meus professores, porque em cada palavra e em cada frase que escrevo ou pronuncio há fragmentos do conhecimento transmitido por eles a minha pessoa. E, neste ponto, agradeço especialmente para este trabalho, aos Profs. Drs. Gilberto Francisco Martha de Souza e Fábio Gagliardi Cozman.

Agradeço aos amigos do Curso de Pós-Graduação *strictu sensu* do Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, Marcos Shoiti, Marcos Maturana, Márcio Salazar, Vitor, Maurício Penteado, pelas sugestões e críticas.

Agradeço aos funcionários do Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, tanto da Secretaria da Pós, na pessoa da Lânia, quanto do LabRisco na pessoa dos técnicos Rodolfo e Cléber.

Por fim, agradeço a todos os profissionais e especialistas das Cias. tratadas nesta dissertação, relacionadas ao objeto de estudo, em especial aos Comandantes Aufingger e Roberto, bem como ao Eng. Francisco Barreto.

Of all things, good sense is the most fairly distributed: everyone thinks he is so well supplied with it that even those who are the hardest to satisfy in every other respect never desire more of it than they already have. (Le Discours de la Méthode, René Descartes, 1637)

RESUMO

Sistemas de transporte marítimo são essenciais para o Comércio Global, em especial, navios-tanques e seus centros de carga e descarga de produtos líquidos ou gasosos inflamáveis; portanto, é crucial entender como estes sistemas podem falhar, para que seus operadores sejam capazes de manter a sua capacidade de operação. É preciso que cada e toda análise quantitativa de risco compreenda algumas das atividades básicas que devem ser desenvolvidas, para permitir a quantificação dos riscos envolvidos e associados, na operação do sistema ou do processo. Basicamente, devem ser calculadas as probabilidades de ocorrência dos eventos indesejados identificados, bem como a magnitude de suas consequências. O objetivo deste trabalho é aferir se a técnica denominada Rede Bayesiana – RB – é a mais adequada, comparando-a com as técnicas de árvores de falhas e de eventos, para realizar uma Análise de Risco da operação ou processo de descarga de líquidos inflamáveis, como etanol anidro e/ou produtos petrolíferos, de um navio-tanque para um terminal portuário específico – Terminal de Granéis Líquidos – TGL – com foco na interface entre dois sistemas: o navio e o porto, observado o elemento humano, ou seja, o erro humano (Análise da Confiabilidade Humana). Além disso, será realizado um estudo das consequências do vazamento de um líquido inflamável transportado pelo navio, olhando para o pior cenário, a partir da ruptura da tubulação ou do compartimento do navio-tanque. A análise tem por base as recomendações da Organização Internacional Marítima – OIM (em inglês, IMO). A OIM tem adotado a Avaliação Formal da Segurança – AFS (em inglês, *Formal Safety Assessment – FSA*), como seu modo oficial de receber as sugestões de seus membros para criar ou modificar qualquer regulamentação correlacionada. Este processo é composto de cinco passos que a OIM descreve na guia AFS (IMO, 2002). Este trabalho irá mostrar todas as etapas, mas irá focar, com especial atenção, a segunda etapa – *Risk Assessment*, porque será aplicada ao caso sob análise, envolvendo o comportamento humano. Existem muitas técnicas e muito trabalho envolvido na estimação das probabilidades dos eventos. O mesmo ocorre para a avaliação de suas consequências. Uma vez definida a quantidade total de vazamento, um *software* poderá ser usado para calcular as consequências. O mesmo será feito para

na Análise de Risco, utilizando RB, e, neste ponto, o trabalho apresenta uma nova contribuição.

Palavras-Chave: Análise de Risco. Avaliação Formal da Segurança. Navio-tanque. Terminal de Granéis Líquidos. Redes Bayesianas.

ABSTRACT

Maritime transportation systems are essential for World Trade, in special, Tankers ships and yours loading and unloading facilities; therefore, it is crucial to understand how these systems may fail, to be able to maintain their capacity. It need that each and every quantitative risk assessment comprises some basic activities that have to be developed to allow the quantification of the risks involved in the operation of a system or process. Basically, it must be estimated the likelihood of the identified undesired events as well as the magnitude of their consequences. The objective of this study is to assess if the technique called Bayesian Networks – BN – is the best suited, with respect to the Fault Tree Analysis – FTA and the Event Tree Analysis – ETA, to perform an Risk Analysis of the operation or process of unloading of flammable bulk liquids, such as anhydrous ethanol and/or oil products, from a Tanker to a port terminal specified – the Bulk Liquid Terminal – BLT, focusing on the interface between the two systems: ship and port with the inclusion of the human factor, i.e., human error: Human Reliability Analysis – HRA. Furthermore, a consequence analysis of a specific liquid bulk leakage will be performed, looking at the worst scenario case, from the rupture of a pipeline or tank from a Tanker. The analysis came from based on the recommendations of the International Maritime Organization – IMO. The IMO has adopted the FSA (Formal Safety Assessment) as its official way of receiving suggestions of its members to create or modify any regulation correlated. It is a process composed by five steps that IMO has described in its Guidelines for FSA (IMO, 2002). This thesis will to show all steps, but will look carefully to step two (Risk Assessment) because it will be applied in the example situation, involving human behavior (HRA). There are many techniques and much work involved in the estimation of the likelihood of the events. The same occurs for the evaluation of their consequences. Once defined the total leaked quantity, software will be used to calculate the consequences. The same will be done to Risk Analysis, using BN, and at this point, the work is a new contribution.

Keywords: Risk Analysis. Formal Safety Assessment. Tanker. Bulk Liquid Terminal. Bayesian Networks.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | | | |
|-----------|---|--|----|
| Figura 1 | – | – Percentual acumulado de derramamento de petróleo e derivados de forma acidental no Mundo, (≥ 700 ton.) por idade de navio, para diferentes décadas – extraído de Burgherr et al. (2012). | 3 |
| Figura 2 | – | – Georreferências de derramamento de petróleo e seus derivados de forma acidental no Mundo (≥ 700 ton.) para o período de 1970-2010, onde são representadas, por tamanho, três classes de derramamento. Para as ecorregiões marítimas do Mundo (MEOW), é mostrado um índice de risco, com base em diferentes medidas de derramamento – NA = não observado derramamento – extraído de Burgherr et al. (2012). | 3 |
| Figura 3 | – | – Acidentes ambientais na Baixada Santista – São Paulo. Destaque para o Terminal Marítimo – extraído de POFFO et al. (2013) com adaptações . | 7 |
| Figura 4 | – | – Correlação gráfica entre o evento e , o espaço amostral Ω , o conjunto dos reais, com as <i>probabilidades associadas a cada estado do evento e</i> . | 21 |
| Figura 5 | – | – Tipos de consequências dadas pelas ocorrências (CCPS-AIChE, 2008) | 31 |
| Figura 6 | – | – Processo de Análise e Avaliação de Risco (extraído de MARTINS, 2013). | 37 |
| Figura 7 | – | – Forma genérica da função de distribuição acumulada de falha $F(t)$ e da função de confiabilidade $R(t)$ para uma dada função de distribuição (ou de densidade) de probabilidade $f(t)$ (extraído de MARTINS, 2013). | 41 |
| Figura 8 | – | – Função de densidade de probabilidade $f(t)$ e a relação numérica com $F(t)$ e $R(t)$ | 42 |
| Figura 9 | – | – Gráfico da função densidade de probabilidade (f.d.p.) de uma distribuição triangular . | 42 |
| Figura 10 | – | – Gráfico da função densidade de probabilidade acumulada – f.d.p.a.. | 43 |
| Figura 11 | – | – Número de técnicas existentes para a HRA (extraído de MARTINS, 2013) | 44 |
| Figura 12 | – | – Acoplamento entre “sharp-end” e “blunt-end” – modelos de acidentes epidemiológicos (extraído de HOLLGANEL, 2002) | 45 |
| Figura 13 | – | – Descrição Geral da ATHEANA – extraído da apresentação de MELO, 2007 . | 50 |
| Figura 14 | – | – Modelo Individual do Operador Humano no IDAC estendido (extraído de AZARKHIL e MOSLEH, 2013) | 51 |
| Figura 15 | – | – Fases da THERP (extraído de MARTINS, 2013) | 52 |

| | | | |
|-----------|---|--|-----|
| Figura 16 | – | – Integração das Redes Bayesianas na HRA (extraído de DROGUETT e MENÊSES, 2007) | 53 |
| Figura 17 | – | – Passos Propostos pela FSA (extraído de MARTINS, 2013) | 58 |
| Figura 18 | – | – Fluxograma da Avaliação Probabilística de Risco | 60 |
| Figura 19 | – | – Planilha de PHA (a ser aplicada ao caso, conforme o APÊNDICE B) | 63 |
| Figura 20 | – | – Regras da Álgebra de Boole (adaptado de MODARRES, 2010) | 69 |
| Figura 21 | – | – Símbolos dos eventos da FTA (adaptado de SILVA, 2013) | 70 |
| Figura 22 | – | – Representação dos conectores (portões) lógicos em uma árvore de falha (adaptado de RODRIGUEZ, 2012) | 70 |
| Figura 23 | – | – Árvore de falhas da perda do sistema de propulsão de um navio (ABS, 2000 e 2003) | 72 |
| Figura 24 | – | – Árvore de falhas equivalente com os respectivos cortes mínimos (extraído de SILVA, 2013) | 73 |
| Figura 25 | – | – Aspecto típico de uma árvore de eventos com 04 (quatro) eventos (de perigo, se for o caso) – adaptado de MARTINS, 2013. | 77 |
| Figura 26 | – | – Aspecto característico de uma rede bayesiana correlacionando, por intermédio de “arcos direcionados”, as variáveis, representadas pelos círculos denominados “nós”, dentre os quais os nós pais e os nós filhos (adaptada de ISO, 2008). | 79 |
| Figura 27 | – | – Exemplos de grafos direcionados | 84 |
| Figura 28 | – | – Representação gráfica de $A \cup C B$. | 85 |
| Figura 29 | – | – Representação gráfica da generalização do exemplo | 86 |
| Figura 30 | – | – Estrutura da rede exemplo . | 89 |
| Figura 31 | – | – Nós X e Y d-separados . | 91 |
| Figura 32 | – | – Inferência – extraído de MARTINS (2013). | 94 |
| Figura 33 | – | – Conversão de Árvores de Falhas em Rede Bayesiana – extraído de MARTINS (2013). | 98 |
| Figura 34 | – | – Rede Bayesiana obtida da árvore de falhas com a porta “E” (extraída de MARTINS, 2013). | 99 |
| Figura 35 | – | – Redes Bayesianas obtidas das árvores de falhas com as portas “OU” e “OU EXCLUSIVO”. | 100 |
| Figura 36 | – | – Integração e Conversão da Árvore de Falhas em Redes Bayesianas – adaptado de MATURANA (2010). | 101 |
| Figura 37 | – | – Exemplo de rede bayesiana dinâmica (RBD) com a utilização do exemplo do item (7) do Apêndice A. | 102 |
| Figura 38 | – | – Rede Bayesiana Dinâmica Genérica (extraída de GHARAMANI, 1998, com adaptações) | 102 |

| | | | |
|-----------|---|--|-----|
| Figura 39 | – | – Diagrama relativo aos fatores que influenciam a probabilidade de vazamentos de produtos transportados por um navio tanqueiro – extraído de HAUGEN et al., 2012 . | 108 |
| Figura 40 | – | – Método para realização da HRA por meio das Redes Bayesianas – extraído de MATURANA (2010). | 113 |
| Figura 41 | | – Fluxograma da HRA – extraído de ISO, 2008 . | 116 |
| Figura 42 | – | – Modelagem dos fatores que influenciam o desempenho humano – extraído de MATURANA (2010). | 117 |
| Figura 43 | – | – Rede Genérica para Fatores de Desempenho – extraído de MATURANA (2010). | 120 |
| Figura 44 | – | – Mudança de ênfase nos tipos de causas de acidentes – extraído de HOLLNAGEL, 2007 . | 130 |
| Figura 45 | – | – (a) Navio-Tanque (OGX); Figura 45 – (b) Terminal de Granéis Líquidos (e Gasosos – à direita – CODEBA) | 131 |
| Figura 46 | – | – Vista aérea do Terminal de Granéis Líquidos objeto do estudo – TGL (adaptado do GOOGLE Earth). | 135 |
| Figura 47 | – | – Vista aérea do TGL, da tubulação e dos tanques de combustíveis (Adaptado do Google Earth). | 135 |
| Figura 48 | – | – Vista aérea do TGL em relação à Cidade de Vitória/ES (Adaptado do Google Earth). | 136 |
| Figura 49 | – | – Diagrama de amarração do navio-tanque no TGL (extraído de Informações Portuárias – TRANSPETRO, 2012) | 140 |
| Figura 50 | – | – Tubulações usadas entre o manifold e os tanques de armazenamento – informações da Cia. Concessionária, 2013 . | 141 |
| Figura 51 | – | – Tabela com os dados relativos aos combustíveis descarregados e as bombas. Eventualmente, há descarga de álcool etílico anidro combustível (AEAC) – informações da Cia. Concessionária, 2013 . | 142 |
| Figura 52 | – | – Terminal de Granéis Líquidos – Cais | 143 |
| Figura 53 | – | – Terminal de Granéis Líquidos – Porto | 143 |
| Figura 54 | – | – Movimento relativo entre o mangote do navio e a plataforma de movimentação de óleo (extraído de ALFREDINI et al., 2009). | 146 |
| Figura 55 | – | – Conexão dos sistemas porto e navio-tanque no TGL na etapa de descarga (extraído de TRANSPETRO, 2012). | 146 |
| Figura 56 | – | – Conexão dos sistemas porto e navio-tanque no TGL, etapa de descarga – extraído de TRANSPETRO, 2012 . | 147 |
| Figura 57 | – | – Terminal de Granéis Líquidos – Porto de Santos – Sistema Equivalente ao do objeto de estudo – extraído de TRANSPETRO, 2012 . | 148 |
| Figura 58 | – | – Árvore de falhas – evento-topo “não descarga”. | 163 |

| | | | |
|-----------|---|---|-----|
| Figura 59 | – | – Árvore de falhas – falha na programação – navio-tanque. | 163 |
| Figura 60 | – | – Árvore de Falhas – falha na aproximação – navio-tanque. | 164 |
| Figura 61 | – | – Árvore de falhas – falha na atracação – navio-tanque. | 164 |
| Figura 62 | – | – Árvore de falhas – falha na descarga – navio-tanque. | 164 |
| Figura 63 | – | – Árvore de falhas – falha na desatracação – navio-tanque. | 165 |
| Figura 64 | – | – Árvore de falhas – falha na programação – TGL. | 165 |
| Figura 65 | – | – Árvore de falhas – falha na aproximação – TGL. | 166 |
| Figura 66 | – | – Árvore de falhas – falha na preparação – TGL. | 166 |
| Figura 67 | – | – Árvore de falhas – falha na atracação – TGL. | 167 |
| Figura 68 | – | – Árvore de falhas – falha na descarga – TGL. | 167 |
| Figura 69 | – | – Árvore de falhas – falha na desatracação – TGL. | 167 |
| Figura 70 | – | – Árvore de Eventos – Descarga Líquida – NT para o TGL. | 170 |
| Figura 71 | | – Rede bayesiana para a etapa de programação. | 172 |
| Figura 72 | | – Rede bayesiana para a etapa de preparação. | 172 |
| Figura 73 | | – Rede bayesiana para a etapa de aproximação. | 173 |
| Figura 74 | | – Rede bayesiana para a etapa de atracação. | 173 |
| Figura 75 | | – Rede bayesiana para a etapa de descarga. | 174 |
| Figura 76 | | – Rede bayesiana para a etapa de desatracação. | 175 |
| Figura 77 | | – Rede bayesiana completa com a conversão da árvore de falhas do tópico 4.3. | 176 |
| Figura 78 | – | – Rede Bayesiana do evento 2. | 183 |
| Figura 79 | – | – Rede Bayesiana do evento 3. | 183 |
| Figura 80 | – | – Rede bayesiana do evento 6. | 184 |
| Figura 81 | – | – Rede bayesiana do evento 7. | 184 |
| Figura 82 | – | – Rede bayesiana do evento 10. | 185 |
| Figura 83 | – | – Rede Bayesiana do evento 11. | 186 |
| Figura 84 | – | – Rede Bayesiana do evento 13. | 187 |
| Figura 85 | – | – Rede bayesiana do evento 19. | 187 |
| Figura 86 | – | – Rede bayesiana do evento 20. | 188 |
| Figura 87 | – | – Mangotes industriais offshore – extraído do site: http://br.hansa-flex.com/solutions/mangueiras_offshore.html . | 189 |
| Figura 88 | – | – Rede bayesiana do evento 21. | 189 |

| | | | |
|------------|---|--|-----|
| Figura 89 | | – Rede Bayesiana do evento 25 . | 190 |
| Figura 90 | – | – Rede bayesiana do evento 26 . | 190 |
| Figura 91 | – | – Rede bayesiana do evento 29 . | 191 |
| Figura 92 | – | – Rede Bayesiana do evento 33 . | 192 |
| Figura 93 | – | – Rede Bayesiana do evento 38 . | 192 |
| Figura 94 | – | – Rede Bayesiana do evento 39 . | 193 |
| Figura 95 | – | – Rede bayesiana dos fatores que influenciam na atividade 2-1 “atividade gerente da Cia. transportadora informa”. | 199 |
| Figura 96 | – | – Probabilidade de ocorrência e não ocorrência da falha na descarga, tendo em vista a RB completa . | 207 |
| Figura 97 | – | – Rede Bayesiana Completa do Processo sob estudo (NT-TGL) com a HRA . | 208 |
| Figura 98 | – | – Riscos resultantes do vazamento de substância líquida inflamável na área do TGL e do NT . | 209 |
| Figura 99 | – | – Distâncias de interesse para o evento de flashfire – ajustado do PHAST RISK 6.5.4, DNV . | 215 |
| Figura 100 | – | – Efeitos de incêndio <i>de poça</i> (late pool fire) – extraído do PHAST RISK 6.5.4, DNV . | 216 |
| Figura 101 | – | – Regiões de interesse para concentração de 50% do LFL – ajustado do PHAST RISK 6.5.4., DNV . | 217 |
| Figura 102 | – | – Comparação com as regiões de interesse da figura anterior, incluindo as áreas críticas (Adaptado em escala do Google Earth e do PHAST RISK). | 217 |
| Figura 103 | – | – Árvore de eventos – extraído da norma ISO 31010, p. 59, com adaptações . | 240 |
| Figura 104 | – | – <i>Rede Bayesiana</i> do “the dog problem” demonstrando a topologia e as TPC – extraído de CHARNIAK (1991) apud COZMAN (2013). | 241 |
| Figura 105 | – | – Exemplo de diagnóstico médico – extraído de NORSYS, 2010 . | 246 |
| Figura 106 | – | – Exemplo de inferência em Rede Bayesiana – extraído de MURPHY (1998). | 247 |
| Figura 107 | – | – Clustering de nós em RB – extraído de MURPHY (1998). | 248 |
| Figura 108 | – | – Verificação do cálculo para o valor de α . | 252 |
| Figura 109 | – | – Rede Bayesiana do Evento Básico (2) de falha na identificação do Navio-Tanque . | 286 |
| Figura 110 | – | – TPC para o nó GerenteInforma . | 287 |
| Figura 111 | – | – TPC para o nó SupervisorEntende . | 287 |
| Figura 112 | – | – TPC para o nó ON_Manobra_NT. | 287 |
| Figura 113 | – | – TPC para o nó ComandanteRatifica . | 287 |
| Figura 114 | – | – TPC para o nó TomadaDecisao . | 287 |

| | | | |
|------------|---|--|-----|
| Figura 115 | - | - TPC para o nó DeteccaoErro . | 287 |
| Figura 116 | - | - Rede Bayesiana do Evento Básico (3) de falha sobre o deslocamento (Δ) do Navio-Tanque . | 288 |
| Figura 117 | - | - Rede Bayesiana do Evento Básico (6) de falha de comunicação entre o Navio-Tanque e o TGL . | 290 |
| Figura 118 | - | - TPC para o nó ON_Manobra_NT . | 291 |
| Figura 119 | - | - TPC para o nó ComandanteRatifica . | 291 |
| Figura 120 | - | - TPC para o nó ComandanteComunicacao . | 291 |
| Figura 121 | - | - TPC para o nó SupTGLComunicacao . | 291 |
| Figura 122 | - | - TPC para o nó TomadaDecisao . | 291 |
| Figura 123 | - | - TPC para o nó DeteccaoErro . | 291 |
| Figura 124 | - | - Rede Bayesiana do Evento Básico (7) de falha na manobra de aproximação do Navio-Tanque para o TGL . | 292 |
| Figura 125 | - | - TPC para o nó PraticoSugere . | 293 |
| Figura 126 | - | - TPC para o nó ComandanteRatifica . | 293 |
| Figura 127 | - | - TPC para o nó TimoneiroErra . | 293 |
| Figura 128 | - | - TPC para o nó TomadaDecisao . | 293 |
| Figura 129 | - | - TPC para o nó DeteccaoErro . | 293 |
| Figura 130 | - | - Rede Bayesiana do Evento Básico (10) de falha na descarga devido ao conflito entre os integrantes da equipe do TGL . | 294 |
| Figura 131 | - | - TPC para o nó InspetorCMIinforma | 295 |
| Figura 132 | - | - TPC para o nó SupervisorNaoAtuaConflito . | 295 |
| Figura 133 | - | - TPC para o nó LiderOperacaoNaoFazNada . | 295 |
| Figura 134 | - | - TPC para o nó InspetorA1naoCritica . | 295 |
| Figura 135 | - | - TPC para o nó InspetorA2naoCritica | 295 |
| Figura 136 | - | - TPC para o nó DeteccaoErro . | 295 |
| Figura 137 | - | - TPC para o nó TomadaDecisao . | 296 |
| Figura 138 | - | - Rede Bayesiana do Evento Básico (11) de falha na descarga devido à inexperiência de alguns integrantes da equipe do TGL . | 297 |
| Figura 139 | - | - TPC para o nó TomadaDecisao . | 298 |
| Figura 140 | - | - Rede Bayesiana do Evento Básico (13) de falha na execução da manobra de atracação, e conseqüentemente da descarga, tanto da equipe do NT, quando da equipe do TGL, devido a pressões comerciais . | 299 |
| Figura 141 | - | - TPC para o nó PraticoSugere . | 300 |

| | | | |
|------------|---|---|-----|
| Figura 142 | – | – TPC para o nó InpetorAtracA2naoCritica (que o mesmo de InspetorAtracA1naoCritica). | 300 |
| Figura 143 | – | – TPC para o nó GerenteInforma . | 300 |
| Figura 144 | – | – TPC para o nó SupTGLNaoFazNada . | 300 |
| Figura 145 | – | – TPC para o nó SupCiaTranspConcorda . | 300 |
| Figura 146 | – | – TPC para o nó LiderOpSeOmite . | 300 |
| Figura 147 | – | – TPC para o nó ON_Manobra_NT . | 301 |
| Figura 148 | – | – TPC para o nó InspetorCMIInforma . | 302 |
| Figura 149 | – | – TPC para o nó ComandanteRatifica . | 302 |
| Figura 150 | – | – TPC para o nó TimoneiroErra . | 302 |
| Figura 151 | – | – TPC para o nó TomadaDecisao . | 302 |
| Figura 152 | – | – TPC para o nó DeteccaoErro . | 302 |
| Figura 153 | – | – Rede Bayesiana do Evento Básico (19) de falha na execução da equipe do NT na manobra de atracação, e conseqüentemente da descarga, devido a outras questões . | 303 |
| Figura 154 | – | – TPC para o nó ON_Manobra_NT . | 304 |
| Figura 155 | – | – TPC para o nó MarinheirosCumpreOrdem . | 304 |
| Figura 156 | – | – TPC para o nó TimoneiroCumpreOrdem . | 304 |
| Figura 157 | – | – TPC para o nó TomadaDecisao . | 304 |
| Figura 158 | – | – Rede Bayesiana do Evento Básico (20) de falha na execução da equipe do TGL na manobra de atracação, e conseqüentemente da descarga, devido a outras questões . | 305 |
| Figura 159 | – | – TPC para o nó AmarradoresExecutamOrdem . | 306 |
| Figura 160 | – | – TPC para o nó LiderOpdaOrdem . | 306 |
| Figura 161 | – | – TPC para o nó InspetorAtracA1naoCritica (que é o mesmo para InspetorAtracA2naoCritica). | 307 |
| Figura 162 | – | – TPC para o nó TomadaDecisao . | 307 |
| Figura 163 | – | – TPC para o nó DeteccaoErro . | 308 |
| Figura 164 | – | – Rede Bayesiana do Evento Básico (21) de falha do operador do mangote, marinheiro do NT . | 309 |
| Figura 165 | – | – TPC para o nó OperadorMangoteCumpreOrdem . | 310 |
| Figura 166 | – | – TPC para o nó TomadaDecisao . | 310 |
| Figura 167 | – | – TPC para o nó DeteccaoErro . | 310 |
| Figura 168 | – | – Rede Bayesiana do Evento Básico (25) de falha na manobra de descarga, tanto da equipe do NT, quanto da equipe do TGL, devido a pressões comerciais . | 311 |
| Figura 169 | – | – TPC para o nó MarinheiroMangoteCumpreOrdem . | 312 |

| | | | |
|------------|---|---|-----|
| Figura 170 | – | – TPC para o nó ON_Manobra_NT. | 312 |
| Figura 171 | – | – TPC para o nó GerenteInforma. | 312 |
| Figura 172 | – | – TPC para o nó SupCiaTranspConcorda. | 313 |
| Figura 173 | – | – TPC para o nó LiderOpSeOmite. | 313 |
| Figura 174 | – | – TPC para o nó InspetorCMIInforma. | 313 |
| Figura 175 | – | – TPC para o nó TomadaDecisao. | 313 |
| Figura 176 | – | – TPC para o nó DeteccaoErro. | 313 |
| Figura 177 | – | – Rede Bayesiana do Evento Básico (26) de falha na operação de conexão do manifold com o navio-tanque, tanto da equipe do NT, quanto da equipe do TGL. | 314 |
| Figura 178 | – | – TPC para o nó LiderNaoMandaParar. | 315 |
| Figura 179 | – | – TPC para o nó MarinheiroMangoteCumpreOrdem. | 315 |
| Figura 180 | – | – TPC para o nó OficialNauticaSeOmite. | 315 |
| Figura 181 | – | – TPC para o nó TomadaDecisao. | 315 |
| Figura 182 | – | – TPC para o nó DeteccaoErro. | 315 |
| Figura 183 | – | – Rede Bayesiana do Evento Básico (29) de falha na manobra de recolhimento do mangote, tanto da equipe do NT, quanto da equipe do TGL, devido a pressões comerciais. | 316 |
| Figura 184 | – | – TPC para o nó MarinheiroMangoteCumpreOrdem. | 317 |
| Figura 185 | – | – TPC para o nó InspetoDesatracNaoCritica. | 317 |
| Figura 186 | – | – TPC para o nó OficialNauticaSeOmite. | 317 |
| Figura 187 | – | – TPC para o nó LiderNaoMandaParar. | 317 |
| Figura 188 | – | – TPC para o nó TomadaDecisao. | 318 |
| Figura 189 | – | – TPC para o nó DeteccaoErro. | 318 |
| Figura 190 | – | – Rede Bayesiana do Evento Básico (33) de falha na manobra de desatracação, tanto da equipe do NT, quanto da equipe do TGL, devido a pressões comerciais. | 319 |
| Figura 191 | – | – TPC para o nó PraticoSugere | 320 |
| Figura 192 | – | – TPC para o nó InspetorCMIInforma. | 320 |
| Figura 193 | – | – TPC para o nó InspetorDesatracNaoCritica. | 320 |
| Figura 194 | – | – TPC para o nó LiderOpNaoFazNada. | 320 |
| Figura 195 | – | – TPC para o nó SupTGLDaOrdem. | 320 |
| Figura 196 | – | – TPC para o nó GerenteCiaTranspConcorda. | 320 |
| Figura 197 | – | – TPC para o nó SupCiaTranspConcorda. | 321 |
| Figura 198 | – | – TPC para o nó MarinheiroConvesCumpreOrdem. | 321 |

| | | | |
|------------|---|--|-----|
| Figura 199 | – | – TPC para o nó TimoneiroCumpreOrdem. | 321 |
| Figura 200 | – | – TPC para o nó TomadaDecisao. | 321 |
| Figura 201 | – | – TPC para o nó ONmanobraNT – 1ª parte. | 322 |
| Figura 202 | – | – TPC para o nó ONmanobraNT – 2ª parte. | 323 |
| Figura 203 | – | – Rede Bayesiana do Evento Básico (38) de falha na manobra de desatracação, da equipe do TGL, devido a outras questões. | 324 |
| Figura 204 | – | – TPC para o nó InspetorCMIInforma. | 325 |
| Figura 205 | – | – TPC para o nó SupTGLDaOrdem. | 325 |
| Figura 206 | – | – TPC para o nó LiderOpSeOmite. | 325 |
| Figura 207 | – | – TPC para o nó InspetorDesatracNaoCritica. | 325 |
| Figura 208 | – | – TPC para o nó GerenteCiaTranspConcorda. | 325 |
| Figura 209 | – | – TPC para o nó SupCiaTranspConcorda. | 326 |
| Figura 210 | – | – TPC para o nó TomadaDecisao. | 326 |
| Figura 211 | – | – TPC para o nó DeteccaoErro. | 326 |
| Figura 212 | – | – Rede Bayesiana do Evento Básico (39) de falha na manobra de desatracação, da equipe do NT, devido a outras questões. | 327 |
| Figura 213 | – | – TPC para o nó PraticoSugere. | 328 |
| Figura 214 | – | – TPC para o nó ONmanobraNT. | 328 |
| Figura 215 | – | – TPC para o nó ComandanteRatifica. | 328 |
| Figura 216 | – | – TPC para o nó MarinheiroConvesCumpremOrdem. | 328 |
| Figura 217 | – | – TPC para o nó TimoneiroCumpreOrdem. | 328 |
| Figura 218 | – | – TPC para o nó TomadaDecisao. | 329 |
| Figura 219 | – | – TPC para o nó DeteccaoErro. | 329 |

LISTA DE TABELAS

| | | | |
|-----------|---|---|-----|
| Tabela 1 | – | – Classificação das substâncias <i>perigosas</i> – <i>extraído do IMDG Code.</i> | 2 |
| Tabela 2 | – | – Evolução da tonelage m de carga embarcada e desembarcada – granéis líquidos – Fonte Anuário Estatístico Aquaviário/ ANTAQ | 4 |
| Tabela 3 | – | – Evolução da tonelage m de carga transportada em sistema de cabotagem – Fonte Anuário Estatístico Aquaviário/ ANTAQ | 5 |
| Tabela 4 | – | – Eventos indesejáveis ocorridos no litoral do Espírito Santo com produtos líquidos inflamáveis – fonte: Capitania dos Portos do ES e Tribunal Marítimo, 2013. | 6 |
| Tabela 5 | – | – Eventos indesejáveis ocorridos no litoral de São Paulo, extraído de POFFO et al. (2013). | 6 |
| Tabela 6 | – | – Valores de Frequência de Ocorrência (IMO, 2002) | 30 |
| Tabela 7 | – | – Valores de Consequência de Ocorrência (IMO, 2002) | 31 |
| Tabela 8 | – | – Matriz de Risco de acordo com a IMO (IMO, 2002) | 33 |
| Tabela 9 | – | – Categorias de Risco (extraído de SMITH, 2001, com adaptações) | 33 |
| Tabela 10 | – | – Correlação entre os passos da FSA e da HRA (IMO, 2002) | 46 |
| Tabela 11 | – | – Métodos ou Técnicas utilizadas na avaliação quantitativa ou qualitativa do risco (elaborada a partir de ISO, 2008 e de ABS, 2000, 2003) | 56 |
| Tabela 12 | – | – Classificação da frequência de ocorrência de eventos de perigo (adaptado de CORREA et al., 2006 apud RODRIGUEZ, 2012 – ver APÊNDICE B) | 64 |
| Tabela 13 | – | – Classificação de consequências (extraído de CORREA et al., 2006 apud RODRIGUEZ, 2012 – ver APÊNDICE B) | 65 |
| Tabela 14 | – | – Fatores Organizacionais e de Gestão ou Gerenciais – extraído de MATURANA (2010). | 122 |
| Tabela 15 | – | – Fatores Internos correlacionados aos MOF – adaptado de MATURANA (2010) | 124 |
| Tabela 16 | – | – Fatores Ambientais presentes na interação NT – TGL – adaptado de MATURANA (2010). | 126 |
| Tabela 17 | – | – Habilidades relacionadas aos operadores que realizam o processo de descarga – adaptado de MATURANA (2010). | 127 |
| Tabela 18 | – | – Carga e Descarga dos Produtos Inflamáveis no TGL sob estudo – dados físicos – extraído de TRANSPETRO, 2012. | 144 |
| Tabela 19 | – | – Níveis de Severidade. | 150 |
| Tabela 20 | – | – Níveis de Ocorrência. | 150 |
| Tabela 21 | – | – Níveis de indetectabilidade. | 151 |
| Tabela 22 | – | – Ranqueamento das falhas na descarga dos produtos líquidos inflamáveis do NT para o TGL. | 152 |

| | | | |
|-----------|---|--|-----|
| Tabela 23 | – | – Composição Probabilística de S, O e D | 159 |
| Tabela 24 | – | – Expressões dos eventos intermediários na FT | 169 |
| Tabela 25 | – | – Eventos básicos e atividades correlacionadas | 179 |
| Tabela 26 | – | – Habilidades correlacionadas às atividades | 194 |
| Tabela 27 | – | – Fatores de Desempenho para a “atividade gerente da Cia. transportadora informa ” | 198 |
| Tabela 28 | – | – TPC para Nó “filho” que possui somente um nó “pai”. | 202 |
| Tabela 29 | – | – TPC para Nó “filho” que possui dois nós “pais”. | 203 |
| Tabela 30 | – | – TPC para Nó “filho” que possui três nós “pais”. | 204 |
| Tabela 31 | – | – TPC para Nó “filho” que possui quatro nós “pais”. | 205 |
| Tabela 32 | – | – TPC para Nó “filho” que possui cinco nós “pais”. | 206 |
| Tabela 33 | – | – Ponto de fulgor e de ebulição dos produtos descarregados no TGL – extraído de IBAMA, 2013 e BR Distribuidora (2014). | 211 |
| Tabela 34 | – | – Classificação de substâncias inflamáveis – CETESB, 2003 . | 211 |
| Tabela 35 | – | – Dados toxicológicos e propriedades físico-químicas do álcool anidro, IBAMA (2013). | 212 |
| Tabela 36 | – | – Características do navio tanqueiro referência – extraído de PETROBRAS (2013), UFRJ (2013). | 213 |
| Tabela 37 | – | – Características climáticas e meteorológicas de Vitória – ES – Brasil, IBAMA (2013), INPE (2013). | 213 |
| Tabela 38 | – | – Condições dos ventos em Vitória – ES – Brasil, IBAMA (2013). | 214 |
| Tabela 39 | – | – Resultados da análise de consequências para flashfire e late pool fire– ajustado do PHAST, DNV . | 216 |
| Tabela 40 | – | – Probabilidades de não descarga, de acordo com as técnicas de PRA . | 220 |
| Tabela 41 | – | – Valores de $P(X Y) \geq 0$ | 243 |
| Tabela 42 | – | – Conjunção de probabilidades das variáveis X e Y | 244 |
| Tabela 43 | – | – Valores de $P(Y X) \geq 0$ | 244 |
| Tabela 44 | – | – Tabela de Probabilidades Condicionais do exemplo | 245 |
| Tabela 45 | – | – Cálculo de β | 251 |
| Tabela 46 | – | – Cálculo de $P(h,I)$ | 253 |
| Tabela 47 | – | – Tabela de Classificação de consequências (extraída de CORREA, et al., 2006). | 257 |
| Tabela 48 | – | – Matriz de Risco (adaptada de RODRIGUEZ apud SOUZA e MARTINS, 2012). | 257 |
| Tabela 49 | – | – Análise Preliminar de Perigos (APP) – etapas relativas ao processo de descarga do sistema navio-tanque para o sistema porto (TGL). | 258 |

| | | | |
|-----------|---|--|-----|
| Tabela 50 | – | – 2-2 – Entendimento (errado) do Supervisor do TGL . | 277 |
| Tabela 51 | – | – 2-3 – O Oficial de Náutica (ON) manobra o navio . | 277 |
| Tabela 52 | – | – 2-4 – Comandante do NT ratifica o erro . | 277 |
| Tabela 53 | – | – 2-5 – Tomada de Decisão . | 278 |
| Tabela 54 | – | – 2-6 – Detecção do Erro . | 278 |
| Tabela 55 | – | – 6-1 – O ON entendeu (errado). | 278 |
| Tabela 56 | – | – 6-3 – O Comandante do NT não fez contato por qualquer meio . | 279 |
| Tabela 57 | – | – 7-1 – O Prático sugere manobra (errada). | 279 |
| Tabela 58 | – | – 7-3 – Erro do Timoneiro (na manobra do leme). | 280 |
| Tabela 59 | – | – 10-1 – O Supervisor do TGL não atua no conflito . | 280 |
| Tabela 60 | – | – 10-2 – O Líder da Operação não faz nada . | 281 |
| Tabela 61 | – | – 10-3 – O Inspetor A1 não critica . | 281 |
| Tabela 62 | – | – 10-5 – O Inspetor CM informa (errado). | 281 |
| Tabela 63 | – | – 11-1 – O Supervisor do TGL mantém a equipe . | 282 |
| Tabela 64 | – | – 11-2 – O Líder da Operação concorda . | 282 |
| Tabela 65 | – | – 13-2 – O Supervisor da Cia. Transportadora concorda . | 283 |
| Tabela 66 | – | – 19-4 – Erro dos Marinheiros de Convés (são dois na faina – em conjunto). | 283 |
| Tabela 67 | – | – 20-5 – Erro dos Amarradores (são sete na faina – em conjunto). | 284 |
| Tabela 68 | – | – 33-2 – O Gerente da Cia. Transportadora concorda . | 284 |

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

| | |
|-------------------|---|
| ABS | American Bureau of Shipping |
| ANTAQ | Agência Nacional de Transportes Aquaviários |
| ANP | Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis |
| APP | Análise Preliminar de Perigos (Probabilistic Hazard Analysis – PHA) |
| ATHEANA | Uma Técnica para Análise do Erro Humano (A Technique for Human Error Analysis) |
| CETESB | Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental |
| CCPS-AICHE | Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers |
| CREAM | Método de Análise do Erro e Confiabilidade Cognitivos (Cognitive Reliability and Error Analysis Method) |
| DBN | Rede Bayesiana Dinâmica (Dynamic Bayesian Networks) |
| DNV | Det Norske Veritas |
| DPS | Sistema de Posicionamento Dinâmico (Dynamic Positioning System) |
| ETA | Análise de Árvore de Eventos (Event Tree Analysis) |
| FMEA | Análise de Modos e Efeitos de Falhas (Failure Modes and Effect Analysis) |
| FSA | Avaliação Formal de Segurança (Formal Safety Assessment) |
| FTA | Análise de Árvore de Falhas (Fault Tree Analysis) |
| HEART | Human Error Assessment and Reduction Technique |
| HEP | Probabilidade de Erro Humano (Human Error Probability) |
| HFE | Evento de Falha Humana (Human Failure Events) |
| HRA | Análise da Confiabilidade Humana (Human Reliability Analysis) |
| HTA | Análise da Hierarquia de Tarefas (Hierarchical Task Analysis) |
| IBAMA | Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis |
| ICS | International Chamber of Shipping |
| IEC | International Electrotechnical Commission |
| IMDG | IMDG Code – International Maritime Dangerous Goods Code |

| | |
|-------------------|--|
| IMO | International Maritime Organization |
| INPE | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais |
| ISO | International Organization for Standardization |
| ISGOTT | International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals |
| LabRisco | Laboratório de Análise de Análise, Avaliação e Gerenciamento de Risco da Escola Politécnica da USP |
| MCA | Motor de Combustão Auxiliar |
| MCP | Motor de Combustão Principal |
| MOF | Fator Organizacional e de Gestão (Management and Organizational Factor) |
| NR | Norma Regulamentadora (Ministério do Trabalho) |
| NT | Navio-Tanque (Tanker) |
| NUREG | Nuclear Regulatory Guide |
| PETROBRAS | Petróleo Brasileiro S/A |
| PHAST | Process Hazard Analysis Software Tools |
| PRA | Análise Probabilística de Risco (Probabilistic Risk Analysis) |
| PSA | Avaliação Probabilística da Segurança (Probabilistic Safety Assessment) |
| PSF | Fator de Modelagem do Desempenho (Performance Shaping Factor) |
| RB | Rede Bayesiana (Bayesian Network – BN) |
| THERP | Técnica para Previsão da Taxa de Erro Humano (Technique for Human Error Rate Prediction) |
| TGL | Terminal de Granéis Líquidos (Bulk Liquid Terminal – BLT) |
| TPC | Tabela de Probabilidades Condicionais |
| TRANSPETRO | Petrobras Transportes S.A. |
| UA | Ações Inseguras (Unsafe Actions) |
| UFRJ | Universidade Federal do Rio de Janeiro |
| USP | Universidade de São Paulo |

SUMÁRIO

| | |
|---|-------------|
| LISTA DE ILUSTRAÇÕES | XII |
| LISTA DE TABELAS | XXI |
| LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS | XXIV |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. Objetivos | 9 |
| 1.1.1. Objetivo Geral | 9 |
| 1.1.2. Objetivos Específicos..... | 11 |
| 1.2. Estrutura da Dissertação | 13 |
| 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS..... | 16 |
| 2.1. Teoria das Probabilidades – aspectos históricos, conceitos e definições | 16 |
| 2.2. Definições e Conceitos aplicados à análise do risco..... | 24 |
| 2.2.1. Conceito de perigo, acidente, segurança e confiabilidade | 24 |
| 2.2.2. Conceito de risco..... | 27 |
| 2.2.3. Conceito de frequência de ocorrência..... | 29 |
| 2.2.4. Conceito de consequência de ocorrência | 30 |
| 2.2.5. Categorias de Risco | 32 |
| 2.3. Estudo de Confiabilidade..... | 37 |
| 2.3.1. Confiabilidade Humana | 44 |
| 2.4. Análise de Risco..... | 54 |
| 2.4.1. Considerações iniciais | 54 |
| 2.4.2. Análise Probabilística do Risco – PRA (Probabilistic Risk Analysis)..... | 59 |
| 2.4.3. Análise Preliminar de Perigos – PHA (Preliminary Hazard Analysis)..... | 62 |
| 2.4.4. Análise da Árvore de Falhas – FTA (Fault Tree Analysis)..... | 66 |
| 2.4.5. Análise da Árvore de Eventos – ETA (Events Tree Analysis).. | 75 |
| 2.5. Explicação sobre Redes Bayesianas | 78 |
| 2.5.1. Conceitos Básicos..... | 82 |
| 2.5.2. Propriedades gráficas e relações de dependência nas RB's...88 | |
| 2.5.3. Tabela de Probabilidades Condicionais – TPC nas RB's..... | 91 |
| 2.5.4. Inferência Bayesiana | 92 |
| 2.5.4.1. Inferência Exata..... | 95 |

| | |
|---|------------|
| 2.5.4.2. Eliminação de Variáveis | 95 |
| 2.5.4.3. Agrupamento de Variáveis | 96 |
| 2.5.4.4. Inferência Aproximada | 97 |
| 2.5.5. Conversão de Árvores de Falhas e Árvores de Eventos em Redes Bayesianas | 97 |
| 2.6. Modelagem por meio de Redes Bayesianas | 101 |
| 2.7. Análise de Consequências – conceitos e definições | 106 |
| 3. MÉTODO PARA A ANÁLISE PROBABILÍSTICA DE RISCO VIA REDES BAYESIANAS | 111 |
| 3.1. Método Desenvolvido – Descrição | 112 |
| 3.2. Fatores Humanos na operação de descarga do Navio-Tanque | 117 |
| 3.2.1. Fatores Organizacionais e de Gestão – MOF | 121 |
| 3.2.2. Fatores Internos | 123 |
| 3.2.3. Fatores Ambientais | 125 |
| 3.2.4. Lista de Habilidades | 126 |
| 3.3. Fatores Não Humanos no processo de descarga do Navio-Tanque | 128 |
| 4. APLICAÇÃO AO ESTUDO DO PROCESSO DE DESCARGA | 131 |
| 4.1. As etapas do processo de descarga do Navio-Tanque no TGL – Descrição do Processo e dos Sistemas | 133 |
| 4.2. Eventos Perigosos associados ao processo de descarga | 148 |
| 4.3. Árvores de Falhas e Árvores de Eventos associadas ao processo | 162 |
| 4.4. Redes Bayesianas associadas ao processo | 171 |
| 4.4.1. Conversão das Árvores de Falhas em Redes Bayesianas | 171 |
| 4.4.2. Redes Bayesianas Dinâmicas das Tarefas | 178 |
| 4.4.2.1. Evento 2 – Falha na Identificação do Tipo de Navio (NT/TGL) | 182 |
| 4.4.2.2. Evento 3 – Falha na Informação sobre o deslocamento do Navio (NT/TGL) | 183 |
| 4.4.2.3. Evento 6 – Falha de Comunicação (NT/TGL) | 183 |
| 4.4.2.4. Evento 7 – Falha na aproximação do NT para o TGL (NT) | 184 |
| 4.4.2.5. Evento 10 – Equipe do TGL está em conflito e erra (TGL) | 185 |
| 4.4.2.6. Evento 11 – Equipe do TGL é inexperiente e erra (TGL) | 185 |
| 4.4.2.7. Evento 13 – Falha na execução da manobra de atracação devido a pressões comerciais (NT/TGL) | 186 |

| | |
|--|-----|
| 4.4.2.8. Evento 19 – Falha na execução da manobra de atracação devido a outras questões (NT)..... | 187 |
| 4.4.2.9. Evento 20 – Falha na execução da manobra de atracação devido a outras questões (TGL)..... | 188 |
| 4.4.2.10. Evento 21 – Falha do operador do mangote (NT)..... | 188 |
| 4.4.2.11. Evento 25 – Falha na execução da manobra de descarga devido a pressões comerciais (NT/TGL)..... | 189 |
| 4.4.2.12. Evento 26 – Falha na operação de conexão do manifold com o navio-tanque (TGL/NT)..... | 190 |
| 4.4.2.13. Evento 29 – Falha na manobra de recolhimento do mangote devido a pressões comerciais (TGL/NT)..... | 191 |
| 4.4.2.14. Evento 33 – Falha na manobra de desatracação devido a pressões comerciais (TGL/NT)..... | 191 |
| 4.4.2.15. Evento 38 – Falha na manobra de desatracação do navio-tanque devido a outras questões (TGL)..... | 192 |
| 4.4.2.16. Evento 39 – Falha na manobra de desatracação do navio-tanque devido a outras questões (NT)..... | 193 |
| 4.4.3. Redes Bayesianas dos Fatores de Desempenho das Tarefas..... | 193 |
| 4.4.3.1. Lista de Habilidades Relacionadas às Atividades ... | 194 |
| 4.4.3.2. Rede Bayesiana dos fatores associados ao evento “Falha na Identificação do Tipo de Navio (NT/TGL)”..... | 197 |
| 4.4.4. Preenchimento das Tabelas de Probabilidades Condicionais para o processo..... | 200 |
| 4.4.5. Restrições da análise para o caso estudado..... | 201 |
| 4.4.6. Avaliação do método proposto – análise preliminar..... | 207 |
| 4.4.7. Análise de consequências do vazamento de granel líquido inflamável..... | 208 |
| 4.4.7.1. Possíveis cenários..... | 209 |
| 4.4.7.2. Hipótese do acidente adotada – considerações | 210 |
| 4.4.7.2.1. Tipo e quantidade da substância envolvida | 211 |
| 4.4.7.2.2. Características do cenário adotado | 213 |
| 4.4.7.2.3. Características climáticas e meteorológicas do caso sob estudo | 213 |
| 4.4.7.2.4. Resultados obtidos nas ferramentas PHAST e PHAST RISK | 214 |
| 5. ANÁLISE DO MÉTODO À LUZ DO MODELO E DOS RESULTADOS | 218 |
| 5.1. Análise final do modelo | 219 |

| | |
|---|------------|
| 5.2. Resultados | 220 |
| 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 222 |
| 6.1. Conclusões extraídas a partir do Método utilizado e Análise de Risco | 224 |
| 6.2. Recomendações para trabalhos futuros | 227 |
| 7. REFERÊNCIAS | 228 |
| APÊNDICE A. – Exemplos do Referencial Teórico..... | 238 |
| APÊNDICE B. – Análise Preliminar de Perigos (APP) do processo de descarga dos granéis líquidos inflamáveis, transportados pelo Navio-Tanque, no Terminal Portuário Especializado – TGL (Extraído de MORAES e MARTINS, 2013)..... | 255 |
| APÊNDICE C. – Tabelas Complementares Para os Fatores de Desempenho (PSF)..... | 276 |
| APÊNDICE D. – Redes Bayesianas para os Eventos Básicos com os PSF e Rede Bayesiana Global e suas TPC's | 285 |

1. INTRODUÇÃO

A IMO (*International Maritime Organization*) tem demonstrado, através de regulamentos, certificações, convenções e inspeções, a sua preocupação com a segurança no transporte de produtos a bordo dos navios mercantes, bem como a carga e a descarga, em especial de produtos que sejam perigosos, nos portos de todo o mundo. Dentro desta concepção, a IMO busca prevenir eventos indesejáveis, mostrando aos Estados participantes quais as precauções que precisam ser tomadas a fim de eliminar ou minimizar os riscos correlacionados a tais eventos, protegendo a vida humana e o meio ambiente, além de garantir a integridade do navio e da carga, regulando o transporte de qualquer tipo de mercadoria.

Neste ínterim, as mercadorias consideradas perigosas devem receber especial atenção, pois oferecem maiores riscos¹ no seu manuseio e precisam de um maior rigor na regulamentação do seu transporte, objetivando a segurança e a eficácia, sem avarias na carga, no navio, impactos no meio ambiente, na saúde da tripulação e demais pessoas e sem prejudicar o planejamento das rotas marítimas.

Através do Manual Marítimo Internacional sobre Cargas Perigosas, o IMDG Code (*International Maritime Dangerous Goods Code*, 2002d), com observância do ISGOTT (*International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals*, 2002c), é feita uma classificação de tais produtos, no intuito de padronizar e salvaguardar as instalações, as pessoas e o meio ambiente. As cargas são dispostas por classes, conforme a Tabela 1.

¹ O conceito de risco será apresentado no item 2.2.2. Neste ponto, a princípio, considere risco como uma medida monetária de perda econômica.

Tabela 1 – Classificação das substâncias perigosas – extraído do *IMDG Code*.

| Classe | Carga |
|--------|---|
| 1 | Explosivos |
| 2 | Gases (comprimidos, liquefeitos, ou dissolvidos sob pressão) – inflamáveis, não inflamáveis e venenosos |
| 3 | Líquidos inflamáveis: ponto de fulgor inferior a -18°C; ponto de fulgor entre -18°C e +23°C e ponto de fulgor entre +23°C e +61°C |
| 4 | Sólidos ou substâncias inflamáveis: inflamáveis, combustão espontânea; depreende gás inflamável em contato com a água ou umidade |
| 5 | Agentes oxidantes: substâncias que liberam O ₂ e peróxidos orgânicos |
| 6 | Substâncias venenosas e infecciosas |
| 7 | Material radioativo |
| 8 | Substâncias corrosivas |
| 9 | Outras substâncias perigosas que não tenham sido enquadradas acima |

O *IMDG Code*, além de classificar a carga perigosa, descreve, na introdução de cada classe, as propriedades físico-químicas, as características específicas e as definições das mercadorias. Fornece também informações detalhadas sobre a manipulação e o transporte, assim como a estiva e a segregação, isto é, a forma segundo a qual deverão ser separadas as mercadorias das demais cargas perigosas ou de outras cargas não perigosas. Também são oferecidas informações sobre como proceder nos momentos de carga e de descarga. Cada uma das classes ou tipos aparece identificada com uma marca, etiqueta ou rótulo, que deverá ser afixado na embalagem da carga perigosa, a fim de identificar o grau de periculosidade. Ainda são apresentados no código os produtos classificados e considerados perigosos.

As cargas perigosas têm um plano especial para sua estiva a bordo, o Planejamento de Carga Perigosa. No planejamento da estivagem de carga perigosa, devem-se observar as particularidades da classe e as características da substância ou produto em particular. Para maiores detalhes, sugere-se consulta ao *IMDG Code*.

Nada obstante as recomendações da IMO em seus manuais, eventos considerados catastróficos, com perda de vidas, instalações e prejuízo ao meio

ambiente, relacionados aos navios tanqueiros (interagindo ou não com outros sistemas), continuam a ocorrer em todo o mundo, como informa BURGHERR et al. (2012), com a observância da Figura 1 e da Figura 2.

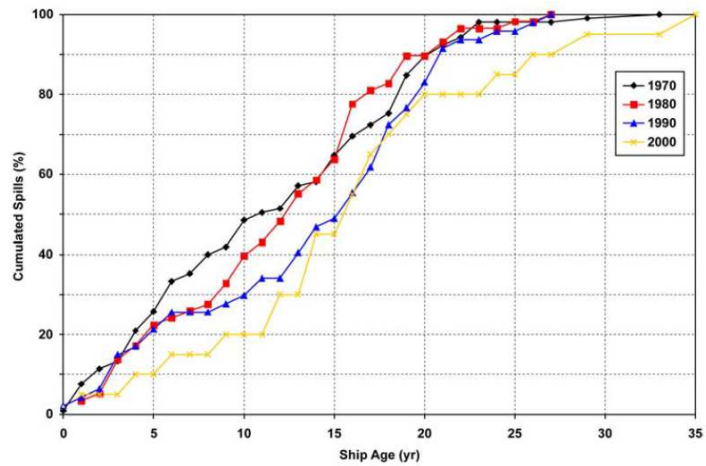


Figura 1 – Percentual acumulado de derramamento de petróleo e derivados de forma acidental no Mundo, (≥ 700 ton.) por idade de navio, para diferentes décadas – extraído de Burgherr et al. (2012).

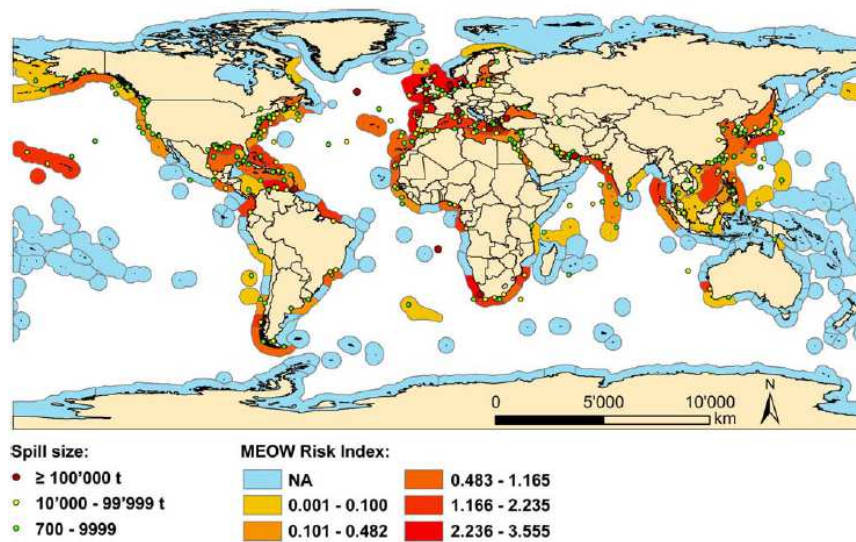


Figura 2 – Georreferências de derramamento de petróleo e seus derivados de forma acidental no Mundo (≥ 700 ton.) para o período de 1970-2010, onde são representadas, por tamanho, três classes de derramamento. Para as ecorregiões marítimas do Mundo (MEOW), é mostrado um índice de risco, com base em diferentes medidas de derramamento – NA = não observado derramamento – extraído de Burgherr et al. (2012).

O que se vê na Figura 2 é uma preocupante área dentro do território brasileiro.

Neste ponto, é observada a movimentação de carga transportada por navios tanqueiros, segundo o relatório anual da entidade reguladora dos portos brasileiros (ANTAQ, 2012) a evolução de transporte de graneis líquidos em território brasileiro é dada pela Tabela 2.

Tabela 2 – Evolução da tonelage de carga embarcada e desembarcada – graneis líquidos – Fonte Anuário Estatístico Aquaviário/ANTAQ.

| Evolução tonelage de carga embarcada em longo curso – graneis líquidos (em milhões de toneladas) | | |
|---|------|---------------------------------|
| 2010 | 2011 | 2012 (com dados até 31.08.2012) |
| 29,5 | 28,7 | 29,1 |
| Evolução tonelage de carga desembarcada em longo curso – graneis líquidos (em milhões de toneladas) | | |
| 37,8 | 40,7 | 42,4 |

Informa o relatório em questão que, no que tange à navegação de cabotagem, foram transportadas 138,6 milhões de toneladas de mercadorias, no ano de 2012, até 31.08.2012, ou seja, 4% a mais que no ano de 2011. Os graneis representaram aproximadamente 91% de toda tonelage desembarcada, sendo 79% de granel líquido e 12% de granel sólido (ANTAQ, 2012). A utilização do elemento humano é preponderante nessas atividades. Além disso, dentre as mercadorias transportadas, o relatório expõe a Tabela 3 a seguir (ANTAQ, 2012).

Tabela 3 – Evolução da tonelage de carga transportada em sistema de cabotagem – Fonte Anuário Estatístico Aquaviário/ANTAQ.

| Grupo de Mercadorias | Quantidade transportada (toneladas) | | | Variação % de 2011/2012 |
|--|-------------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|
| | 2010 | 2011 | 2012 (até 31.08) | |
| COMBUSTÍVEIS E ÓLEOS MINERAIS E PRODUTOS | 100.908.028 | 102.270.968 | 107.048.724 | 4,67 |
| BAUXITA | 13.661.533 | 14.813.321 | 13.986.532 | -5,58 |
| CONTÊINERES | 5.198.792 | 5.698.380 | 7.121.353 | 24,97 |
| MADEIRA | 1.915.784 | 1.947.286 | 1.944.853 | -0,12 |
| REATORES, CALDEIRAS, MÁQUINAS | 636.723 | 1.207.027 | 1.443.531 | 19,59 |
| MINÉRIO DE FERRO | 637.233 | 723.952 | 1.440.224 | 98,94 |
| PRODUTOS QUÍMICOS ORGÂNICOS | 1.011.818 | 1.218.026 | 1.424.333 | 16,94 |
| CELULOSE | 780.752 | 1.004.540 | 1.083.542 | 7,86 |
| SODA CÁUSTICA | 1.385.464 | 1.087.540 | 1.036.587 | -4,69 |
| SAL | 949.603 | 895.161 | 844.378 | -5,67 |
| PRODUTOS SIDERÚRGICOS | 685.364 | 426.688 | 216.042 | -49,37 |
| FERTILIZANTES ADUBOS | 310.159 | 370.919 | 180.241 | -51,41 |
| MANGANÊS | 194.247 | 18.220 | 145.036 | 696,03 |
| COQUE DE PETRÓLEO | 304.085 | 193.020 | 127.313 | -34,04 |
| OUTROS | 2.129.013 | 1.400.354 | 602.494 | -56,98 |
| TOTAL | 130.708.598 | 133.275.402 | 138.645.183 | 4,03 |

Como se observa, mais de 100 milhões de toneladas em granéis líquidos inflamáveis são transportados entre os portos brasileiros, cuja quantidade cresce a cada ano. Advém desta situação que, sendo tais produtos, de elevada inflamabilidade, aliado a idade média da frota marítima de cabotagem (em média 20 anos, casco simples, segundo o mencionado relatório), aumenta a percepção de que a periculosidade é elevada, na operação de embarque e desembarque dos referidos produtos.

No que tange aos eventos indesejáveis ocorridos em território brasileiro, a Tabela 4, Tabela 5 e a Figura 3 dão a dimensão do que ocorre no litoral do Espírito Santo e de São Paulo, áreas demarcadas na Figura 2.

Tabela 4 – Eventos indesejáveis ocorridos no litoral do Espírito Santo com produtos líquidos inflamáveis – fonte: Capitania dos Portos do ES e Tribunal Marítimo, 2013.

| Data de ocorrência do evento | Embarcação | Produto a bordo | Local | Descrição do evento (todos com liberação para o mar e/ou terra) |
|------------------------------|--------------|----------------------|------------------------------------|--|
| 21.07.2003 | Navio Tanque | Óleo Diesel MF 380 | Porto de Tubarão | Esvaziamento por gravidade de um mangote (para a caixa de contenção) |
| 29.07.2006 | Chata | Óleo Diesel MF 380 | Porto de Tubarão | Transferência do óleo diesel |
| 21.05.2007 | Chata | Óleo Diesel Marítimo | Porto de Tubarão | Carregamento do óleo diesel marítimo |
| 30.06.2008 | Barcaça | Óleo Diesel Marítimo | Porto de Tubarão | Carregamento do óleo diesel marítimo |
| 05.10.2009 | Navio Tanque | Petróleo | Monobóia – Terminal Norte Capixaba | Bombeamento de Petróleo da Monobóia para o Navio Tanque |
| 23.11.2009 | Navio Tanque | Petróleo | Monobóia – Terminal Norte Capixaba | Bombeamento de Petróleo da Monobóia para o Navio Tanque |
| 20.10.2010 | Navio Tanque | Álcool Anidro | Porto de Tubarão | Esvaziamento de mangote |
| 11.04.2011 | Barcaça | Óleo Diesel Marítimo | Porto de Tubarão | Rompimento do mangote (descarga) |
| 10.10.2011 | Navio Tanque | Óleo Diesel MF 380 | Porto de Tubarão | Vazamento da bomba no píer |
| 22.05.2012 | Navio Tanque | Álcool Anidro | Porto de Tubarão | Rompimento do mangote (descarga) |
| 11.08.2013 | Navio Tanque | Óleo Diesel MF 380 | Porto de Tubarão | Esvaziamento do mangote |

Tabela 5 – Eventos indesejáveis ocorridos no litoral de São Paulo, extraído de POFFO *et al.* (2013).

| Período | Transporte Marítimo | Terminal | Duto |
|-------------|---------------------|----------|------|
| 1980 a 1989 | 56 | 5 | 3 |
| 1990 a 1999 | 25 | 5 | 4 |
| 2000 a 2004 | 36 | 6 | 1 |
| Total | 117 | 16 | 8 |

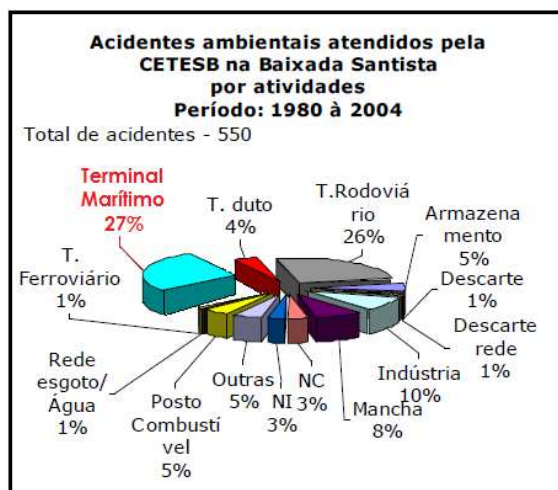


Figura 3 – Acidentes ambientais na Baixada Santista – São Paulo. Destaque para o Terminal Marítimo – extraído de POFFO *et al.* (2013) com adaptações.

Portanto, considerando o sistema homem-máquina, a análise do risco das descargas (e cargas) de produtos líquidos inflamáveis (classe 3 – IMDG Code, IMO 2002d), tomando como referência o estudo de um caso, onde a atuação humana é predominante, é tema atual e relevante, como se verá neste trabalho.

Neste contexto, plantas industriais que operam a carga e a descarga de grânéis líquidos inflamáveis a partir de um navio-tanque devem operar com base em um planejamento minucioso, a fim de evitar eventos indesejáveis produzidos por fatores humanos e não-humanos. O processo de descarga ou de carga dos produtos transportados pelo navio-tanque é precedido de várias etapas preparatórias, sendo a descarga apenas uma delas, e sua viabilidade se correlaciona não só a aspectos econômicos, mas de natureza técnica, seja em função da perda de algum equipamento ou da parada na operação do sistema. Surge, então, o conceito de risco, como será visto no item 2.2.2.

No que concerne à quantificação do risco, as dificuldades são muitas e maiores, mais especificamente quando o elemento humano também interage com os sistemas ou os processos. Há duas principais e mais conhecidas abordagens no

risco², uma determinística e outra probabilística, nesta última a Análise Probabilística do Risco ou *Probabilistic Safety Assessment* – PSA. No setor marítimo, a IMO (2002) tem correlacionado o fator humano à ocorrência dos acidentes, suas causas implícitas e consequências, incorporando o componente humano à PSA por meio da Análise da Confiabilidade Humana (em inglês, *Human Reliability Analysis*) – HRA. SÁNCHEZ *et al.* (2013) mostram que é possível a aplicação do PSA às plantas não nucleares, como será visto neste trabalho.

No setor ora sob estudo, a análise, a avaliação e o gerenciamento de risco são imprescindíveis, tendo em vista a elevada gravidade dos acidentes no que diz respeito, às pessoas físicas, ao meio-ambiente, aos equipamentos, edificações, às operações e à imagem da sociedade empresária operadora de um Terminal de Granéis Líquidos – TGL. Um navio-tanque está sujeito a eventos com consequências desta natureza. E, segundo a IMO (2002), a maior parte dos acidentes no setor petrolífero é motivado por fatores humanos, tornando relevante encontrar uma metodologia e técnicas eficazes de análise de risco que possam ser aplicadas com sucesso neste setor, em especial no processo de carga e de descarga de um navio-tanque em um TGL.

Desde a década de 80 do século passado, várias técnicas foram desenvolvidas para o estudo de quantificação do risco, levando em consideração à confiabilidade humana. Segundo MATURANA (2010), tais técnicas, até o final do século XX, não quantificavam de forma eficiente a HRA. Alguns autores, conforme o mencionado autor (DROGUETT e MENEZES, 2007; ELEYE-DATUBO, WALL e WANG, 2008), vêm propondo a modelagem por meio de Redes Bayesianas, para melhor dimensionar e aferir o risco, levando em consideração o elemento humano, uma vez que, ao se aplicar esta técnica, é suprimida boa parte das deficiências na modelagem da ação humana com o uso de árvores binárias.

Será feita uma breve explanação sobre as técnicas aplicadas à HRA, observado que a análise de risco tratada neste trabalho, correlaciona não só fatores

² Há outras abordagens que fogem ao contexto deste trabalho, como é o caso da Teoria Fuzzy que trabalha com múltiplos estados.

humanos, mas também fatores não humanos. Em seguida é justificado o emprego das Redes Bayesianas – RB –, e, na sequência, é apresentada uma descrição sucinta dos principais conceitos e definições que permeiam a técnica em questão (RB).

A seguir, são apresentados resumidamente os objetivos e a estrutura desta dissertação.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral verificar se a técnica denominada “Redes Bayesianas” é a mais adequada para o estudo em questão, qual seja, a quantificação do risco associado ao processo de descarga de granéis líquidos inflamáveis, em um terminal portuário especializado, denominado terminal de granéis líquidos – TGL, transportados por um navio-tanque, específico para tal finalidade. A análise de risco de sistemas conjugados e complexos, conforme mencionado, é de grande relevância não só para os meios acadêmicos, como para as sociedades empresárias que lidam com tais operações, pois existem eventos externos e internos (conforme Apêndice B) que afetam o desempenho do processo em questão e fazem parte de uma sequência de eventos de perigo, cujos efeitos podem resultar em consequências graves para o processo estudado, em função da mudança inesperada das condições iniciais da operação de descarga dos produtos inflamáveis.

Deste modo, propõe-se um método mais ajustado à análise do risco, influenciado pelo comportamento humano, baseada em redes bayesianas, observada as etapas estabelecidas pela IMO em seu guia para a FSA, como dito alhures. A metodologia se inicia com a caracterização do empreendimento ou da planta industrial, no que tange aos seus aspectos fisiográficos, as características meteorológicas, da instalação, das atividades e os aspectos operacionais. Na sequência, é realizada a identificação dos cenários de perigos, que é obtida por

meio da identificação e caracterização do processo e suas etapas e relações funcionais para, posteriormente, serem definidos os eventos inicializadores dos cenários de perigo, bem como as sequências de propagação dos efeitos dos mesmos que podem conduzir a um acidente. Nesta etapa, será usada a técnica de análise preliminar de perigos, PHA, já mostrada em trabalho anterior (MARTINS e MORAES – 2013a e 2013b).

Posteriormente, para a avaliação das probabilidades de ocorrência de cada cenário, correlacionados aos eventos básicos inicializadores, é aplicada a técnica de composição probabilística, discutida por MARTINS e MORAES (2013a e 2013b), de sorte que, em seguida, o processo é modelado através da análise de árvore de falhas, FTA (do inglês, *Fault Tree Analysis*) e da análise de árvore de eventos, ETA (do inglês, *Event Tree Analysis*), com devida associação probabilística inicial, sem considerar o elemento humano, HRA.

Em momento posterior, é aplicado um método combinado a partir dos métodos apresentados por MATURANA (2010) e MARTINS (2013), que de forma eficiente realizam a análise de confiabilidade humana aplicáveis a indústria naval, de forma que, usando modelos de inferência bayesiana, é calculada a chance de que o cenário de perigo aconteça, observados os fatores humanos e não humanos, do processo de descarga do navio-tanque em um TGL. Antes de apresentar a aplicação das RB's, no entanto, o trabalho procura justificar o emprego da técnica em Redes Bayesianas, bem como apresenta os conceitos e definições associados.

Para uma concretização plena da análise de risco do processo em questão, conforme o FSA (IMO, 2002), foi efetivada uma avaliação de suas consequências, dentre estas, o vazamento do granel líquido inflamável, seja do compartimento do navio-tanque, seja das tubulações associadas ao TGL. Uma vez definida a quantidade total de vazamento, houve o dimensionamento das consequências.

Para auxiliar no entendimento do método aplicado, foi proposto um estudo de caso, com características gerais, associadas à interação entre o sistema navio (NT) e o sistema porto (TGL), onde a participação do elemento humano é mais

preponderante que a máquina. Foram utilizadas ferramentas computacionais do Laboratório Análise, Avaliação e Gerenciamento de Risco da Escola Politécnica da USP, que auxiliaram de forma decisiva para o desenvolvimento desta dissertação.

1.1.2. Objetivos Específicos

- a. **Identificar** os cenários de perigo associados ao processo de descarga de granéis líquidos inflamáveis do navio-tanque para um terminal portuário especializado, com base em estudo de caso, quando existe mudança repentina das condições em que a operação é executada, através da caracterização do empreendimento ou da planta industrial;
- b. **Identificar e qualificar** os eventos inicializadores dos cenários de perigo, do mencionado processo do item (a), através da técnica de análise preliminar de perigos (PHA), observados os perigos relacionados aos fatores não humanos e humanos, realizando, no caso deste último, uma análise de tarefas realizada por cada elemento humano no processo em questão;
- c. **Estimar** os riscos associados aos eventos básicos e indesejados de maior relevância do item (b), quantificando-os, através da técnica de composição probabilística, conforme MARTINS e MORAES (2013a e 2013b), observado a opinião dos especialistas;
- d. **Analisar**, detalhadamente, as tarefas críticas, a fim de quantificar o erro humano associado ao processo do item (b), preenchendo as Tabelas de Probabilidades Condicionais com base na crença e opinião dos especialistas atuantes na planta sob estudo, que serve de base para as inferências propostas;
- e. **Analisar** as consequências dos eventos indesejáveis do processo em questão, através da construção dos diagramas associados, observado o vazamento do granel líquido mais transportado, com a utilização dos *softwares* PHAST e/ou PHAST RISK, versão 6.5.4, ambos da *Det Norke Veritas* – DNV, uma das ferramentas mais empregadas para análise de consequências (MARTINS *et al.*, 2011a);
- f. **Analisar** os eventos indesejáveis do processo em questão, por intermédio da construção da árvore de falhas e da árvore de eventos, observado o evento-

topo, não descarga do granel líquido inflamável do NT para o TGL, calculando a probabilidade de ocorrência;

- g. **Aplicar** os conceitos de análise de risco, associado ao processo de descarga de graneis líquidos inflamáveis do navio-tanque para um terminal portuário especializado, com base em estudo de caso, usando a técnica de análise por redes bayesianas, com a observância da HRA (MATURANA, 2010), utilizando o *software* NETICA™ disponibilizado pelo Laboratório de Análise, Avaliação e Gerenciamento de Risco do Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, com o objetivo de quantificar o risco, conjugando o elemento humano com o não humano, quando existe mudança repentina das condições em que a operação é executada.

Dentre as contribuições deste trabalho, pode-se ressaltar que é apresentada, de forma estruturada e organizada, a aplicação de uma análise probabilística para o cálculo do risco de um processo que se caracteriza pela combinação e inter-relação complexa de distintos elementos como pessoas, equipamentos, operações e ambiente. Esta análise afere as consequências e a possibilidade de incorporação de mudanças de estado (na estrutura da RB) dentro da avaliação de risco, com o intuito de apoiar (não é o escopo desta dissertação) uma tomada de decisão (passo 5 da FSA) referente à mudança da estratégia de operação.

O método, decorrente da combinação de métodos já testados, para o estudo do caso no setor de transporte marítimo, no cálculo do risco, por meio de Redes Bayesianas, de um processo oriundo da interação de um sistema naval com um sistema portuário, na descarga de produtos líquidos inflamáveis, levando em consideração o fator humano, é inédito no Brasil, no que tange ao objeto. A aplicação do método em um caso de estudo real de dois sistemas complexos (navio e porto), de forma lógica e estruturada, com modelos matemáticos de simulação numérica da teoria dos grafos, possibilita a identificação dos pontos críticos da operação na interação dos sistemas complexos, como é o caso aqui estudado, com as técnicas de representação de cenários, de forma a apresentar, posteriormente, um valor numérico associado ao risco da operação, mostrando com o risco pode

deixar de ser uma valoração qualitativa e se tornar uma parte integral para o seu controle e no processo de tomada de decisão.

1.2. Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está organizada em 7 (sete) capítulos, incluindo este inicial de introdução, objetivos geral e específicos e explicação sucinta sobre a estrutura da dissertação.

No **Capítulo 2** são apresentados o referencial teórico para desenvolver o trabalho, iniciando com definições e conceitos correlacionados à análise, à avaliação e ao gerenciamento do risco, distinguindo as etapas da metodologia baseada no risco, com especial atenção para a análise do risco (segundo o guia FSA), que é feito em tópico apartado. Também é realizada uma breve explanação sobre o estudo da confiabilidade, mostrando a sua aplicação no âmbito de processos e de sistemas, observada as falhas de natureza não humana e humana, com foco na confiabilidade humana. Na sequência é feita a apresentação dos conceitos básicos e essenciais para o entendimento das Redes Bayesianas e seu emprego na realização de inferências. Neste contexto, apresentar-se-á a análise por intermédio da árvore de falhas e de eventos, do processo em estudo, com especial atenção para a transformação da árvore de falhas em Redes Bayesianas.

No **Capítulo 3** é apresentado o método derivado de outros já testados e técnicas conhecidas, usando a análise probabilística do risco, centralizando no processo de descarga de granéis líquidos inflamáveis, a partir de um navio-tanque, para um terminal portuário especializado, suas tubulações e seus tanques de armazenamento, estruturada de forma a açambarcar os fatores não humanos e humanos correlacionados ao processo, tendo em vista os eventos indesejáveis mais relevantes. Para encerrar, é apresentada a forma empregada ao estudo do caso para integrar a árvore de falhas às redes que modelam as tarefas críticas realizadas pelo elemento humano, com o objetivo de estudar o evento de não descarga do navio-tanque. Trata-se, pois, de construir as Redes Bayesianas associadas aos eventos inicializadores da árvore de falhas que possuem o componente humano.

No **Capítulo 4** é apresentado o caso a ser estudado, observada uma planta genérica, com o intuito de verificar a aplicação das Redes Bayesianas na modelagem do processo em questão. Para tanto, são apresentadas as características da planta industrial, no que tange aos aspectos fisiográficos, características meteorológicas, características da instalação, as atividades praticadas e os aspectos operacionais. Neste íterim é importante salientar que a planta industrial é a interação entre o sistema navio-tanque e o sistema TGL. Na sequência são apresentadas e modeladas as relações entre os eventos perigosos (aqueles que podem levar a não descarga do navio-tanque no TGL), as tarefas que estão correlacionadas aos eventos básicos e inicializadores destes desencadeamentos (eventos iniciais na árvore de falhas) e os fatores da modelagem de desempenho – PSF (do inglês, *Performance Shaping Factors*), ou simplesmente fatores de desempenho (FD), relacionados à execução das mencionadas tarefas. É mostrado como foram preenchidas as Tabelas de Probabilidades Condicionais – TPC, a partir da consulta feita aos especialistas e os dados existentes. É feita a apresentação da Rede Bayesiana, comentando-se as restrições para o caso estudado, com uma avaliação preliminar da proposta do trabalho. Por fim é apresentada a análise de consequências dos eventos indesejáveis em caso de sinistro da planta industrial considerada, observado os possíveis cenários.

O **Capítulo 5** é dedicado à análise do modelo descrito no capítulo anterior. É feito uma análise dos resultados encontrados, comparando os resultados da quantificação dos riscos, por intermédio das técnicas de árvore de falhas e árvores de eventos, tendo por evento topo a não descarga do granel líquido inflamável, com a técnica de Redes Bayesianas, sendo que nesta última foram incorporadas as tarefas realizadas pelo elemento humano, que contribuiu para o surgimento de eventos perigosos, segundo MATURANA (2010).

No **Capítulo 6** é feita a conclusão final, sendo apresentados os resultados do trabalho e as dificuldades encontradas, além das últimas considerações a respeito desta dissertação e recomendações para trabalhos futuros.

Por fim, no **Capítulo 7** são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas e que serviram de base para a elaboração deste trabalho, e que podem ser utilizadas em pesquisas futuras para o aprofundamento do conhecimento aqui discutido, que não está encerrado, nem finalizado, servindo de base para o desenvolvimento de novas pesquisas no campo da análise, avaliação e gerenciamento do risco de sistemas e de processos.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

O capítulo a ser exposto, apresenta os referenciais ou os fundamentos teóricos que permeiam o estudo da confiabilidade, com foco na confiabilidade humana, dos métodos (e técnicas) usados na área tecnológica baseada no risco, e do uso da Estatística Bayesiana, com foco no emprego das Redes Bayesianas como instrumento na análise quantitativa da confiabilidade e do risco, enfatizando os aspectos teóricos que auxiliarão no entendimento do estudo do caso, de que trata o Capítulo 4. Também serão apresentadas as técnicas de análise por árvore de falhas e árvore de eventos, com intuito de comparar os resultados com a técnica das redes bayesianas, na análise probabilística do risco, como se verá no Capítulo 3. Por fim, serão apresentados os conceitos que embasam a modelagem através das redes bayesianas e um caminho para o desenvolvimento da análise da confiabilidade, com ênfase no elemento humano.

2.1. Teoria das Probabilidades – aspectos históricos, conceitos e definições

Muitas das técnicas aplicadas na análise probabilística do risco, sob a ótica quantitativa, se valem da Matemática e da Estatística, e, neste ponto, mais precisamente da teoria das probabilidades. Segundo COZMAN, 2009; RUSSEL & NORVIG, 2000; FELLER, 1970; NEAPOLITAN, 2003; MEMÓRIA, 2004, as primeiras teorias da Estatística Clássica foram desenvolvidas no século XVII, de sorte que, para os clássicos (Leibnitz, Fermat, Pascal, De Moivre, Bayes, Laplace), a probabilidade é a razão entre o número de casos favoráveis dentre todos os casos possíveis. A partir desta assertiva, enunciou-se o “princípio da razão não suficiente”, onde dois casos possíveis são igualmente prováveis se não existe razão para preferir um ao outro. No final do século XIX surgiram críticas ao princípio, trazidas pelos frequentistas (Venn, Boole, De Morgan, Fischer, Neyman, Pearson), pois para eles, os clássicos não observaram a reparametrização das variáveis (isto é, se $X = \{-2; 0; +2\}$, com probabilidade de $\frac{1}{3}$, a probabilidade de X^2 , que resulta em 4 ou

0, é $\frac{2}{3}$ ou $\frac{1}{2}$?), nem a quantidade de casos, observado o tempo, era suficiente como prova, a fim de corroborar com o mencionado princípio.

Os frequentistas, então, propuseram a ideia básica de que a definição de probabilidade deveria contemplar o conhecimento, ao invés da ignorância. Portanto, a probabilidade foi definida como o limite da frequência relativa das observações, isto é, seja A determinado evento observado; n é o número total de observações e n_A o número de vezes que o evento A ocorreu, dentro do total de observações. Então:

$$P(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n_A}{n} \quad (2.1)$$

Os frequentistas construíram, a partir da relação (2.1), diversas teorias. Todavia, na década de 30 do século passado, as críticas a concepção frequentistas ganhou força pelos chamados “bayesianos” (Ramsey, De Finetti, Savage). As críticas se basearam nas seguintes colocações: (i) é impossível falar sobre probabilidades de eventos que irão ocorrer apenas uma vez; (ii) o uso da teoria de limites na definição é equivocado, pois que muitas sequências determinísticas possuem limites. Além disso, pode-se dizer que todas as sequências aleatórias possuem limites?

Para os “bayesianos”, a definição de probabilidade dos “frequentistas” é limitada na concepção, sendo difícil definir matematicamente. L. J. Savage, então, propõe que existe um componente de subjetivismo em probabilidade e Ramsey/De Finetti propõe que a probabilidade seja definida a partir de uma estratégia da aposta justa. A ideia de Savage, por seu turno, se baseia nas preferências dos indivíduos. Para ele, a partir das preferências se obtém as utilidades e as probabilidades de determinadas escolhas. Segundo a Teoria da Utilidade Esperada, desenvolvida por Savage (WAGNER, 2009; COZMAN, 2009; CASTRO e FARO, 2005), supondo somente um estado da natureza, se o indivíduo prefere g a h (denota-se: $g \succ h$, isto é, g é preferível a h), então, existe uma medida de probabilidade P , associada a

escolha, para uma determinada quantidade x (de h ou g), e uma função de utilidade U tal que:

$$E[U(h)] < E[U(g)] \Leftrightarrow E[U(x_h, P_h)] < E[U(x_g, P_g)] \quad (2.2)$$

Onde, na expressão (2.2), $E[U(\bullet)]$ é a utilidade esperada.

A partir daí, Savage desenvolve a denominada “Teoria das Probabilidades Subjetivas” (COZMAN, 2009; MEMÓRIA, 2004), que dará ensejo a Estatística Bayesiana. Para os “bayesianos” todas as formas de incerteza são reduzidas a uma medida de probabilidade e os julgamentos de incerteza são reduzidos a preferências. Daí, todas as formas de atualização do conhecimento resultam na aplicação da denominada Regra de Bayes.

Por seu turno, a Regra de Bayes é uma importante relação utilizada na análise probabilística de risco, em especial no emprego das Redes Bayesianas, como se verá no item 2.6, e foi proposta por Thomas Bayes no século XVIII, extraída diretamente da concepção de probabilidade condicionada, conforme será visto adiante. COZMAN (2013) e NEAPOLITAN (2003) nos informam que, em 1.933, A. N. Kolmogorov estabeleceu diversos axiomas que servem de base para a teoria das probabilidades, a qual é usada amplamente na construção de algoritmos estimadores, em especial das redes bayesianas.

Neste ponto, é importante ressaltar que a teoria das probabilidades está relacionada às experiências que têm um conjunto distintos de resultados. Exemplos de tais experiências incluem a elaboração da retirada da carta de cima de um baralho de 52 cartas, com 52 possíveis resultados; o lançamento de uma moeda com possibilidade de dois resultados: cara (C) ou coroa (K). Uma vez que um experimento é bem definido, a coleção de todos os resultados é chamada de **espaço de possibilidades**. Matematicamente, **um espaço possibilidades é um conjunto** e os **resultados** são os **elementos do conjunto**.

Portanto, o primeiro elemento de uma investigação ou de um experimento é o conjunto de possíveis estados do mundo que cerca o analista. Cada estado ω é uma completa descrição de todos os aspectos do mundo que são de interesse em uma dada análise. Estados são sempre mutualmente exclusivos: isto é, de dois estados nunca são obtidos uma única situação ou resultado. O **conjunto de estados**, denotados por $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$, n um número natural, é o espaço de possibilidades, e isto é interpretado como o conjunto de todas as descrições completas do mundo que cerca o analista e que são consideradas possíveis, os resultados. O espaço de possibilidades é exaustivo: aconteça o que acontecer o mundo estará em um dos estados de Ω (SMITH e KELLY, 2011).

O espaço de possibilidades, pode ser binário, finito, infinito contável ou incontável.

Frequentemente, Ω também é chamado de **espaço amostral**, e os estados ω_i , $0 \leq i \leq n$, n um número natural, são chamados de elementos, resultados ou realizações, observado que, uma amostra pode conter mais de um elemento.

No **espaço amostral ou de possibilidades finito**, cada subconjunto é chamado de **evento**. A interpretação é que um evento e é perfeitamente identificado ou obtido quando o estado, ou sequência de estados³, ω_i , $0 \leq i \leq n$ é identificado.

Um subconjunto do espaço amostral contendo exatamente um elemento é chamado de evento elementar ou simples, e o subconjunto sem elementos é chamado de conjunto vazio. Uma vez que um espaço amostral ou de possibilidades é identificado, uma função de probabilidade é definida como se segue, conforme propõe Kolmogorov (NEAPOLITAN, 2003).

Definição 1.1. Suponha a existência de um espaço amostral Ω contendo n distintos elementos. Isto é:

³ O evento pode ser caracterizado pela ocorrência de um estado (no caso de uma tentativa) ou por uma sequência de estados (resultado de mais de uma tentativa).

$$\Omega = \{e_1, e_2, \dots, e_n\} \quad (2.3)$$

A função que atribuiu um número real $P(e)$ para cada evento $e \subseteq \Omega$ é chamada **função de probabilidade** sobre o conjunto dos subconjuntos de Ω se satisfazer as seguintes condições ou axiomas:

1. $0 \leq P(\{e_i\}) \leq 1$, para $1 \leq i \leq n$; (2.4)

2. $P(\{e_1\}) + P(\{e_2\}) + \dots + P(\{e_n\}) = 1$; (2.5)

3. Para cada evento $e = \{e_{i_1}, e_{i_2}, \dots, e_{i_k}\}$, que não seja um evento elementar, tem-se que $P(e) = P(\{e_{i_1}\}) + P(\{e_{i_2}\}) + \dots + P(\{e_{i_k}\})$. (2.6)

O par (Ω, P) é chamado de espaço de probabilidades. Seja X^4 o conjunto das variáveis aleatórias x associadas a $P(e)$, tal que, $X : \Omega \rightarrow \mathfrak{R}$, sendo \mathfrak{R} o conjunto dos números reais, tem-se que a medida de probabilidade em Ω induz uma medida em X , pertencente aos n° reais. Isto é, o conjunto de todos os possíveis valores da variável X é denotado por Ω_X que é o espaço de possibilidades de X (algumas vezes chamado de espaço amostral de X), sendo $f(X) = P(e)$ outra variável aleatória. Por causa das restrições impostas, Ω_X é um subconjunto dos números reais (COZMAN, 2013).

Variáveis aleatórias são denotadas por letras maiúsculas W, X, Y, Z . Um valor particular de uma variável é representado por letras minúsculas, como visto anteriormente, no caso de x . x denota um valor de X , e $\{X = x\}$ denota o evento $\{\omega \in \Omega \mid X(\omega) = x\}$.

Como se verifica em (2.6), cada evento e pode ser composto de vários estados. Por exemplo, se o experimento é o lançamento de uma moeda, onde há a possibilidade de dois resultados: ou cara (C) ou coroa (K), duas vezes, tem-se da

⁴ Neste trabalho, os eventos, exceto quando tratados nos itens 2.4.4 e 2.4.5, serão representados por letras minúsculas e as variáveis por maiúsculas.

expressão (2.3), que $\Omega = \{CC, CK, KC, KK\}$, uma possibilidade de $e = \{CC, KK\}$, sendo C um estado e K outro estado. Decorre daí a Figura 4, que mostra o relacionamento entre os conceitos estabelecidos alhures:

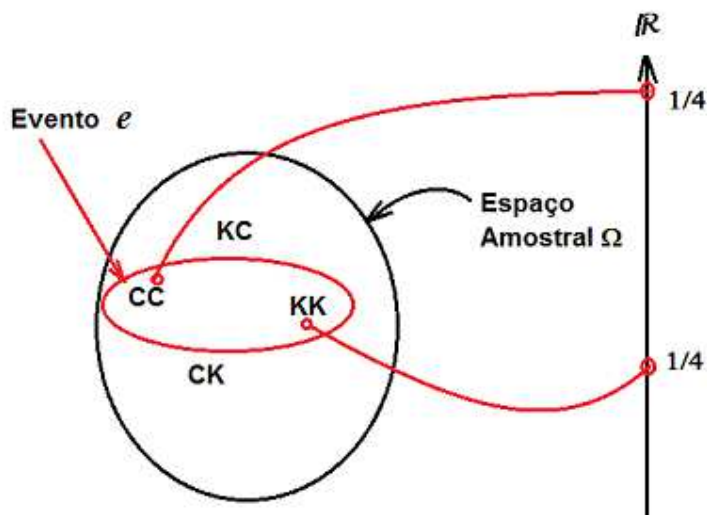


Figura 4 – Correlação gráfica entre o evento e , o espaço amostral Ω , o conjunto dos reais, com as probabilidades associadas a cada estado do evento e .

Onde $P(e) = \frac{1}{2}$. Da definição 1.1, observado o par (Ω, P) , decorre as seguintes

propriedades, demonstradas em COZMAN (2013) e NEAPOLITAN (2003):

$$4. P(\Omega) = 1; \quad (2.7)$$

$$5. 0 \leq P(e) \leq 1 \text{ para todo } e \subseteq \Omega; \quad (2.8)$$

$$6. \text{ Para } e \text{ e } w \subseteq \Omega, \text{ tal que } e \cap w = \emptyset, \text{ sendo } \emptyset \text{ o conjunto vazio, tem-se } \quad (2.9)$$

$$P(e \cup w) = P(e) + P(w);$$

$$7. e \text{ e } e^c \subseteq \Omega, \text{ sendo } e^c \text{ complemento de } e, \text{ então } e \cap e^c = \emptyset \text{ e } \quad (2.10)$$

$$e \cup e^c = \Omega$$

$$8. P(e) + P(e^c) = P(\Omega) = 1 \quad (2.11)$$

$$9. \text{ Para } e \text{ e } w \subseteq \Omega, \text{ tal que } e \cap w \neq \emptyset, \text{ sendo } \emptyset \text{ o conjunto vazio, tem-se } \quad (2.12)$$

$$P(e \cup w) = P(e) + P(w) - P(e \cap w)$$

Decorre do conceito de probabilidade estabelecido por Kolmogorov a possibilidade de se calcular a probabilidade de um evento, dado que ocorreu outro evento, denominada probabilidade condicionada. Por exemplo, sejam e_1 e e_2 dois eventos, como, e_1 = “choverá hoje após às 13 horas” e e_2 = “haverá inundação na região de várzea após às 15 horas”. Se e_1 e e_2 são dependentes, a probabilidade de ambos e_1 e e_2 ocorrerem ou existirem simultaneamente é obtido da seguinte expressão (2.13):

$$P(e_1 \cap e_2) = P(e_1) \cdot P(e_2|e_1) \quad (2.13)$$

onde $P(e_1 \cap e_2)$ é a existência simultânea dos dois eventos; $P(e_1)$ é a probabilidade de ocorrência do evento e_1 e $P(e_2|e_1)$ é a probabilidade de ocorrer e_2 dado que ocorreu e_1 .

Se e_1 e e_2 não forem dependentes, i.e., forem independentes, a expressão se degenera para a expressão (2.14), dado que $P(e_2|e_1) = P(e_2)$:

$$P(e_1 \cap e_2) = P(e_1) \cdot P(e_2) \quad (2.14)$$

De outro modo, pode-se ter:

$$P(e_1 \cap e_2) = P(e_2) \cdot P(e_1|e_2) \quad (2.15)$$

Isto é, $P(e_2)$ é a probabilidade de ocorrência do evento e_2 e $P(e_1|e_2)$ é a probabilidade de ocorrer e_1 dado que ocorreu e_2 .

Daí decorre das expressões (2.13) e (2.15) que:

$$P(e_1|e_2) = \frac{P(e_1) \cdot P(e_2|e_1)}{P(e_2)} \quad (2.16)$$

Sendo esta relação denominada Regra ou Teorema de Bayes (MODARRES, 2010).

A relação (2.16) acima pode ser generalizada. Se o evento e depende de n eventos prévios que podem ocorrer de distintas maneiras $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$, isto é, são independentes, tem-se:

$$P(a_j|e) = \frac{P(a_j) \cdot P(e|a_j)}{\sum_{i=1}^n P(a_i) \cdot P(e|a_i)} \quad (2.17)$$

Onde $P(a_j)$ é denominada probabilidade *a priori* e $\frac{P(e|a_j)}{\sum_{i=1}^n P(a_i) \cdot P(e|a_i)}$ é função

de verossimilhança ou o fator através do qual a probabilidade *a priori* é revisada baseado nas evidências observadas. $P(a_j|e)$ é chamado de probabilidade posterior ou *a posteriori*. Ou seja, dado o evento e , a probabilidade do evento a_i pode ser atualizada ou revista. Quanto maior o número de evidências observadas, mais próxima da realidade ficará $P(a_j|e)$. O Teorema de Bayes providencia um meio para alterar o conhecimento sobre um determinado evento à luz de novas evidências relatadas sobre o evento (MODARRES, 2010). O Teorema de Bayes pode ser utilizado, portanto, em qualquer situação na qual seja preciso calcular as probabilidades condicionais após a coleta de dados ou observada a percepção dos especialistas (análise subjetiva – ver 4.4.4). O Apêndice A – item (1) – traz um exemplo de COZMAN (2009) sobre aplicação do teorema, que elucida a questão. Sugere-se, se for o caso, consultá-lo.

No que tange aos métodos Bayesianos de estimação, estes utilizam a informação sintetizada sob a forma de funções de densidade de probabilidade (f.d.p.) e combinam esta informação através da regra de Bayes, mostrada anteriormente (SHEVCHENKO, 2011). Sob esta ótica, a função de distribuição *a*

Aplicação de Redes Bayesianas na Análise de Risco do processo de descarga do navio-tanque em um terminal portuário especializado

posteriori (em relação às variáveis não observáveis, doravante denominada X_i) de cada parâmetro é obtida com base na função de distribuição *a priori* (em relação às variáveis observáveis) e na função de distribuição subjacente à informação amostral, utilizando a regra de Bayes, conforme nos informa MODARRES (2010). No próximo item, para uma melhor compreensão deste trabalho, serão apresentados relevantes conceitos e definições aplicados à análise de risco.

2.2. Definições e Conceitos aplicados à análise do risco

2.2.1. Conceito de perigo, acidente, segurança e confiabilidade

Termos como perigo, acidente, integridade, credibilidade, confiabilidade, probabilidade, segurança, incerteza e risco tornaram-se importantes nas reuniões diárias em diversos setores tecnológicos, industriais, financeiros e econômicos. Todavia, na maioria das vezes, são usados de forma imprecisa, nada obstante se observar o contexto em que é usado. Por exemplo, na área tecnológica e industrial, o termo “confiável”, em muitas ocasiões, é usado para descrever o comportamento de uma pessoa física ou jurídica. O termo “segurança”, neste raciocínio, é frequentemente relacionado com um determinado nível de convivência harmoniosa dentro da sociedade, garantida pelo Estado, através de suas polícias ou forças armadas, ou é relacionado com a operação de componentes sem afetar a integridade física de quem usa o dispositivo, elétrico ou mecânico. Da mesma forma, a palavra “risco” é usada para advertir uma possível exposição a uma consequência adversa ou danosa, e muitas vezes este termo substituiu o termo “perigo”. A questão é que, no cotidiano, e de forma sistemática na área de engenharia, existe uma tendência de usar estas palavras alternativamente ou de forma incorreta em determinado contexto, desconhecendo as suas distinções no campo da Matemática, da Estatística, da Engenharia e da Metodologia de Sistemas. No entanto, o aumento da complexidade de operação dos sistemas e dos processos, assim como a necessidade de se tomar decisões a partir de diferentes comportamentos do sistema ou do processo em cenários adversos de operação, obriga o engenheiro da área de análise e consultoria a definir com precisão cada um destes termos, bem como

definir modelos, métodos ou técnicas para a quantificação do risco e da confiabilidade (SINGPURWALLA, 2006).

Neste ponto, é importante distinguir os termos perigo e acidente. Aliás, tal confusão não passou despercebida por WINTHER e MARSH (2013), que ressaltam a questão no âmbito da área de segurança e confiabilidade de sistemas. Perigo é uma ou mais condições físicas ou químicas com potencial para causar danos às pessoas, à propriedade, ao meio ambiente ou à combinação desses (KUMAMOTO e HENLEY, 1996). Em um sistema complexo, como por exemplo, a interação entre o sistema portuário e o sistema naval ou oceânico, com maior atuação do elemento humano, os perigos são perceptíveis e podem causar grandes prejuízos financeiros.

As consequências, portanto, são negativas. Já o termo “acidente” se refere a um evento imprevisto e indesejável que provoca uma consequência negativa às pessoas, ao patrimônio e/ou ao meio ambiente (MARTINS, 2013). Após a ocorrência do evento, o perigo se concretiza em um acidente, é um pré-requisito para que aconteça o acidente (ERICSON, 2005), e a consequência é a manifestação dos efeitos físicos resultantes do acidente, que pode ser um resultado direto ou indireto, de um evento inicializador, que é um evento indesejado resultado da atuação indevida de um componente do sistema ou do processo, composto pelo elemento humano. Um acidente pode ser um evento catastrófico, instantâneo ou contínuo.

Segundo HOLLGANEL (2005), vários modelos são utilizados para estudar os diversos tipos de acidentes, em sistemas ou em processos envolvendo o homem e a máquina, mas o autor destaca três modelos: o sequencial, que versa sobre uma sequência de eventos, em “efeito dominó”; o epidemiológico, que ocorre tal qual uma doença, contagiando o sistema ou o processo; e o sistêmico, onde há uma série de eventos ocorrendo em série ou em paralelo, estudado como se fosse um modelo caótico. Neste trabalho, considerar-se-á que os eventos indesejáveis podem ocorrer em série e/ou paralelo.

Por seu turno, o termo “segurança” se refere, no contexto ora estudado, à capacidade de um sistema de evitar a ocorrência de falhas ou eventos indesejados,

dentro das condições pré-estabelecidas de eventos críticos para o seu funcionamento ou para os seus operadores e o meio ambiente. Este conceito, no contexto do risco, está relacionado à operação bem sucedida do sistema ou do processo. Portanto, a segurança da operação do sistema ou do processo está relacionada com as capacidades de avaliação, previsão, medida e controle de falhas do sistema (BAHR *apud* RODRIGUEZ, 2012). A segurança pode ser determinante para a quantificação do risco de operação do sistema ou do processo, se se considerar a sua atuação sem falhas catastróficas, refletindo a possibilidade do sistema ser operado ou do processo ser realizado de forma normal e anormal, sem oferecer ameaças às pessoas ou ao meio ambiente. No caso de sistemas navais e portuários há uma quantidade expressiva de normas que visam garantir melhorias na previsão e controle de situações perigosas que poderiam resultar em incidentes. Essas normas de segurança são basicamente estabelecidas pela IMO e pelas sociedades classificadoras como a DNV (*Det Norsk Veritas*) e ABS (*American Bureau of Shipping*).

Daí surge a questão: como se relacionam os termos segurança e confiabilidade? São sinônimos? O sistema é confiável e é seguro?

Segundo MARTINS (2013), a confiabilidade de um sistema ou de um componente é a probabilidade deste executar a função para o qual foi projetado durante um período de tempo pré-definido, sob determinadas condições ambientais e operacionais, dado que estava funcionando ou em condições de operar no instante inicial. Vê-se, pois, que confiabilidade e segurança podem estar relacionadas quando a segurança depende do funcionamento de um dispositivo de proteção, mas não são sinônimos. RODRIGUEZ (2012) nos informa que, dispositivos de proteção deveriam ser os últimos recursos a serem empregados na ordem de precedência da segurança, devendo-se dar preferência à eliminação dos perigos, não se requerendo que os componentes do sistema ou que realizam o processo demonstrem alta confiabilidade, mas que tão-somente afastem comportamentos perigosos.

2.2.2. Conceito de risco

HAIMMES (1998) *apud* RODRIGUEZ (2012, p. 16), define risco como a medida que combina a probabilidade e a severidade dos efeitos associadas à ocorrência de eventos indesejados sobre um sistema. Por outro lado, SÁNCHEZ (2005) *apud* RODRIGUES (2012, p. 16), também define risco como a magnitude de um evento de falha, usualmente expressa em termos econômicos.

No que tange a este trabalho, risco é um conceito atribuído à incerteza utilizado para avaliar o potencial efeito de um evento imprevisto e indesejável que provoca uma consequência negativa às pessoas, ao patrimônio e/ou ao meio ambiente em termos de sua probabilidade de ocorrência e da magnitude das suas consequências (MARTINS, 2013).

Ou seja, risco (R) é medida de perda econômica e/ou de danos à vida humana, resultante da combinação entre as frequências de ocorrência (f) e a magnitude das perdas ou danos (consequências – C), observado o cenário (c) (SMITH, 2001; no mesmo sentido, a norma técnica da PETROBRAS NBR-2784, PETROBRAS, 2005)⁵, isto é:

$$R = F(f, c, C) \quad (2.18)$$

Para muitos processos, as consequências após a ocorrência de um evento indesejado, são extremamente graves e podem ser expressas em número de fatalidades, tempo de perda de produção, volume de perda de produção, quantidade de produto contaminante liberado no meio ambiente, multas e punições por não cumprimento de contratos e legislações governamentais, entre outros.

⁵ Há uma definição mais abrangente do conceito de risco, inserindo na expressão 2.18, uma função de distribuição de probabilidades associada as incertezas, considerando que os valores esperados são expectativas. A ISO 31000 e a recente edição sobre risco da autoridade norueguesa (Petroleum Safety Authority Norway) trazem esta concepção do risco ligada a afetação negativa na realização dos objetivos. Nada obstante, adotar-se-á, para este trabalho, por simplificação, o conceito apresentado.

No setor marítimo, a IMO define o risco como a combinação da frequência e da severidade da consequência (IMO, 2002).

SMITH (2001), corroborando com o que foi exposto, afirma que para fazer uma análise ou avaliação de risco é necessário caracterizar as duas variáveis, a frequência (f) e a consequência (C). Tendo os valores qualitativos ou quantitativos destas duas variáveis é possível definir quais são os eventos que tem maior risco classificando-os em categorias de risco. Adiante, na subseção 2.2.5, será feito um detalhamento desta relação entre risco, a frequência e a consequência.

Nesta linha de raciocínio, supondo que exista uma variável aleatória que represente as perdas referentes às consequências de um determinado evento indesejado, o valor esperado desta variável pode ser interpretado como o risco que existe se o evento indesejado acontece e está expresso na equação (2.19) (RODRIGUEZ, 2012; em sentido análogo, MARTINS, 2013).

$$R = E[L] = \sum_{i=1}^n p(L_i) \cdot L_i \quad (2.19)$$

Onde $p(L_i)$ representa a probabilidade da ocorrência da perda, para o evento i (variando de 1 até n), ou seja, é a probabilidade do evento indesejado acontecer, sendo L_i o valor desta perda.

Introduzir a medida de risco baseada na distribuição das perdas potenciais permite incorporar a incerteza associada às consequências. Por outro lado, para estimar a distribuição de perdas podem ser usados dados históricos sobre as perdas associadas com a ocorrência dos eventos indesejados. Além disso, podem existir diferentes níveis de perdas associadas às diversas alternativas de decisão, onde estas alternativas representam a redução da chamada ocorrência de L_i . Portanto, define-se um conjunto $A = \{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_j, \dots, a_m\}$, de possíveis alternativas, onde cada alternativa é **mutuamente excludente**, e a probabilidade de cada nível de perdas pode ser expressa como mostra a equação (2. 20) e, portanto, o risco pode

ser expresso como mostra a equação (2. 21) (SANCHEZ *apud* RODRIGUEZ, 2012, p. 17):

$$p(L_i) = \sum_{j=1}^m p(L_i|a_j) \cdot p(a_j) \quad (2. 20)$$

$$R = E[L] = \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^m p(L_i|a_j) \cdot p(a_j) \right] \cdot L_i \quad (2. 21)$$

Sendo $p(L_i|a_j)$ a probabilidade de perda i dado que ocorreu a alternativa a_j .

O risco ainda pode ser subdividido em duas categorias: o risco individual, que se refere à probabilidade de um indivíduo isoladamente sofrer algum tipo específico de lesão ou fatalidade como consequência de um evento indesejável que provoca prejuízos, e o risco social, que se refere ao risco ao que um determinado número de indivíduos, que se encontram em uma determinada comunidade ou área, sofram fatalidades em decorrência do evento indesejável em análise (MARTINS, 2013).

Na sequência, serão apresentados os conceitos de frequência e de consequência, variáveis que influenciam no risco.

2.2.3. Conceito de frequência de ocorrência

No setor marítimo, segundo a IMO, a frequência é definida como o número de ocorrências por unidade de tempo, como por exemplo, em anos. Cada área da indústria avalia a frequência (f) de acordo com o que ela considera apropriada. Por exemplo, os dados da frequência de ocorrência de eventos na área marítima, são classificados como indicado na Tabela 6 (IMO, 2002).

Tabela 6 – Valores de Frequência de Ocorrência (IMO, 2002)

| Categoria | Frequência | f (por navio por ano) | Descrição |
|------------------|------------------------|------------------------------|--|
| 7 | Frequente | 12 | Possível de ocorrer uma vez por mês em um navio. |
| 5 | Razoavelmente provável | 10^{-1} | Possível de ocorrer uma vez por ano em uma frota de 10 navios, ou seja, possível de ocorrer algumas vezes durante a vida operacional do navio. |
| 3 | Remota | 10^{-3} | Possível de ocorrer uma vez por ano em uma frota de 1000 navios, ou seja, possível de ocorrer durante a vida útil de vários navios similares. |
| 1 | Extremadamente remota | 10^{-5} | Possível de ocorrer uma vez durante a vida operacional (20 anos) de uma frota de 5000 navios. |

Já na norma técnica NBR-2784, a frequência de falhas é definida como o número de eventos de falha ocorridos, dividido pelo tempo do calendário ou tempo de operação no qual ocorrem tais eventos, ou pelo número total de demandas (PETROBRAS, 2005).

SMITH (2001) coloca um exemplo para definir a frequência de ocorrência: levando em consideração a operação de uma planta industrial que manuseia materiais tóxicos e inflamáveis, e dado que aconteceria um evento de perigo em um período de dez mil anos, o resultado da frequência de ocorrência seria de 10^{-4} na mencionada planta industrial. Porém, mesmo que um evento de perigo apresente uma frequência de ocorrência muito baixa, suas consequências podem ter elevada magnitude, contribuindo significativamente para a composição do risco associado à operação de uma determinada instalação.

2.2.4. Conceito de consequência de ocorrência

Segundo a norma técnica PETROBRAS NBR-2784, a consequência (C) é a manifestação de como os efeitos físicos impactam sobre os recursos humanos, ambientais e/ou materiais, ocasionados por incêndio, explosões ou vazamentos de produtos tóxicos ou perigosos, expressa sob forma de danos à saúde, perda econômica e impactos ao meio ambiente (PETROBRAS, 2005).

A IMO (2002), define a consequência como o resultado de um acidente, envolvendo fatalidades, lesões, perda ou dano do navio; perda ou dano de propriedades ou danos ambientais classificando-a conforme a sua severidade. Na Tabela 7 pode-se ver as categorias de severidade de acordo com a IMO.

Tabela 7 – Valores de Consequência de Ocorrência (IMO, 2002)

| Categoria | Severidade | Efeitos na segurança das pessoas | Efeitos no navio |
|------------------|-------------------|---|---------------------------------|
| 1 | Menor | Lesões menores | Danos aos equipamentos locais |
| 2 | Significativo | Ferimentos múltiplos ou severos | Danos não severos sobre o navio |
| 3 | Severo | Uma fatalidade ou múltiplas lesões graves | Danos severos |
| 4 | Catastrófico | Múltiplas fatalidades | Perda total do navio |

O CCPS-AIChE define as consequências indesejáveis em três grandes categorias como mostrados na Figura 5. Cada uma das três categorias pode ser subdividida pelo tipo de impacto que os eventos de perigo podem trazer. São elas: impacto à vida humana, impactos ambientais e impactos econômicos tanto na própria instalação quanto nas áreas circunvizinhas (CCPS-AIChE, 2008).

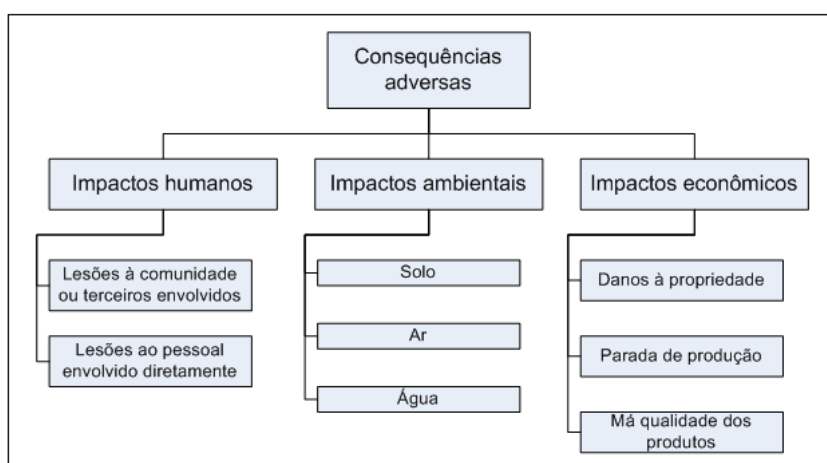


Figura 5 – Tipos de consequências dadas pelas ocorrências (CCPS-AIChE, 2008).

2.2.5. Categorias de Risco

Segundo a IMO (2002), o risco pode ser analisado qualitativamente ou quantitativamente (como se verá no item 2.4). Neste sentido, as tabelas apresentadas a seguir são utilizadas em uma análise qualitativa de riscos e as classificações apresentadas são meras sugestões dos respectivos autores devendo-se analisar a conveniência ou adequação destas classificações (de frequência e consequências) com relação ao problema sob análise.

Para ordenar e classificar o risco de acordo com a sua significância, utiliza-se a denominada “matriz de risco”. Segundo KONTOVAS e PSARAFTINS (2009) e ALENCAR (2005) *apud* SILVA (2013), a matriz de risco está dividida em categorias de acordo com os valores da frequência e da consequência, onde cada evento de perigo é colocado na matriz de risco. Da matriz de risco se obtém uma classificação do risco em categorias.

Dependendo da literatura utilizada para a elaboração da matriz de risco, ela pode ser apresentada de diferentes maneiras, já que podem ser utilizados valores de frequência e de consequência, em alguns casos, diferentes em comparação com outras áreas industriais.

Na indústria marítima, no contexto aqui tratado, a frequência e a consequência são introduzidas de maneira ordenada dentro da matriz de risco, que é apresentada na Tabela 8 (IMO, 2002).

Tabela 8 – Matriz de Risco de acordo com a IMO (IMO, 2002)

| | | Severidade | | | |
|-----------|------------------------|------------|---------------|--------|--------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Categoria | Frequência | Menor | Significativo | Severo | Catastrófico |
| 7 | Frequente | 8 | 9 | 10 | 11 |
| | | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 5 | Razoavelmente provável | 6 | 7 | 8 | 9 |
| | | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 3 | Remota | 4 | 5 | 6 | 7 |
| | | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | Extremadamente remota | 2 | 3 | 4 | 5 |

A IMO define a sua matriz de risco por meio de valores numéricos, os quais começam com o valor menos crítico (2) e vão até o valor que representa o valor mais crítico (11). Para os eventos de perigo que geram um maior índice de risco é necessário e obrigatório a implementação de todas as medidas de controle possíveis com o intuito de diminuir esse elevado índice de risco. Alerta-se que a matriz de risco não é uma ferramenta escoimada de vícios. Há limites para a matriz de risco, no que tange à simplificação que é feita, em relação ao cenário estudado, conforme destaca FLAGE e RØED (2012). Para maiores detalhes, sugere-se a leitura da referência em questão.

É preciso estabelecer quais são as categorias de risco e definir o que significa cada uma delas. De acordo com SMITH (2001) e IEC (2009) *apud* SILVA (2013) as categorias de risco são definidas como “tolerável”, “aceitável” e “inaceitável”. Na Tabela 9 apresentam-se as categorias de risco com as suas respectivas definições.

Tabela 9 – Categorias de Risco (extraído de SMITH, 2001, com adaptações)

| Categoria de Risco | Descrição |
|--------------------|---|
| Tolerável | Pode-se aceitar o risco como razoável não sendo necessário implementar medidas adicionais para o seu controle. |
| Aceitável | Embora o sistema esteja preparado para operar com um risco particular, deve-se continuar analisando suas causas e as defesas que se aplicarão, tendo em vista uma redução adicional do risco. |
| Inaceitável | Este nível de risco não é tolerável e deverão ser tomadas medidas corretivas no projeto e operação para reduzir a probabilidade de ocorrência e as consequências dos perigos. |

O termo “tolerável” significa que aceita-se o nível de risco de um evento indesejável como razoável, não sendo necessário investir mais esforços, e recursos para reduzir este nível de risco. O termo “aceitável” denota que embora o sistema ou a planta industrial do processo esteja preparado para operar com um risco particular, deve-se continuar trabalhando a fim de reduzir este nível de risco. Isto pode ser obtido mediante a análise das causas do evento de perigo ou por meio da instalação de defesas ou barreiras para reduzir seu impacto em caso da ocorrência do evento. Por fim, o termo “inaceitável” significa que tal categoria de risco não é tolerável e deverão ser tomadas medidas de alteração do projeto ou da operação da planta industrial para evitar a exposição dos eventos de perigo.

Cada área da indústria têm as suas próprias medidas, assim o que para algumas é considerado como tolerável para outras áreas este mesmo evento de perigo pode ser considerado como inaceitável.

A matriz de risco serve para fazer a avaliação dos riscos associados aos eventos de perigo identificados em qualquer planta industrial. Talvez esta seja a maneira mais simples de avaliação de riscos para ser empregada na análise de risco, pois a interpretação é mais rápida e fácil, para depois recomendar e implementar as medidas de proteção, mesmo na etapa de projeto ou durante a vida operacional da instalação industrial.

Inferir-se que o desenvolvimento de valores estimados qualitativa e/ou quantitativa dos riscos, baseado em técnicas e/ou métodos estruturados, para promover a combinação das frequências e das consequências de um acidente ou incidente é denominado na literatura especializada de **estudo do risco**.

E, o estudo do risco é dividido em três etapas: avaliação do risco, incluindo a análise do risco (cálculo do risco), gerenciamento do risco e a comunicação do risco. Existem muitas interações e sobreposições entre estas principais etapas ou elementos da análise de risco (MODARRES, 2009).

Há, associado a essas três etapas do estudo do risco, um grande desafio inicial, que é identificar fatores e pontos vulneráveis que podem ser geradores de cenários inaceitáveis de operação, visando minimizar a probabilidade de ocorrência dos eventos indesejáveis que gerem cenários e seu impacto, tanto para o meio ambiente e as operações, como para as pessoas envolvidas no processo industrial a ser analisado. Na mesma toada, busca-se minimizar as consequências econômicas, seja em função da perda de algum equipamento ou da parada na operação do sistema.

Há duas abordagens: uma prescritiva (determinística), pela qual as especificações técnicas de um projeto básico de uma planta industrial são baseadas na experiência passada e, muitas delas, após a ocorrência de algum acidente importante, são revisadas (RODRIGUEZ, 2012). Essa abordagem carece de um enfoque preventivo, e por esta razão, a IMO decidiu adotar um método, no caso do setor naval, na análise de segurança dos navios e do transporte marítimo, bem como sua interação com a área portuária, chamada Avaliação Formal de Segurança – FSA (do inglês *Formal Safety Assessment*) (KONTOVAS e PSARAFTINS, 2009 *apud* RODRIGUEZ, 2012).

Segundo WANG e ROUSH (2000) *apud* RODRÍGUEZ (2012), o projeto e a operação de navios, e dos sistemas que interagem com eles, como por exemplo, os portos, são divididos em cinco etapas: 1) identificação dos perigos e dos cenários que poderiam conduzir aos acidentes, tais como, contato, colisão, explosão, incêndio, alagamento e afundamento; 2) pesquisa das causas e consequências dos cenários e identificação das áreas de maior risco (normalmente usadas as denominadas matriz de risco); 3) definição de estratégias de controle de risco eficazes e práticas de operação, visando reduzir o nível do risco das áreas críticas; 4) avaliação do custo-benefício identificando e comparando os benefícios e os custos associados com a implantação das estratégias de controle do risco e, 5) recomendações para a tomada de decisão.

O FSA (IMO, 2002) aceita tanto uma caracterização quantitativa quanto qualitativa dos perigos e riscos envolvidos no problema a ser analisado e,

consistentemente com os dados disponíveis, sua representação pode ser tanto matemática quanto descritiva. Nos casos em que os dados necessários para cada passo não estiverem disponíveis o método prevê a **participação de especialistas**, desenvolvimento de modelos físicos, simulações e uso de modelos analíticos para a sua produção. Trata-se de uma abordagem probabilística do risco (*Probabilistic Safety Assessment – PSA*).

Mas, tanto a abordagem determinística quanto a abordagem do PSA podem se deparar com dificuldades, tais como, falta de dados, dados escassos, modelagem complexa. E, na linha do entendimento da IMO (2002), na análise quantitativa obtém-se um número de risco, enquanto que com a análise qualitativa encontra-se um nível de risco que será baixo, médio, ou alto, como definido na matriz de risco da IMO.

Portanto, decorre da nomenclatura utilizada que a **análise de risco** é atividade voltada para o desenvolvimento de estimativas qualitativa e/ou quantitativa do risco baseadas em técnicas estruturadas, para promover a combinação das frequências e das consequências de um acidente (cálculo do risco). Já a **avaliação do risco** é o processo que utiliza os resultados da análise de risco para a tomada de decisão quanto ao gerenciamento do risco, pela comparação com critérios de tolerabilidade de risco previamente estabelecidos (MODARRES, 2009).

Nesta ordem de ideias, o **gerenciamento de risco** é a formulação e a implantação de medidas e procedimentos técnicos e administrativos, que têm por finalidade prevenir, controlar ou reduzir o risco existente em uma instalação industrial, tendo também por objetivo manter essa instalação operando dentro de requisitos de segurança considerados toleráveis (MODARRES, 2009).

Portanto, as respostas às perguntas que foram feitas anteriormente, e que compõe a análise de risco do sistema complexo para a tomada de decisão, definindo a instalação ou permanência de uma planta industrial são aferidas pelo fluxograma da Figura 6, que corresponde ao objetivo da abordagem probabilística de risco:

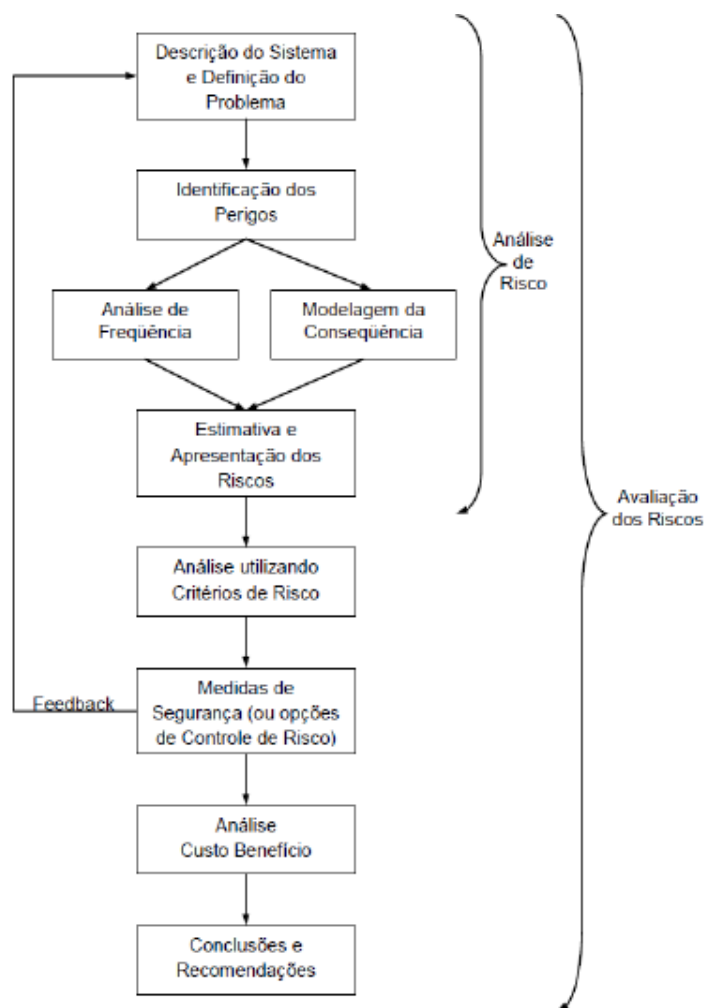


Figura 6 – Processo de Análise e Avaliação de Risco (extraído de MARTINS, 2013).

Na sequência, será exposto o que se tem sobre o estudo da confiabilidade de sistemas, processos e componentes.

2.3. Estudo de Confiabilidade

A ocorrência de evento indesejado e aleatório no funcionamento de um sistema ou na operação de um processo, levando a cessação da habilidade do sistema ou da continuidade do processo associado à planta industrial, em desempenhar a função a ela especificada, dá-se o nome de falha.

Côncios em projetar plantas industriais com elevado grau de infalibilidade, os engenheiros frequentemente dimensionam estruturas conservadoras, por meio da

aplicação de coeficientes de segurança ou componentes redundantes ou fatores de sobrecarga. Usualmente essas práticas são baseadas em padrões ou normas oficiais definidos pela experiência de outros engenheiros ao longo do tempo. Mesmo assim, falhas ocorrem. E mais: estruturas superdimensionadas representam um custo adicional desnecessário.

Os requisitos de um projeto de engenharia, além do custo, estão atrelados à segurança, à funcionalidade, à durabilidade e aos impactos ao meio ambiente. Certo é que, nesse contexto, e como consequência das premissas do projeto da planta industrial, a incerteza ou aleatoriedade dos dados de entrada e parâmetros de projeto devem ser considerados. É necessário estabelecer quais são os parâmetros mais relevantes e o quanto esses parâmetros podem variar, para ser inferido o plano de manutenção ou de reparo da planta industrial, em relação aos seus sistemas, ou alteração dos processos associados, se for o caso, evitando falhas.

Muitos fenômenos observados na natureza ou nas atividades humanas contêm uma incerteza inerente, isto é, não podem ser previstos com precisão absoluta. Em geral, observações repetidas de fenômenos físicos geram múltiplos resultados, alguns mais frequentes do que outros. A ocorrência de múltiplos resultados sem um padrão característico é descrita através de termos como incerteza, aleatoriedade e estocasticidade, que vem do grego *stochos*, que significa “incerto” (KRÜGER, 2008). A frequência de falhas, que é o número de falhas observadas por unidade de tempo da operação ou pelo número de demandas realizadas na planta industrial, a depender do modo de operação do sistema ou da realização do processo, é uma quantidade aleatória formalmente conhecida como variável aleatória.

Em geral, todos os parâmetros de interesse em projetos de engenharia são representados por estatísticas (ver 2.1) que possuem algum grau de incerteza, podendo, portanto, ser considerados como variáveis aleatórias (KRÜGER, 2008).

A presença de incerteza em projetos de engenharia sempre foi um fato reconhecido, contudo, as abordagens tradicionais simplificam o problema ao considerar os parâmetros de maneira determinística e não considerar os parâmetros

estatísticos existentes para representá-los. A forma usada para se levar em conta a variabilidade dos parâmetros considerados é através do uso de coeficientes de segurança empíricos. Os coeficientes de segurança são geralmente baseados em experiências anteriores, porém não garantem segurança ou desempenho satisfatório de forma absoluta. Também não proporcionam informações sobre a influência que os diferentes parâmetros do sistema possuem sobre a segurança do mesmo. Portanto, é difícil projetar um sistema com uma distribuição uniforme de níveis de segurança entre os diferentes componentes ao utilizar coeficientes de segurança empíricos (KRÜGER, 2008).

A redução da frequência de falhas de um sistema ou de um processo torna a planta industrial associada mais “confiável”. Essa ideia foi percebida na década de 30, século XX, na indústria de seguros, como nos informa MARTINS (2013), migrando para a área tecnológica após a 2ª grande guerra mundial, no desenvolvimento de programas de manutenção de sistemas pela indústria aeronáutica. Passa-se a exigir testes de confiabilidade dos componentes e dos sistemas. Na década de 60, surgem os primeiros livros, e na década de 70, novas técnicas na indústria nuclear, com o pioneirismo da análise da árvore de falhas (MARTINS, 2013). É a partir da indústria nuclear que o estudo da confiabilidade ganha força, em especial em relação ao elemento humano atuante na planta industrial (a ser visto no item 2.3.1), infelizmente devido aos acidentes da área, como a catástrofe de *Three Mile Island* (USA, 1979).

Na década de 80, é introduzido o conceito de manutenibilidade (manutenibilidade⁶), embasando um programa da U.S. Air Force na manutenção dos sistemas, a fim de permitir a redução de custos. E, tal como ocorreu na indústria nuclear (com o acidente da usina nuclear de *Three Mile Island*), na indústria aeroespacial, o acidente com o ônibus espacial *Challenger* em 1986, mudou a sistemática adotada pela NASA, agência espacial norte-americana na análise quantitativa da confiabilidade (MARTINS, 2013).

⁶ Probabilidade de que um sistema em estado de falha seja reparado à sua condição original dentro de um intervalo de tempo especificado, sendo a manutenção realizada seguindo-se procedimentos pré-estabelecidos e sob condições especificadas (MARTINS, 2013).

Como anteriormente informado, confiabilidade é a probabilidade de um componente ou sistema executar a função para a qual foi projetado, durante um período de tempo pré-definido, sob determinadas condições ambientais e operacionais dado que estava funcionando, ou em condições de operar, no instante inicial. Em termos matemáticos (MARTINS, 2013):

$$R(t) = P(T \geq t | c_1, c_2, \dots) \quad (2.22)$$

Onde, $R(t)$ é a confiabilidade em função de t , que é o tempo decorrido sem falhas desde o início da operação do sistema ou do processo ou do componente, isto é, o tempo de missão. T é a variável aleatória que representa o instante de falha do sistema ou do processo ou do componente. c_1, c_2, \dots são as condições operacionais. Nestas condições, sendo $R(t)$ uma medida de probabilidade, ela é uma função decrescente, $R(t) \geq 0$, com $\lim_{t \rightarrow 0} R(t) = 1$ e $\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0$. Assim, $0 \leq R(t) \leq 1$.

Nesta linha de raciocínio, a distribuição acumulada de falhas $F(t)$ representa a probabilidade da falha do sistema ou do processo ou do componente até um determinado instante t , a partir do início de sua operação, e é definida matematicamente por:

$$F(t) = P(T < t | c_1, c_2, \dots) = 1 - R(t) \quad (2.23)$$

E, por definição, $F(0) = 0$ e $\lim_{t \rightarrow \infty} F(t) = 1$.

Por seu turno, a função de distribuição (ou de densidade) de probabilidades de falhas $f(t)$ descreve a forma da distribuição de probabilidades ao longo do tempo e é a derivada de primeira ordem de $F(t)$. Então:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{d(1 - R(t))}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (2.24)$$

E, como toda função de densidade de probabilidades:

$$f(t) \geq 0 \quad (2.25)$$

$$\int_0^{\infty} f(t) dt = 1 \quad (2.26)$$

Desta forma, a partir do Primeiro Teorema Fundamental do Cálculo, é possível afirmar que a função de distribuição acumulada de falhas $F(t)$ e a confiabilidade $R(t)$ representam áreas sob a curva da função de densidade de probabilidade de falhas $f(t)$, e podem ser obtidas diretamente por:

$$F(t) = \int_0^t f(\tau) d\tau \quad (2.27)$$

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(\tau) d\tau = 1 - F(t) \quad (2.28)$$

A Figura 7 ilustra a forma genérica da distribuição acumulada de falha e da função de confiabilidade para uma dada função de densidade de probabilidade, e a Figura 8 ilustra representação geométrica das áreas sob as curvas, i.e., a área em verde a não-confiabilidade, e em vermelho a confiabilidade, sendo a soma igual a unidade:

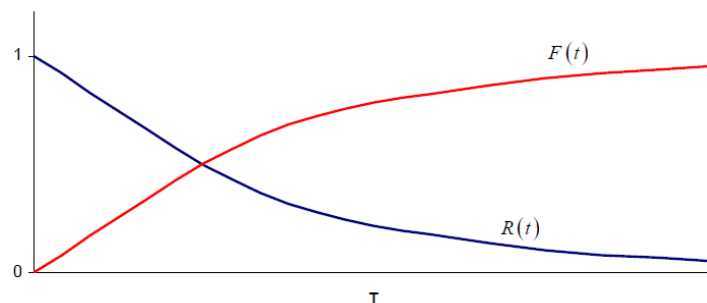


Figura 7 – Forma genérica da função de distribuição acumulada de falha $F(t)$ e da função de confiabilidade $R(t)$ para uma dada função de distribuição (ou de densidade) de probabilidade $f(t)$ (extraído de MARTINS, 2013).

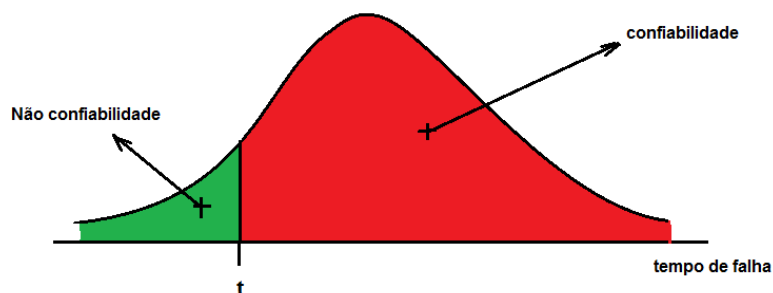


Figura 8 – Função de densidade de probabilidade $f(t)$ e a relação numérica com $F(t)$ e $R(t)$ – área sob a curva.

Para exemplificação e auxílio a este trabalho (ver item 4.3), suponha que a função densidade de probabilidade (f.d.p.) seja uma distribuição triangular, com variáveis contínuas, a qual possui um valor mínimo a , um valor máximo b e uma moda c , de modo que a função densidade de probabilidade é zero para os extremos (a e b), e função afim entre cada extremo e a moda, de forma que o gráfico da mencionada f.d.p. é um triângulo, conforme se vê na Figura 9.

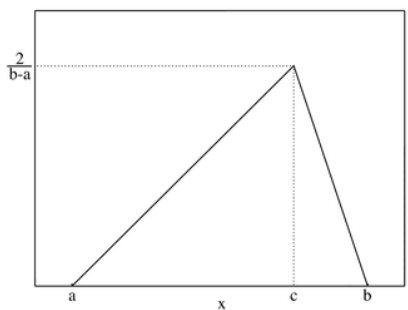


Figura 9 – Gráfico da função densidade de probabilidade (f.d.p.) de uma distribuição triangular.

A função densidade de probabilidade acumulada associada à Figura 9, com $F(x) = 0$, para $x \leq a$ e $F(x) = 1$ para $x \geq b$ é a Figura 10:

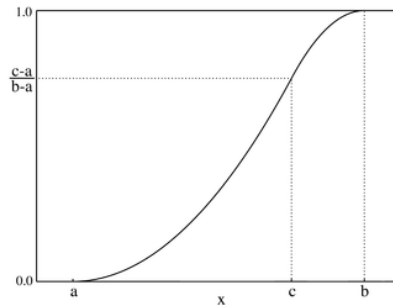


Figura 10 – Gráfico da função densidade de probabilidade acumulada – f.d.p.a..

No caso considerado, a f.d.p. da distribuição triangular é dada pela expressão (2.29).

$$f(x|a,b,c) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(b-a)(c-a)} & \text{para } a \leq x \leq c \\ \frac{2(b-x)}{(b-a)(b-c)} & \text{para } c \leq x \leq b \\ 0 & \text{(zero) para qualquer outro valor de } x. \end{cases} \quad (2.29)$$

E a f.d.p.a. é dada pela expressão (2.30).

$$\begin{cases} \frac{(x-a)^2}{(b-a)(c-a)} & \text{para } a \leq x \leq c \\ 1 - \frac{(b-x)^2}{(b-a)(b-c)} & \text{para } c \leq x \leq b \end{cases} \quad (2.30)$$

Onde se verificará mais adiante (ver Tabela 23), para este estudo (ver item 4.3), que $a = 0$ (mínimo valor esperado); $b = 8$ (máximo valor esperado) e $c = 4$ (é a moda).

No próximo tópico, dentro do contexto da confiabilidade, observado o elemento humano na interação com sistemas e processos, será apresentado um breve histórico sobre a confiabilidade humana e as técnicas correlacionadas.

2.3.1. Confiabilidade Humana

A preocupação e o aumento do número de técnicas disponíveis para a consideração da confiabilidade humana, também conhecida como análise da confiabilidade humana – HRA (do inglês *Human Reliability Analysis*), segundo HOLLNAGEL *apud* MARTINS (2013), está fortemente correlacionado com a catástrofe de *Three Mile Island*, ocorrida em 1979 no EUA, conforme mostra a Figura 11, que demonstra o crescimento das técnicas relacionadas à HRA.

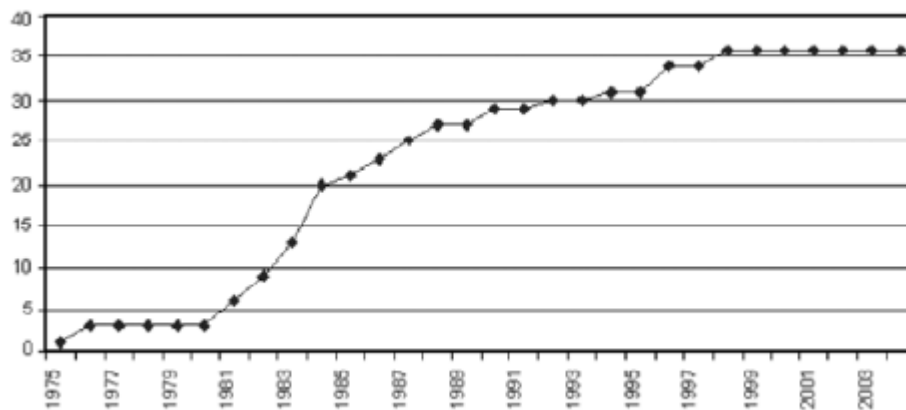


Figura 11 – Número de técnicas existentes para a HRA (extraído de MARTINS, 2013).

Como se sabe, na operação de sistemas, de processos e de equipamentos, em algum momento, se torna imprescindível a atuação do elemento humano. Para a consideração do fator humano, o ideal é aplicar a HRA desde a concepção do sistema.

HOLLNAGEL (2002) expõe que, embora os seres humanos não sejam vistos como a principal causa de todos os acidentes, não há como afastar a ideia de que eles desempenham um papel na forma como os sistemas falham, bem como na recuperação ou manutenção destes sistemas, a fim de eliminar o fracasso, pois que, simplesmente, o elemento humano é uma parte indispensável de todos os sistemas complexos. HOLLGANEL (2005) *apud* MARTINS (2013), informa ainda que, devido à grande participação do ser humano em plantas industriais, é recomendável o emprego da HRA, desde a fase de concepção, em termos qualitativos e quantitativos, mas se a planta já estiver em funcionamento, a realização da HRA

pode auxiliar para a identificação dos potenciais erros e cenários acidentais, bem como na apresentação de medidas mitigadoras, barreiras de contingência e/ou propor alterações no sistema, no processo ou no equipamento a fim de reduzir o risco potencial, afastando eventos indesejáveis provocados pela ação humana.

Ressalta HOLLGANEL (2002) que, os tipos mais simples de modelos de acidentes, descreve o acidente como o resultado de uma sequência de eventos que ocorrem em uma ordem específica. Isto tem sido expresso como o “Primeiro Axioma da Segurança Industrial”, que o acidente, resultado de uma sequência de fatores, é invariavelmente causado ou permitido, por omissão, pelo ato inseguro de uma pessoa e/ou um perigo mecânico ou físico. A Figura 12 mostra os fatores que influenciam a ação humana na prática de atos inseguros, em modelos de acidentes epidemiológicos (HOLLGANEL, 2002).

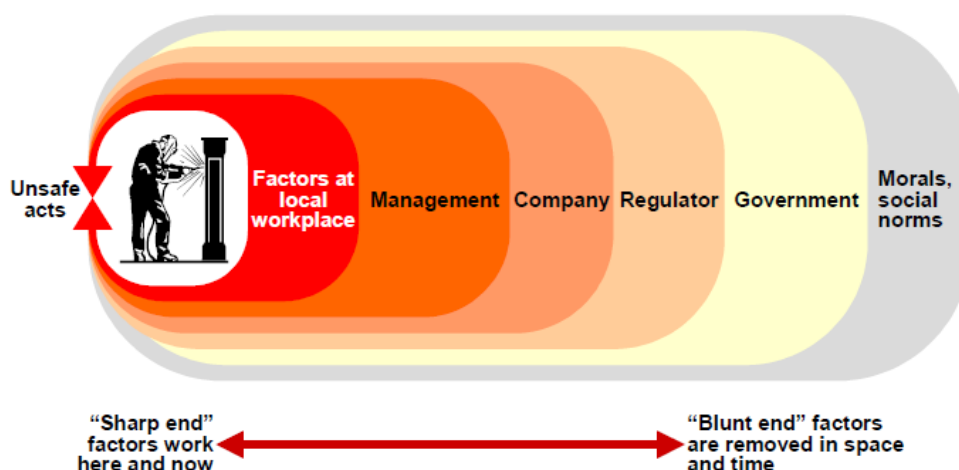


Figura 12 – Acoplamento entre “sharp-end”⁷ e “blunt-end”⁸ – modelos de acidentes epidemiológicos (extraído de HOLLGANEL, 2002).

A HRA é um procedimento, focado nas atividades humanas associadas à operação do sistema ou do processo, que envolve atividades de análise com aplicação de técnicas específicas para cada fase ou estágio e, dependendo do nível da avaliação probabilística de segurança – PSA (do inglês *Probabilistic Safety*

⁷ *Sharp-end* está relacionado ao operador do equipamento ou processo, ou seja, os eventos (indesejáveis) decorrentes da atuação da pessoa que realiza a tarefa (tradução livre do autor).

⁸ *Blunt-end* está relacionado às instituições que atuam indiretamente no ambiente onde opera o equipamento ou se realiza o processo ou no “sharp-end”, ou seja, os eventos (indesejáveis) decorrentes da construção ou atuação dos reguladores, da administração, dos projetistas, etc. (tradução livre do autor).

Assessment) que está sendo concretizado, podendo ser quantitativa ou qualitativa. Se for requerida a análise quantitativa completa, então as probabilidades de ocorrência do erro humano (*Human Error Probabilities*), devem ser determinadas para alimentar modelos tais como árvores de falhas e de eventos (IMO, 2002).

Para realizar uma HRA em sistemas complexos, como o aqui estudado, foram desenvolvidos diferentes métodos, que serão vistos mais adiante. A questão-chave dos métodos HRA é a modelagem correta da situação (cenário), conforme ressaltam ARENIUS *et al.* (2013).

MATURANA (2010) informa que a HRA usualmente consiste dos seguintes estágios: (1) Identificação de Tarefas-chave; (2) Análise das Tarefas-chave; (3) Identificação dos Erros Humanos; (4) Análise dos Erros Humanos; (5) Quantificação da Confiabilidade Humana. A Tabela 10 apresenta as relações entre os passos da FSA e as etapas previstas pra a HRA (IMO, 2002).

Tabela 10 – Correlação entre os passos da FSA e da HRA (IMO, 2002).

| Passos da FSA | Passo 1 Identificação dos Perigos | Passo 2 Análise de Risco | Passo 3 Opções de Controle de Risco | Passo 4 Análise de Custo-Benefício | Passo 5 Recomendações e Tomada de Decisão |
|--|--|---|---|--|---|
| Tarefas Requeridas para a incorporação da HRA | <ul style="list-style-type: none"> ■ Perigos Relacionados a Fatores Humanos; ■ Análise de Tarefas de Alto Nível; ■ Descrição Preliminar dos Resultados. | <ul style="list-style-type: none"> ■ Análise Detalhada das Tarefas Críticas; ■ Análise do Erro Humano; ■ Quantificação do Erro Humano. | Opções de Controle de Risco para Elemento Humano. | | |

A descrição sucinta dos principais estágios ou passos da HRA relacionados com os passos da FSA que segue é encontrada em MATURANA (2010) e MARTINS (2013).

■ **Passo 1 – Identificação de Perigos:** Nesse passo devem-se identificar as ações humanas que, se não executadas apropriadamente, podem levar o sistema a falhar. Por meio de ampla investigação, devem-se identificar as áreas de interesse (tarefas e sub-tarefas) e como os erros humanos podem contribuir para acidentes durante situações normais e de emergência. No desenvolvimento da análise das tarefas pode-se utilizar uma gama de técnicas – tais como entrevistas, observação, relatos de incidentes críticos – muitas das quais podem ser utilizadas diretamente na identificação de tarefas-chave. Adicionalmente, existe uma série de informações que podem ser consultadas, incluindo informações de projeto, experiências passadas e procedimentos de operação normais e em emergência. O resultado desta etapa é uma gama de tarefas, sub-tarefas e atividades associadas a perigos críticos;

■ **Passo 2 – Análise de Risco:** O propósito desse passo é identificar as áreas em que o fator humano se coloca como de alto risco para a segurança do sistema e avaliar os fatores que influenciam no nível de risco. Pode ser composto das seguintes etapas:

- **Análise Detalhada de Tarefas:** Nesta etapa as tarefas críticas são detalhadas em suas atividades principais, levando em consideração os objetivos de cada atividade e seus executores. Nesta fase também devem ser levantados os fatores que influenciam na execução da tarefa – tais como ambiente de trabalho, grau de dificuldade, interface homem-máquina, se é feita em condições normais ou de emergência;

- **Análise do Erro Humano:** O propósito desta análise é produzir uma lista de potenciais erros humanos que podem levar a consequências indesejadas. Estes erros precisam ser analisados quanto à sua causa provável, o potencial para correção do erro pelo próprio executor ou por outra pessoa, e as consequências do erro;

- **Quantificação do Erro Humano:** A quantificação do erro humano pode ser feita de diferentes maneiras – julgamento de especialistas, registros

históricos e probabilidades genéricas de erro. Para estes dois últimos casos, existem técnicas associadas a banco de dados de erro humano, sendo que a Técnica para Previsão da Taxa de Erro Humano – THERP (do inglês, *Technique for Human Error Rate Prediction*), a mais amplamente empregada. Ao se aplicar esta técnica para a quantificação do erro, geralmente utiliza-se uma aproximação da HEP, haja vista que não se pode dizer que os dados disponíveis (levantados em laboratório, em condições controladas) sempre se ajustam ao ambiente real de trabalho (conforme GERTMAN e BLACKMAN, 1993 *apud* MARTINS, 2013 e FIGUEIRÔA *et al.*, 2013);

■ **Passo 3 – Opções de Controle de Risco:** Para a realização deste passo é necessário definir ações para a redução da frequência do erro por meio da mitigação de seus efeitos e/ou alívio das circunstâncias em que ocorre. O resultado esperado para este passo é uma série de opções de controle de risco a serem aplicadas no sistema – Por exemplo: treinamento da tripulação; mudança de *layout* ou ergonômicas; especificação de informações colocadas à disposição dos operadores e desenvolvimento de procedimentos de emergência.

O número de técnicas aplicadas à HRA, como visto, aumentou fortemente a partir da década de 80, do século XX, e podem ser divididas, basicamente, em dois grupos de modelos, em fases históricas, apresentando vantagens e desvantagens.

Segundo MARTINS (2013), as técnicas de 1ª geração, em geral, não permitem a consideração da dependência entre as atividades humanas desenvolvidas durante a operação do sistema (ou do processo) ou entre os fatores de desempenho – PSF, e, em sua maioria, foram desenvolvidas para a indústria nuclear. Dentre essas técnicas destacam-se a Técnica de Redução e Avaliação do Erro Humano – HEART (do inglês *Human Error Assessment and Reduction Technique*) e a Técnica para a Previsão da Taxa de Erro Humano – THERP (já mencionada).

A THERP foi desenvolvida por SWAIN e GUTTMANN (1983) do *Sandia National Laboratories* para a *U. S. Nuclear Regulatory Commission* e se tornou uma técnica bastante utilizada para a avaliação quantitativa da HRA (GERTMAN e

BLACKMAN, 1993 *apud* MATURANA, 2010). Esta técnica combina um método de modelagem com uma coleção de dados empíricos para taxas básicas de falha humana (HEP) que são modificadas por uma série de fatores de forma (PSF). Além disso, emprega árvores de falhas e de eventos para, através do uso de portas lógicas (a serem vistas no item 2.5.5), representarem as relações de causa e consequência no sistema ou no processo que está sendo analisado. Desta forma, são determinadas as probabilidades de ocorrência dos cenários de acidentes (MATURANA, 2010; MARTINS, 2013).

A utilização das árvores de probabilidades se dá de maneira semelhante ao que se faz para a confiabilidade de sistemas, mas considerando, ao invés dos estados do sistema, do processo e dos equipamentos, as atividades humanas e as suas correspondentes probabilidades de erros. Isto permite ao engenheiro avaliar a degradação do sistema homem-máquina considerando os erros dos indivíduos quando os equipamentos estão funcionando, os processos e operações a serem realizados, além de outras características humanas que podem influenciar o funcionamento do sistema ou do processo (MATURANA, 2010).

As técnicas de 2ª Geração se diferenciam das de 1ª Geração pelo fato de centrarem mais em fatores cognitivos, na tentativa de superar as deficiências das técnicas de 1ª Geração. Destacam-se a Técnica para Análise do Erro Humano – ATHEANA (do inglês *A Technique for Human Error Analysis* – tradução livre do autor da dissertação), o Método de Análise do Erro e Confiabilidade Cognitiva – CREAM (do inglês *Cognitive Reliability and Error Analysis Method*) e a técnica de Informação, Decisão e Ação no Contexto da Equipe – IDAC (do inglês *Information, Decision and Action in Crew Context*).

A ATHEANA é uma técnica desenvolvida em 1996 para a *U. S. Nuclear Regulatory Commission* (NUREG/CR-6350, 1996), tendo em vista análise posterior de acidentes na área nuclear. Basicamente, é um método para reportar acidentes de forma estruturada e padronizada, de forma que seja facilmente entendida e transmitida. Seu objetivo principal é auxiliar no entendimento mais fácil do comportamento humano em plantas nucleares (MATURANA, 2010). Para tanto,

busca uma estrutura psicopedagógica robusta para aferir e identificar os Fatores de Desempenho – PSF, incluindo os fatores organizacionais e os de meio ambiente, que levam aos incidentes na planta nuclear. O resultado obtido pela aplicação desta técnica é a identificação de várias ações ou atividades humanas e sua associação a situações contextuais que podem levar ao sucesso ou ao fracasso (erro) na execução da tarefa. Assim, o modelo resultante pode sinalizar soluções a fim de incrementar a confiabilidade (NUREG/CR-6350, 1996). Não existem, entretanto, aspectos numéricos envolvidos na metodologia utilizada para construir o modelo (neste ponto, é radicalmente diferente dos modelos de 1ª geração).

Desta forma, esta técnica não é propícia para certos campos – tais como projetos comparativos e análises de sensibilidade. No entanto, não sendo preditiva, também pode ser útil como instrumento para se fazer diagnósticos.

Na ATHEANA, os diversos fatores envolvidos em um acidente, e suas possíveis consequências, são agrupados levando em consideração: influência da organização, os fatores de desempenho (PSF), as falhas mecânicas e físicas, ações inseguras, evento de erro humano e resultados inconcebíveis.

A Figura 13 mostra a estrutura multidisciplinar do HRA, sob uma descrição geral da ATHEANA.

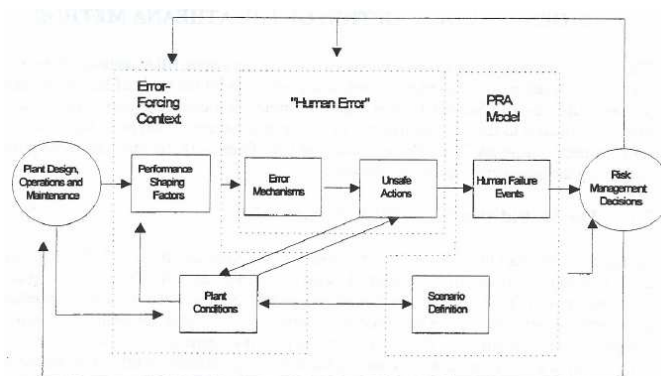


Figura 13 – Descrição Geral da ATHEANA – extraído da apresentação de MELO, 2007.

A IDAC propõe a decomposição das atividades humanas em três tipos genéricos, no que foi convencionado denominar-se de processo I-D-A – as

atividades podem ser de recebimento e processamento de informação (I), de solução de problemas e tomada de decisão (D), ou ainda de execução de ação no processo (A). Sendo proposto que estas atividades podem ser decompostas em atividades ainda mais simples, sendo cada uma classificada de acordo com o procedimento I-D-A (CHANG e MOSLEH, 2007 *apud* MATURANA, 2010).

No IDAC o foco é no operador humano, de forma individual, como mostra a Figura 14. A dinâmica da resposta humana é derivada de certas regras cognitivas e físicas e fatores psicológicos que envolvem o comportamento.

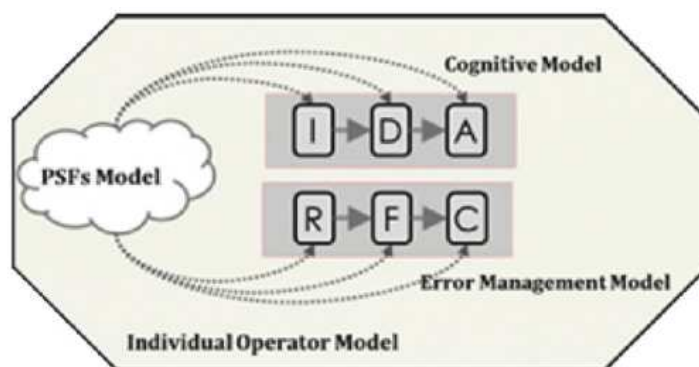


Figura 14 – Modelo Individual do Operador Humano no IDAC estendido (extraído de AZARKHIL e MOSLEH, 2013).

Para maiores informações sobre as mencionadas técnicas e os seus procedimentos, sugere-se consultar MATURANA (2010) e MARTINS (2013). Um fato importante na aplicação das técnicas de HRA é a semelhança entre o procedimento de quatro fases apresentado por SWAIN e GUTTMAN (1983) *apud* MARTINS (2013) para a realização da HRA pela THERP e o método apresentado por DROGUETT e MENESES (2007) no intuito de integrar Redes Bayesianas na HRA.

SWAIN e GUTTMAN (1983) *apud* MARTINS (2013) informam que a primeira fase da THERP se dá com a familiarização do sistema (ou do processo) que será analisado e o agrupamento do máximo de informações a seu respeito – a visita à planta industrial e o estudo do que já foi publicado sobre o assunto são atividades recomendadas para esta fase. A segunda se refere a análise qualitativa do elemento humano, incluindo a análise das tarefas, determinação do desempenho requerido em cada tarefa e o desenvolvimento de árvore de eventos. Nesta etapa, também

pode ser desenvolvida a árvore de falhas para representar o desencadeamento das consequências das falhas. Na terceira fase fazem-se as associações das HEPs às atividades. Além disso, devem ser considerados os efeitos dos eventuais fatores de revisão (quando o erro pode ser corrigido por outra pessoa ou pelo próprio executor). Como última etapa pode-se considerar a incorporação do fator humano no estudo da confiabilidade do sistema (ou do processo) como um todo, incluindo os equipamentos. Uma análise de sensibilidade para verificar o impacto das alterações nas atividades, segundo os autores, é recomendável. A Figura 15 mostra as fases da THERP.

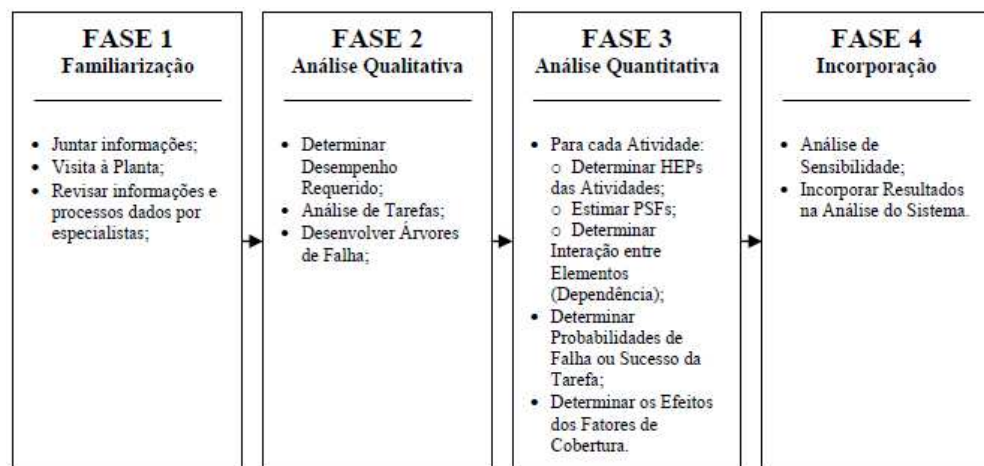


Figura 15 – Fases da THERP (extraído de MARTINS, 2013).

Em similar linha de raciocínio, DROGUETT e MENESES (2007) propõe a Figura 16 (onde, na figura, HTA é Análise da Hierarquia das Tarefas – do inglês *Hierarchical Task Analysis*; FD é Fator de Desempenho – PSF; PEH é Probabilidade do Erro Humano), com os seguintes passos para a integração de RB's em HRA:

Passo 1 – Familiarização: com o procedimento a ser modelado;

Passo 2 – Análise de Tarefas: para a determinação da sequência de atividades da tarefa;

Passo 3 – Construção da Rede Bayesiana Dinâmica: que representa a sequência de atividades da tarefa;

Passo 4 – Erros Humanos: identificação dos prováveis erros humanos nas atividades levantadas no passo 2;

Passo 5 – Fatores de Desempenho: identificação dos fatores de desempenho (PSF) relevantes com base no passo anterior;

Passo 6 – Construção das Redes Bayesianas dos fatores de desempenho: para cada atividade (ou operador responsável pela atividade);

Passo 7 – Integração das Redes Desenvolvidas: nos passos anteriores (Dinâmica e dos Fatores de Desempenho);

Passo 8 – Análise dos Resultados: partindo de evidências empíricas ou subjetivas.

EMBREY (2013) e FIGUEIRÔA et al. (2013) também mostram que a HTA pode ser utilizada para a operação de descarga de navios e para sistemas de geração de energia elétrica, respectivamente, mapeando a estrutura da árvore de falhas, na linha do que é exposto nesta dissertação, e BATALDEN (2012), reforça que a avaliação e o gerenciamento do risco é melhor compreendido com o uso da HTA.

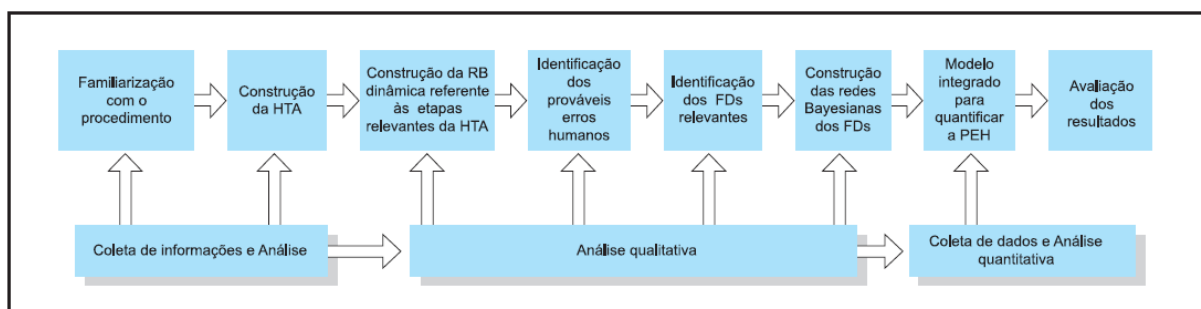


Figura 16 – Integração das Redes Bayesianas na HRA (extraído de DROGUETT e MENÊSES, 2007).

No item 3.2 se verá com mais detalhes a questão do desenvolvimento das Redes Bayesianas para modelagem do processo de descarga, levando em consideração as atividades humanas, que é o método utilizado neste trabalho.

2.4. Análise de Risco

No presente tópico, serão apresentadas, de forma resumida, as técnicas que avaliam qualitativa ou quantitativamente a probabilidade de ocorrência (ou frequência), sendo que, algumas destas técnicas, avaliam também a probabilidade de ocorrência de eventos indesejáveis e suas consequências, tendo como parâmetro para fins comparativos, um critério de aceitabilidade definido previamente. Serão abordadas, portanto, como se verá adiante, as etapas das técnicas Análise Preliminar de Perigos, Análise Probabilística de Risco, Árvore de Falhas e Árvore de Eventos, enfatizando, para cada técnica, a sua forma de implementação e os objetivos a serem alcançados com a sua aplicação.

2.4.1. Considerações iniciais

Como estabelecido anteriormente, a **análise de risco** é atividade voltada para o desenvolvimento de estimativas qualitativa e/ou quantitativa do risco baseadas em técnicas estruturadas, para promover a combinação da frequência e das consequências de um acidente.

A análise de risco com enfoque qualitativo tem por escopo aferir qualitativamente todos os possíveis riscos existentes na instalação considerando a probabilidade de tais eventos acontecerem e as consequências provenientes destes eventos. Em geral, é realizada previamente a uma análise de risco quantitativa (MARTINS, 2013).

A análise de risco com enfoque quantitativo tem por escopo aferir quantitativamente os riscos identificados durante a análise qualitativa contendo alta probabilidade de acontecer e/ou que provoquem grandes danos às instalações, às pessoas ou ao meio ambiente. Portanto, quantifica numericamente a probabilidade de ocorrência do evento e sua consequência (MARTINS, 2013).

A Tabela 11 mostra as técnicas existentes para a análise de risco e o escopo de cada uma delas.

A ideia de se analisar e avaliar o risco decorre da necessidade, em plantas industriais, é de se garantir um nível aceitável de risco resultante da operação do sistema ou do processo. Também fundamental é a proposição de medidas mitigadoras e de contingência, considerando: (i) a probabilidade de ocorrência dos eventos indesejáveis (estudos de confiabilidade); (ii) as possíveis consequências dos eventos indesejáveis (análise de consequências); (iii) uma adequada relação custo-benefício para as barreiras ou ações de controle.

As ações de controle podem ser divididas em ações de mitigação e ações de contingência. As ações de mitigação objetivam a redução da probabilidade de ocorrência do evento de perigo, enquanto que, as ações de contingência objetivam a redução do impacto consequente à ocorrência do evento de perigo. Em ambos os casos, as mencionadas ações fundamentam o processo decisório para a redução de risco e perdas em uma determinada planta industrial.

Tabela 11 – Métodos ou Técnicas utilizadas na avaliação quantitativa ou qualitativa do risco (elaborada a partir de ISO, 2008 e de ABS, 2000, 2003).

| Método ou Técnica | Escopo ou objeto |
|---|--|
| Safety/Review Audit | Identifica as condições dos equipamentos ou os procedimentos operacionais que podem resultar em uma causalidade ou resultar em danos materiais ou danos ao meio ambiente. |
| Checklist | Assegurar se as organizações estão cumprindo práticas padronizadas. |
| What-If | Identificar perigos, situações perigosas ou eventos acidentais específicos que podem resultar em consequências indesejáveis. |
| Hazard and Operability Study (HAZOP) | Identificar desvios do sistema e suas causas que podem conduzir a consequências indesejáveis e determinar ações a serem recomendadas para reduzir a frequência e/ou consequências dos desvios. |
| Preliminary Hazard Analysis (PHA) | Identifica e prioriza perigos associados à operação de um sistema que conduzem a consequências indesejáveis. Determina ações a serem recomendadas para reduzir a frequência e/ou as consequências dos perigos prioritários. Esta é uma técnica com abordagem indutiva. |
| Probabilistic Risk Analysis (PRA) | Procedimento sistemático para quantificar o risco. Foi desenvolvido pela área nuclear para a análise e a avaliação do risco de sistemas complexos e de como estes são operados considerando o elemento humano, de software e de hardware individualmente e como estes interagem entre si. Este processo pode ser usando uma combinação de métodos de avaliação do risco. |
| Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) | Identifica os modos de falha dos componentes do equipamento e os impactos da falha sobre os componentes relacionados com o sistema. Esta é uma técnica de abordagem indutiva. |
| Fault Tree Analysis (FTA) | Identifica as combinações de falhas dos equipamentos e erros humanos que podem resultar em um acidente. Esta é uma técnica com abordagem dedutiva. |
| Event Tree Analysis (ETA) | Identifica várias sequências de eventos, ambos de falhas e de sucessos que podem conduzir a um acidente. Esta é uma técnica com abordagem indutiva. |

A IMO (2002) estabeleceu para a indústria marítima um guia com etapas, em um processo interativo, para a análise de riscos, a Análise Formal de Segurança – FSA (do inglês *Formal Safety Assessment*), como dito anteriormente. Trata-se, portanto, de um guia (não é uma metodologia) sistemático e estruturado para a análise de risco e avaliação de custo-benefício que tem por objetivo melhorar a segurança nas atividades marítimas, incluindo os aspectos relativos à proteção à vida, à saúde, ao meio ambiente e ao patrimônio (MARTINS, 2013).

Os países participantes da IMO podem propor algum projeto à Organização, mas precisa de um estudo. O FSA sistematiza esse estudo. É uma forma de encaminhamento estruturado. Atualmente é entendido como um guia para a realização da análise de risco do setor naval e *offshore*. As probabilidades de ocorrência são baseadas no levantamento histórico exaustivo de acidentes envolvendo os eventos de risco em análise. Na análise de consequências aplicáveis aos eventos de perigo utilizam-se modelos disponíveis na literatura. Por exemplo, a proposta de casco duplo para os navios petroleiros foi efetivada a partir do FSA.

Para a utilização do FSA, é preciso a definição formal do problema, do caso a ser avaliado, com a definição da fronteira do problema (o que está dentro e o que está fora da análise), bem como a definição das condições de contorno e das restrições a serem consideradas na análise. O FSA pode ser usado para a análise quantitativa ou/e qualitativa do risco. A análise e avaliação do risco é realizada de forma sistemática, conforme os passos a seguir (ver Tabela 10, p. 46):

- **Passo 1:** Identificação dos perigos, priorizando os mais relevantes;
- **Passo 2:** Análise de Risco;
- **Passo 3:** Opções para o Controle do Risco, através de ações;
- **Passo 4:** Avaliação da relação Custo – Benefício: as ações de mitigação e de contingência ajudarão a reduzir o risco? A que preço?
- **Passo 5:** Recomendações para a Tomada de Decisão.

A Figura 17 ilustra o processo proposto para a FSA (IMO, 2002 *apud* MARTINS, 2013), com base nos mencionados passos:

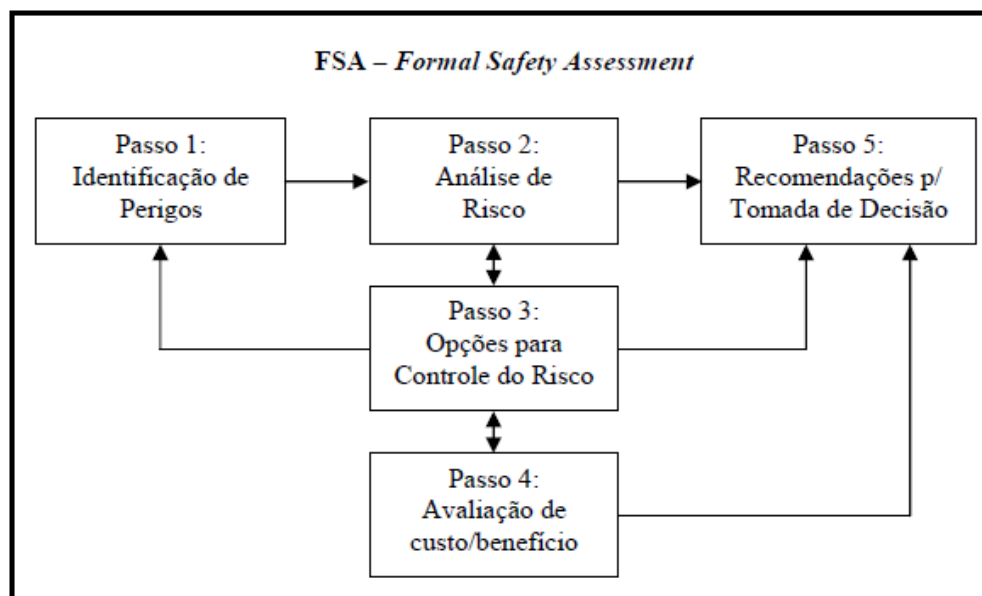


Figura 17 – Passos Propostos pela FSA (extraído de MARTINS, 2013).

Dentre as recomendações da IMO para o uso da FSA estão: **(i)** o detalhamento do sistema ou do processo em estudo deve ser adequado ao que se deseja como análise; **(ii)** a profundidade ou extensão da aplicação da FSA deve ser determinado de acordo com a natureza e a importância do problema; **(iii)** toda a análise deve sempre se iniciar com uma aplicação simplificada ou grosseira do processo definido para que se possa identificar e considerar todos os aspectos do problema em questão; **(iv)** sugere-se uma abordagem hierárquica, iniciando o estudo com o uso de ferramenta mais simples, em uma abordagem qualitativa, até a quantificação do risco, se for o caso, com ferramentas mais complexas (conforme foi feito neste trabalho); **(v)** quando não houver disponibilidade de dados ou informações necessárias (maioria dos casos), sugere-se o emprego de julgamento de especialistas, modelos físicos, simulações ou modelos analíticos para obtenção da informação desejada; **(vi)** a caracterização dos perigos e riscos pode ser tanto qualitativa como quantitativa, tanto descritiva quanto matemática, desde que se forma consistente com os dados disponíveis; **(vii)** as incertezas e limitações dos dados e informações levantados devem ser avaliadas para se determinar a relevância das mesmas nas análises e nos resultados; **(viii)** O elemento ou fator humano deve ser considerado na análise, associando-os diretamente com a ocorrência de acidentes ou com as causas ou influências subjacentes.

Neste trabalho, foram utilizadas diversas técnicas para a análise de risco do processo de descarga de granéis líquidos inflamáveis do navio-tanque para o terminal portuário especializado, antes de se empregar as redes bayesianas, no intuito de comparar as técnicas para o caso em estudo e concluir qual a mais adequada para o caso. Na sequência, serão vistas as técnicas utilizadas com o intuito de embasar o que é apresentado nesta dissertação, à luz dos conceitos e definições já expostos. Antes, porém, de forma sucinta, será apresentada os conceitos que envolvem o procedimento da PRA.

2.4.2. Análise Probabilística do Risco – PRA (*Probabilistic Risk Analysis*)

Uma análise probabilística de risco é uma atividade voltada para o desenvolvimento de estimativas quantitativas do risco, baseadas em técnicas estruturadas que têm um componente qualitativo, para promover o entendimento da combinação das frequências e das consequências de um acidente. É um caminho para se levar ao objetivo pretendido de forma racional e sistemática. Esta combinação é composta por diversas etapas, dependendo da natureza da análise, especialmente em sistemas complexos, como é o caso sob estudo e, para atender à necessidade de quantificar um potencial modo de falha, a análise deve responder basicamente às seguintes perguntas (SMITH e KELLY, 2011; MARTINS, 2013):

- ▶ Quais os possíveis eventos acidentais que podem resultar na exposição aos perigos?
- ▶ Qual a probabilidade de ocorrência destes eventos acidentais?
- ▶ Quais as prováveis consequências caso estes eventos ocorram?

STAMATELATOS (2002) *apud* RODRIGUEZ (2012) estabelece que estas três perguntas são as que dão origem a três componentes fundamentais na avaliação do risco: Modelagem dos Cenários do Risco, Avaliação da Probabilidade de Ocorrência dos Cenários de Risco e Avaliação das Consequências dos Cenários de Risco. Na intenção de dar resposta a estas perguntas, é apresentada a Figura 18, que corresponde ao escopo geral da análise probabilística do risco, onde são

observadas etapas que permitirão dar respostas às perguntas acima. A partir destas respostas, o engenheiro-analista poderá tomar decisões sobre o processo ou sobre as atividades que minimizem o risco, seja pela mitigação das causas de uma falha ou pelo contingenciamento das consequências.

Segundo RODRIGUEZ (2012), na abordagem tradicional, o processo de decisão, embora esteja incluso indiretamente em algumas áreas como na nuclear, não aparece de forma explícita nos componentes da PRA e normalmente não se utiliza a Estatística para realizar o processo de tomada de decisão. Mas a autora, na linha do exposto, propõe a aplicação da Teoria de Probabilidades como a quarta componente da PRA, denominando-a de Análise de Decisão. Não é do escopo deste trabalho percorrer todo o fluxograma mostrado na Figura 18, mas tão-somente aferir as probabilidades associadas aos eventos de perigo com o uso de especialistas.

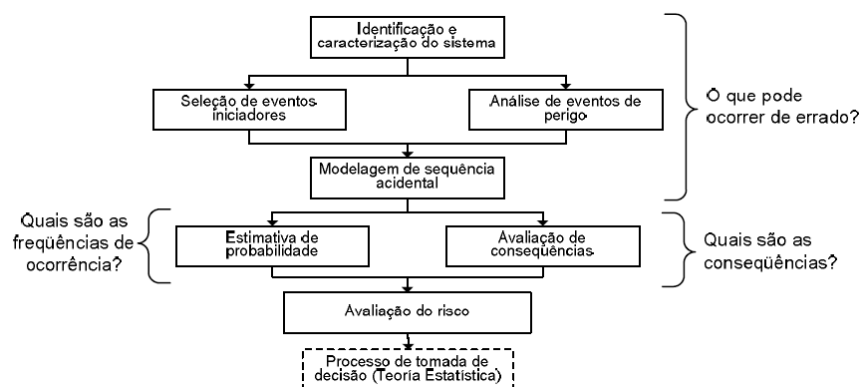


Figura 18 – Fluxograma da Avaliação Probabilística de Risco.

MARTINS (2013) informa que na PRA deve-se utilizar técnicas específicas para (i) identificação dos perigos e das possíveis sequências acidentais; (ii) avaliação das suas probabilidades de ocorrência; (iii) avaliação das respectivas consequências em termos individuais, sociais, de meio ambiente e aspectos econômicos e/ou patrimoniais.

Os resultados, segundo MARTINS (2013), estão associados à obtenção do risco total correlacionado à operação da planta industrial, seus sistemas ou processos, sob análise, bem como com a identificação dos elementos do sistema

que contribuem mais significativamente na composição deste risco e das incertezas associadas à avaliação realizada, permitindo: (i) identificar os pontos falhos ou fracos do projeto do sistema e do procedimento operacional definido; (ii) a proposição de alterações no projeto ou no procedimento operacional; (iii) a proposição de ações mitigatórias ou de contingência.

E, dentre as dificuldades constantemente apontadas na aplicação da PRA, estão:

- Estimativa da probabilidade de ocorrência de eventos raros;
- Dificuldade de avaliação exata do efeito de possíveis causas comuns de falha, principalmente quando associadas aos eventos extremos;
- Modelagem do comportamento humano e o desempenho da interação homem-máquina.

Os pontos fortes, dentre outros, apontados por MARTINS (2013), são: (i) o conhecimento aprofundado e detalhado da composição, configuração e operação do sistema analisado, inclusive da interação homem-máquina; (ii) a possibilidade de explicitar e estruturar as incertezas; (iii) a possibilidade de incorporação da experiência da operação do sistema analisado para a atualização do risco estimado; (iv) e a viabilização de uma comparação direta do risco total associado a dois ou mais projetos alternativos ou concorrentes.

Segundo SMITH e KELLY (2011) e RODRIGUEZ (2012), a diferença principal entre a análise qualitativa de risco e a avaliação probabilística de risco está em que esta última utiliza princípios estatísticos e teorias da probabilidade para quantificar a chance de ocorrência de cada um dos eventos de perigo que compõe o cenário de risco. Portanto, sua análise pode chegar até a estudar sistemas com eventos raros e/ou que incluam a opinião de especialistas. A autora entende que, embora as ferramentas utilizadas no primeiro tipo de análise sejam qualitativas, estas são estruturadas e sistemáticas e provêm de informações diretas que serão informações de entrada para as técnicas usadas no cálculo, gerenciamento e comunicação do

risco. No Capítulo 3 será explicitada a aplicação da PRA ao caso sob estudo, via Redes Bayesianas.

Na sequência, serão apresentadas as técnicas utilizadas neste trabalho para a identificação, caracterização e definição da PRA, expondo suas características, bem como os métodos e os procedimentos para a execução das técnicas e a avaliação de resultados.

2.4.3. Análise Preliminar de Perigos – PHA (*Preliminary Hazard Analysis*)

A Análise Preliminar de Perigos – PHA é uma técnica indutiva e estruturada que permite avaliar qualitativamente os potenciais perigos de uma planta industrial ou um determinado sistema ou processo, suas causas e consequências, bem como o nível de risco e as ações de mitigação e de contingência em caso de ocorrência de alguma falha. A técnica tem sua origem no programa de segurança militar do Departamento de Defesa dos EUA e que foi formalmente instituída pela norma MIL-STD-882 (ERICSON, 2005).

Para SMITH (2001), esta é uma técnica basicamente qualitativa que pode ser aplicada tanto na fase do projeto quanto na fase da operação de um sistema. Esta técnica não requer a utilização de muitos documentos detalhados, fato que justifica a sua frequente aplicação em estudos de análise de risco.

A técnica consiste em listar e escolher eventos de perigo e definir as consequências de sua ocorrência, assim como determinar suas causas. Para realizar tal objetivo, a técnica utiliza como entrada a informação sobre a identificação e caracterização do sistema ou do processo. Para a realização da análise, o processo em estudo deve ser dividido em etapas, segundo o desenvolvimento da operação ou dos objetivos definidos na etapa para identificar e caracterizar a planta industrial ou o sistema ou o processo (RODRIGUEZ, 2012 e NATACCI *et al.*, 2010). A informação decorrente da análise deve ser registrada de forma sistemática e, portanto, é proposta a planilha apresentada na Figura 19.

| FASE | EVENTO DE PERIGO | DESCRIÇÃO DE EVENTO | TIPO DE NAVIO | CAUSA | | | CONSEQUÊNCIA | | | | | | CLASSIFICAÇÃO DO RISCO | | | | |
|------|------------------|---------------------|---------------|--------------------|------------|-------------------|--------------|---------------------|----------------------|--------------|-------------|-----------|------------------------|-------------|-----------|---------------------|--|
| | | | | DESCRIÇÃO DA CAUSA | FREQUÊNCIA | AÇÃO DE MITIGAÇÃO | LOCAL | OPERAÇÃO (Descarga) | AÇÃO DE CONTINGÊNCIA | SEG. PESSOAL | EQUIPAMENTO | AMBIENTAL | SEG. PESSOAL | EQUIPAMENTO | AMBIENTAL | OPERAÇÃO (Descarga) | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 19 – Planilha de PHA (a ser aplicada ao caso, conforme o APÊNDICE B).

Na Figura 19 a primeira coluna designa a fase específica da operação que se está analisando (a fase do processo de descarga). Na sequência, tal como procede SALDANHA *et al.* (2013), é definida uma ou mais condições físicas com potencial para causar danos às pessoas, ao patrimônio, ao meio ambiente ou uma combinação destes, seguida da explicação de como se manifesta o evento de perigo e da definição de algumas características especiais deste.

Na análise das causas no contexto desta dissertação, identifica-se as razões da ocorrência do evento de perigo, sendo esta coluna subdividida em três partes, pela descrição, frequência e ação de mitigação para o evento indesejável. A descrição da causa corresponde a uma ou mais condições físicas que originam o evento de perigo. A frequência apresenta de forma qualitativa qual é a possibilidade de ocorrência da falha, sendo definidas cinco categorias: Extremamente Remota (ER), Remota (RE), Pouco Provável (PP), Provável (PR) e Frequente (FR), definidas conforme a Tabela 12 (correlacionada à Tabela 8, IMO, 2002). Então, define-se a ação de mitigação, que descreve o conjunto de atividades que podem ser efetuadas para manter a instalação industrial (e, por decorrência lógica, os sistemas associados) cumprindo as suas funções e reduzir a possibilidade da ocorrência do evento de perigo.

Tabela 12 – Classificação da frequência de ocorrência de eventos de perigo (adaptado de CORREA *et al.*, 2006 *apud* RODRIGUEZ, 2012 – ver APÊNDICE B).

| Categoria | Abreviatura | Frequência | Características |
|----------------------------|--------------------|---------------------------|--|
| Extremamente Remota | ER | Mais de 1 em 100.000 anos | Sem referência histórica |
| Remota | RE | Mais de 1 em 1000 anos | Não é esperado ocorrer durante a vida útil da instalação, apesar de haver referências históricas |
| Pouco Provável | PP | Mais de 1 em 30 anos | Possível de ocorrer durante a vida útil |
| Provável | PR | Mais de 1 em 10 anos | Acontece mais de uma vez durante a vida útil |
| Frequente | FR | Mais de 1 por ano | Acontece muitas vezes durante a vida útil |

A análise das consequências relacionada à Tabela 13, define os efeitos que teria o evento de perigo sobre a instalação industrial (ou os seus sistemas), sendo definido como efeito, uma condição de operação fora da especificação inicial da missão. Sob este contexto, a consequência é inicialmente avaliada em duas categorias, local e na operação. A primeira explica como seria afetado o equipamento no caso de acontecer o evento de perigo e a segunda refere-se ao grau de afetação da operação do processo de descarga sob estudo, no caso de acontecer o evento de perigo.

Em sistemas de segurança críticos é recomendável que as consequências estejam definidas para o maior número possível de bens ou ativos. Assim, a tabela apresenta a definição das consequências definidas para três bens ou ativos: segurança pessoal, instalação e meio ambiente (CORREA *et al.*, 2006 *apud* RODRIGUEZ, 2012 – correlacionada à Tabela 7).

Tabela 13 – Classificação de consequências (extraído de CORREA *et al.*, 2006 *apud* RODRIGUEZ, 2012 – ver APÊNDICE B).

| | | Segurança Pessoal (Perigo para a saúde humana) | Instalação | Ambiental (Danos à Fauna e à Flora) |
|------------|-----------------|---|--|--|
| I | Muito reduzidas | Nenhum dano visível ou máximo de primeiros socorros | Sem danos ou danos insignificantes a equipamentos | Invisíveis ou mínimos |
| II | Reduzidas | Ferimentos leves em empregados e sem lesões extramuros | Danos leves controláveis ou com reparação de baixo custo | Poluição desprezível, danos considerados toleráveis entre nível mínimo e médio |
| III | Médias | Ferimentos graves ou múltiplos em empregados e ferimentos leves em pessoas extramuros | Danos severos | Poluição localizada, curto período, danos considerados toleráveis de nível médio |
| IV | Graves | Lesões graves ou fatalidade em empregados e em pessoas extramuros | Danos irreparáveis, com reparação lenta ou impossível | Poluição de grande área por longo período. Níveis acima dos máximos toleráveis |

Observe que, em uma ação de contingência é preciso listar as recomendações de ações de emergência visando evitar ou reduzir a propagação da consequência ou a minimização da gravidade das mesmas. Então, é definida uma escala numérica, corroborando com a FSA (IMO, 2002), que define a gravidade dos efeitos que teria o evento de perigo. O evento indesejável ou de perigo deve estar previamente definido, considerando os bens ou ativos considerados fundamentais para a planta industrial. Desta forma a mencionada escala é cruzada com a escala das probabilidades e é estabelecida a categoria de risco em que o evento de perigo se encontra. No contexto do trabalho, esta forma de categorizar o risco foi realizada, **em um primeiro momento da análise**, usando a matriz de risco como mostra a Tabela 48, Apêndice B, p. 257.

Deste modo, na aplicação da PHA são levantadas as causas que podem induzir a ocorrência de cada um dos eventos indesejáveis e as suas respectivas consequências, sendo, então, elaborada uma avaliação qualitativa da frequência de

ocorrência do cenário de acidentes, da severidade das consequências e do risco associado. Portanto, os resultados obtidos são qualitativos, não fornecendo estimativas numéricas para o risco (AGUIAR, 2008 *apud* RODRIGUEZ, 2012). Esta técnica, segundo RODRIGUEZ (2012) é fundamental para realização de análises iniciais, com foco na identificação de eventos de perigo, em diversos setores da indústria. MARTINS e GOYANO (2007) apresenta os resultados da aplicação da PHA para a avaliação do sistema de combate a incêndios de navios tanqueiros, demonstrando sua aplicabilidade no setor naval e offshore.

Vê-se, pois, que os resultados da PHA servem para a priorização e a seleção de eventos para uma análise quantitativa posterior.

O trabalho ora exposto, se vale da PHA, combinando a técnica com a denominada “composição probabilística” a fim de aferir os riscos associados ao processo de descarga dos produtos líquidos inflamáveis do navio-tanque para o TGL (MARTINS e MORAES, 2013a e 2013b), não só qualificando-os, como será visto no item 4.2, p.148.

2.4.4. Análise da Árvore de Falhas – FTA (*Fault Tree Analysis*)

A FTA é amplamente usada no campo aeroespacial, eletrônico, e nuclear. Esta técnica foi originalmente desenvolvida em 1961 por H. A. Watson nos laboratórios da empresa de telefonia Norte Americana *Bell Telephone* para avaliar o sistema de controle de lançamento dos mísseis *Minuteman*, a fim de evitar um lançamento não autorizado (acidental) (NIST, 2008 *apud* SILVA, 2013 e NUREG-0492, 1981). Para RODRIGUEZ (2012), MATUZAS e CONTINI (2013) trata-se de um método gráfico indutivo que avalia a probabilidade de falhas de sistemas, visando determinar as causas raízes e a probabilidade de ocorrência dos eventos de perigo.

De acordo com KECECIOGLU (1991) *apud* SILVA (2013) e SUN (2012), a análise de árvore de falhas é uma técnica de análise de confiabilidade e segurança aplicada a sistemas, e visa determinar as causas de um evento indesejado chamado de “evento topo”. O evento topo pode ser associado com o comportamento anormal

da planta industrial (e os seus sistemas), causado por uma falha. A árvore de falhas utiliza uma estrutura lógica em forma de ramificações com símbolos de álgebra booleana que precisam ser desenvolvidos para obter os *cut-sets* mínimos (cortes mínimos) que permitam avaliar a probabilidade de falha do evento topo. Esta ferramenta está baseada em uma análise dedutiva, onde o sucesso da aplicação dependerá muito do conhecimento do sistema por parte do engenheiro-analista. Cada nível inferior na árvore lista os eventos básicos que são necessários e suficientes para causar um problema no nível superior.

Segundo HIDALGO (2010) *apud* SILVA (2013) e O' CONNOR (1985) *apud* SILVA (2013), um corte de uma árvore de falhas é um evento ou conjunto de eventos básicos que causam a ocorrência do evento topo. Desta forma se pode definir que um corte é a combinação de eventos básicos que ao ocorrerem levam necessariamente à falha do sistema. Um corte é definido como corte mínimo quando é constituído pelo menor número possível de eventos básicos, cuja ocorrência é necessária e suficiente para causar a ocorrência do evento topo, não podendo ser reduzido sem perder a sua condição de corte. Para identificar os cortes mínimos pode-se aplicar as principais leis de álgebra booleana. Neste sentido, WANG *et al.* (2005) informa que o diagrama da FTA é considerado uma estrutura hierarquizada usada para abordagens onde as evidências estão definidas e os pesos de todos os eventos são distribuídos de acordo com uma regra booleana especificada.

A análise da árvore de falhas é, sobretudo, um meio para analisar as causas de perigo e não para identificar os perigos. O evento topo, ou evento indesejável, deve ser identificado por outras técnicas, já que a elaboração da árvore de falha dependerá da escolha do mesmo (LEVESON, 1995 *apud* SILVA, 2013). O referido autor afirma que a análise da árvore de falha é composta dos passos listados a seguir:

a. Escopo da análise:

Esta é a etapa mais difícil na elaboração da árvore de falha, requer a determinação do evento topo, as condições iniciais, eventos existentes e eventos inadmissíveis, assim como a determinação de todos os elementos que vão estar

compreendidos dentro da análise. A seleção do evento topo é crucial, pois a avaliação dos eventos de perigo no sistema não será compreendida a menos que dentro da árvore de falhas estejam considerados todos os eventos significativos sob o ponto de vista da degradação do sistema ou da segurança da operação do mesmo.

b. Construção da árvore de falha:

Uma vez que o sistema e o evento topo foram definidos, o próximo passo é a construção da árvore de falha. O engenheiro-analista agora escreve o evento topo e detalha os eventos que causam esse evento não desejado, para depois determinar qual é a relação lógica entre eles, usando os símbolos lógicos para descrever essa relação.

Nesta linha de raciocínio, informa RODRIGUEZ (2012) que, na avaliação quantitativa da FTA, as falhas do sistema (ou do processo) são gradualmente divididas em níveis hierárquicos até alcançar um nível de detalhe que o sistema ou o processo em estudo requer, do mesmo modo em que são estudadas as relações lógicas dos diferentes subsistemas e componentes para determinar, por meio de análise probabilística, a chance de um evento indesejado acontecer. Frequentemente, diz a autora (SOUZA, 2003 *apud* RODRIGUES, 2012), a maior dificuldade para a elaboração da árvore de falhas é a seleção do evento topo a ser estudado. Assim, para a montagem da árvore de falhas, há uma lógica a ser levada em consideração, pois uma consequência necessariamente tem um número finito de causas as quais ocasionam a parada do sistema ou operação do processo; estas causas devem ser pesquisadas e determinadas com precisão e normalmente relacionadas a falhas em algum dos componentes do sistema. O objetivo da construção de qualquer diagrama do tipo árvore é elaborar uma estrutura lógica para definir sua “raiz” ou origem do problema (SOUZA, 2003 *apud* RODRIGUEZ, 2012).

Corroborando com o que foi dito, KUMAMOTO e HENLEY (1996), informam que na elaboração da árvore de falhas, há uma lógica a ser observada, pois um sintoma necessariamente tem um número finito e conhecido de causas. Usando um processo dedutivo, as causas dos eventos indesejados são descobertas e são

estabelecidos os eventos funcionais que podem causar uma falha indesejada, assim como as relações lógicas de eventos básicos.

O procedimento é repetido até que todos os eventos sejam completamente desenvolvidos e os eventos básicos encontrados, visando, assim, ilustrar graficamente as diferentes combinações e sequências dos eventos que conduzem ao evento topo.

Quando as relações entre os eventos de uma árvore são independentes, aplica-se a Álgebra de Boole para avaliar a probabilidade do evento topo, conforme as regras mostradas na Figura 20. Quando não são independentes, deve-se levar em consideração as interdependências, situação que se traduz na limitação da FTA, pois isso não pode ser mostrado na árvore.

| Regra Algébrica | Representação teórica | Álgebra de Boole |
|---|--|--|
| Lei comutativa | $A \cap B = B \cap A$ $A \cup B = B \cup A$ | $A \bullet B = B \bullet A$ $A + B = B + A$ |
| Lei associativa | $A \cap (B \cap C) = (A \cap B) \cap C$ $A \cup (B \cup C) = (A \cup B) \cup C$ | $A \bullet (B \bullet C) = (A \bullet B) \bullet C$ $A + (B + C) = (A + B) + C$ |
| Lei Distributiva | $A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$ $A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$ | $A \bullet (B + C) = (A \bullet B) + (A \bullet C)$ $A + (B \bullet C) = (A + B) \bullet (A + C)$ |
| Lei da Idempotência | $A \cap A = A$ $A \cup A = A$ | $A \bullet A = A$ $A + A = A$ |
| Lei da absorção | $A \cap (A \cup B) = A$ $A \cup (A \cap B) = A$ | $A \bullet (A + B) = A$ $A + (A \bullet B) = A$ |
| Complemento $A^c = \bar{A} = \text{complementar}$ | $A \cap A^c = \phi$ $A \cup A^c = \Omega$ | $A \bullet A^c = 0$ $A + A^c = 1$ |
| Teorema de Morgan | $(A \cap B)^c = A^c \cup B^c$ $(A \cup B)^c = A^c \cap B^c$ | $(A \bullet B)^c = A^c + B^c$ $(A + B)^c = A^c \bullet B^c$ |

Figura 20 – Regras da Álgebra de Boole (adaptado de MODARRES, 2010).

Ressalta-se que a estrutura padronizada potencializa o componente visual desta técnica (FTA). Os eventos são representados por símbolos e portões lógicos, conforme a Figura 21 e a Figura 22, respectivamente.







| Nome do símbolo ^α | Símbolo ^α | Significado ^α |
|--|---|---|
| Evento Básico ^α |  | Representa a falha do equipamento. Representa o nível mais baixo da árvore |
| Evento resultante ^α |  | É o resultado da combinação dos eventos de falha. São saídas de portas lógicas |
| Evento não desenvolvido ^α |  | Evento que não foi desenvolvido por falta de interesse ou informação. Omitidos |
| Sequenciador ^α |  | Parâmetro associado a um evento que deve ser montado |
| Evento condicional ^α |  | Evento usado em janelas de inibição |
| Evento de transferência para dentro e para fora ^α |  | Evento que serve para indicar a repetição de uma parte da árvore. É uma conexão com outro símbolo ou evento |

Figura 21 – Símbolos dos eventos da FTA (adaptado de SILVA, 2013).







| Símbolo | Nome | Descrição |
|---|----------------------|--|
|  | E | Evento de saída só ocorre se todos os eventos de entrada ocorrerem |
|  | OU | Evento de saída ocorre se pelo menos um dos eventos de entrada ocorrer |
|  | INIBIÇÃO CONDICIONAL | Evento de entrada só conduz ao evento de saída se o condicional ocorrer |
|  | E DE PRIORIDADE | Evento de saída ocorre se os eventos de entrada ocorrerem em na ordem de esquerda para direita |
|  | OU EXCLUSIVO | Evento de saída ocorre se só um evento de entrada ocorrer |
|  | M DE N | Evento de saída ocorre se M de N dos eventos de entrada ocorrerem |

Figura 22 – Representação dos conectores (portões) lógicos em uma árvore de falha (adaptado de RODRIGUEZ, 2012).

MARTINS (2013) trata a técnica sob dois enfoques: a construção ou da árvore de falhas (*fault tree*) ou da árvore de sucessos (*sucess tree*), denominando o procedimento dedutivo (*top-down* = do efeito para a causa) como árvores lógicas, as quais determinam as possíveis causas de um evento de interesse, no caso o evento topo.

Na construção da árvore de falhas, aparecem os chamados *cut-sets* (C_i , onde $i = 1, 2, \dots, n$), já definido anteriormente sendo $R_s(t)$ a confiabilidade do sistema sob análise e t o tempo da missão.

Decorre desta conceituação que:

$$P(T) = P(C_1 \cup C_2 \cup \dots \cup C_n) \quad (2.31)$$

$$R_s(t) \geq 1 - [P(C_1) + P(C_2) + \dots + P(C_n)] \quad (2.32)$$

Serão *cut-sets* de primeira ordem se só houver um evento envolvido. Serão *cut-sets* de segunda ordem se houver dois eventos envolvidos simultaneamente, e assim por diante.

Já na construção da árvore de sucessos, aparecem os chamados *path-sets* (P_i , onde $i = 1, 2, \dots, n$), que são conjuntos de eventos que, caso ocorram simultaneamente, provocarão a ocorrência do evento topo da árvore de sucessos, sendo $R_s(t)$ a confiabilidade do sistema sob análise e t o tempo da missão. Sob este enfoque, um *path-set* mínimo é um conjunto formado pela menor quantidade possível de eventos de sucesso que, caso ocorram simultaneamente, provocarão a ocorrência do evento topo da árvore de sucessos.

Decorre desta conceituação que:

$$P(\bar{T}) = P(P_1 \cup P_2 \cup \dots \cup P_n) \quad (2.33)$$

$$R_s(t) \leq 1 - [1 - P(P_1)] \cdot [1 - P(P_2)] \cdot \dots \cdot [1 - P(P_n)] \quad (2.34)$$

Serão *path-sets* de primeira ordem se só houver um evento envolvido. Serão *path-sets* de segunda ordem se houver dois eventos envolvidos simultaneamente, e assim por diante.

Para o processo de avaliação, em cada portão lógico usado, todas as entradas devem ser suficientes e necessárias para produzir a saída do evento. A análise quantitativa procura atribuir aos eventos de nível mais básico, probabilidades de

falha a partir de: (i) dados técnicos da literatura; (ii) análise dos históricos de falha; (iii) manuais do fabricante, ou (iv) empresas que utilizam sistemas similares.

A partir da aplicação das teorias de probabilidade, considerando as indicações dos portões lógicos, pode-se calcular a probabilidade de ocorrência do evento topo (principal). Na Figura 23 visualiza-se um exemplo da elaboração da árvore de falhas onde o evento topo é a perda do sistema de propulsão de um navio.

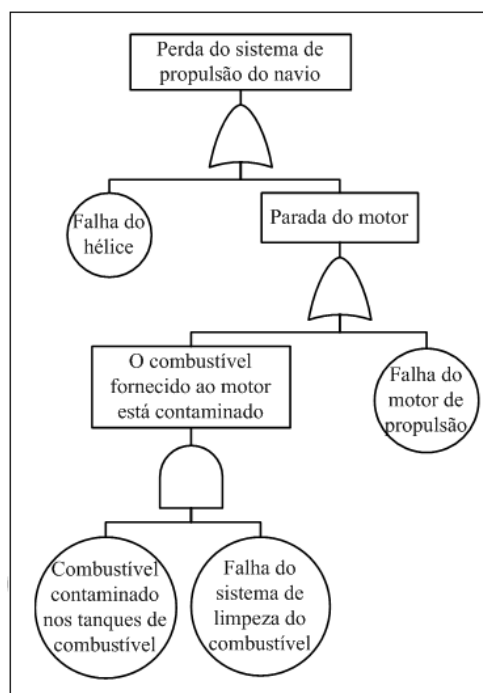


Figura 23 – Árvore de falhas da perda do sistema de propulsão de um navio (ABS, 2000 e 2003).

Então, a partir da definição dos eventos, constrói-se a árvore, e a análise qualitativa pode ser iniciada. O propósito é reduzir a árvore de falhas para levá-la a sua forma equivalente, mostrando as combinações específicas (intersecções) dos eventos básicos que são suficientes para causar a ocorrência do evento topo. Em essência, os eventos entre o evento topo e os eventos básicos são removidos e só as relações entre o evento topo e os eventos básicos são descritas. O objetivo da análise é encontrar todos os *cut-sets*, para depois classificá-los em cortes mínimos de primeira, segunda, *n*-ésima ordem. A partir dos *cut-sets* mínimo é possível identificar os pontos fracos do sistema sob o ponto de vista do risco associado à sua operação, (LEVESON, 1995 *apud* SILVA, 2013). Os *cut-sets* de primeira ordem

causam a ocorrência do evento topo, não dependendo de nenhum outro evento básico.

A árvore de falhas pode ser convertida a partir daquela que se pode ver na Figura 23, para a árvore na forma reduzida, conforme a Figura 24, visando identificar os cortes mínimos.

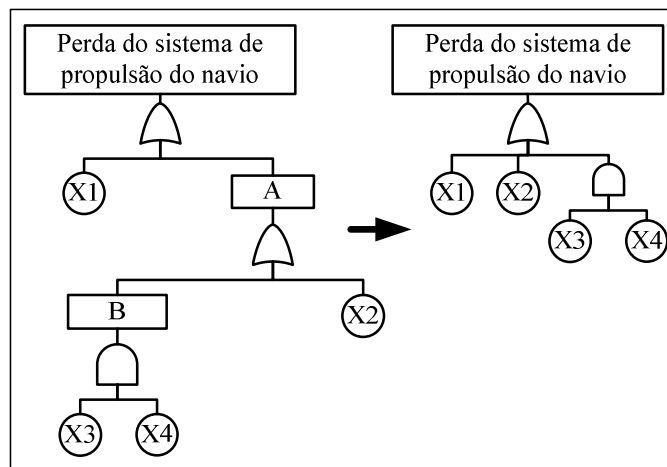


Figura 24 – Árvore de falhas equivalente com os respectivos cortes mínimos (extraído de SILVA, 2013).

Na Figura 24 observa-se dois cortes mínimos de um evento básico X1 e X2, também chamados de cortes mínimos de primeira ordem, como mencionado anteriormente, que fazem com que apenas a ocorrência destes eventos básicos cause a ocorrência do evento topo. Os cortes mínimos de dois eventos básicos são conhecidos como cortes mínimos de segunda ordem (X3X4), como já mencionado. Para que estes eventos de segunda ordem causem a ocorrência do evento topo, eles precisam ocorrer simultaneamente.

Portanto, à luz do que foi exposto, a probabilidade de cada corte é determinada combinando a probabilidade de todos os eventos básicos que formam o corte (LEVESON, 1995 *apud* SILVA, 2013; ERICSON, 2005)

A complexidade da árvore de falhas cresce com a complexidade do sistema ou do processo ou do equipamento a ser analisado, bem como com o nível de detalhamento desejado. Diversas vezes, ao se analisar o processo ou o sistema,

será relevante a utilização de programas de computador no desenvolvimento da FTA. É importante considerar que árvores de falhas que abordam o mesmo evento topo podem ser diferentes entre si. Sob esta ótica, pode ser útil combinar diversas árvores, consolidando o conhecimento sistematizado por diferentes pessoas ou equipes (STAMATELATOS, 2002 *apud* RODRIGUEZ, 2012).

Segundo RODRIGUEZ (2012), alguns autores têm aplicado a FTA para conhecer as relações lógicas e diretas entre componentes e subsistemas a fim de obter o valor da probabilidade do evento indesejado sob a hipótese de independência das causas raízes. No entanto, conforme informa a autora, em muitos casos, é inevitável a imprecisão da informação ou existência de relações de dependência entre os sistemas, e, portanto, tem sido necessário realizar outras considerações e combinar a FTA com métodos que incluem, por exemplo, Análise Bayesiana.

MARTINS (2013) e WANG *et al.* (2005) corroboram com esta observação quando informa que:

- Em uma FTA todos os eventos básicos são considerados independentes, sendo isso uma limitação, pois que isso não necessariamente ocorre no mundo real;
- A FTA não necessariamente inclui todos os possíveis modos de falha, incluindo apenas os eventos considerados importantes;
- Os eventos possuem natureza determinística, e não probabilística;
- Nas árvores de falhas e de sucesso, as variáveis são binárias e discretas. Ou se considera o evento um sucesso ou considera o evento um fracasso. Não há possibilidade de representar outro estado;
- As árvores de falhas e de sucessos não levam em consideração a cronologia dos eventos, tratando de representação gráfica em modo estático;
- Por conta da natureza das variáveis envolvidas, a análise da confiabilidade humana, fica prejudicada tendo em vista as características do erro humano, visto no item 2.3.1.

No item que se segue, verificar-se-á a técnica ETA.

2.4.5. Análise da Árvore de Eventos – ETA (*Events Tree Analysis*)

A ETA é uma técnica indutiva que descreve a evolução de um evento inicializador e mostra todos os possíveis resultados da ocorrência do evento. É apropriada quando a ordem cronológica dos eventos consecutivos é importante para a operação do sistema ou do processo (MARTINS, 2013). Esta técnica identifica e afere as sequências acidentais com o objetivo de determinar se o evento inicializador ou básico se transformará em um acidente grave ou se o evento é suficientemente controlado pelos sistemas de segurança e procedimentos aplicados no projeto do sistema (ERICSON, 2005).

O processo inicia-se com a identificação de eventos inicializadores que perturbam o sistema ou o processo e que podem causar mudanças nos estados de operação ou da configuração operacional. Para cada evento inicializador são associadas sequências de eventos de perigo que conduzirão às consequências ou eventos finais.

Em geral, em sistemas complexos, o resultado da operação de um determinado sistema ou a realização de um determinado processo, em uma planta industrial, há dependência da ordem cronológica da atuação dos componentes do sistema ou da operacionalização dos procedimentos. Neste ínterim, o uso da ETA é recomendável, apesar de manter a restrição da modelagem discreta dos componentes ou eventos (MARTINS, 2013). Porém a técnica não é limitada aos casos onde a ordem cronológica dos eventos subsequentes ao evento inicial é especificada.

A Figura 25 mostra o aspecto típico de uma árvore de eventos. O evento inicial é representado pela coluna mais à esquerda e as colunas seguintes representam os eventos subsequentes que podem ser a atuação de componentes, subsistemas, sistemas ou a execução de processos, procedimentos ou ações em uma planta industrial. As ramificações em cada evento (coluna) representam seus diferentes

possíveis estados, o que limita a modelagem de cada evento por uma variável discreta, e em geral, Booleana (falha/não falha ou sucesso; ocorre/não ocorre; sim/não). Quando os eventos são modelados por uma variável booleana, a ramificação superior de cada evento representa o estado de sucesso e a ramificação inferior representa o estado de falha. Adicionalmente, a ordem das colunas deve atender ao sequenciamento cronológico dos eventos, caso exista (MARTINS, 2013).

A coluna *Cenário* ou *Categoria de Consequências* identifica os possíveis cenários após a ocorrência do evento inicial, e a coluna seguinte, a probabilidade de ocorrência de cada um dos cenários identificados. Como mostrado no item 2.4.4, caso os eventos modelados sejam independentes (o que, em regra, não ocorre), as probabilidades dos cenários apresentados podem ser obtidas, respectivamente, por:

$$P(\text{cenário}_1) = P(A) \cdot P(\overline{B}|A) \cdot P(\overline{C}|B) \cdot P(\overline{D}|C); \quad P(\text{cenário}_2) = P(A) \cdot P(\overline{B}|A) \cdot P(\overline{C}|B) \cdot P(D|C);$$

$$P(\text{cenário}_3) = P(A) \cdot P(\overline{B}|A) \cdot P(C|B) \cdot P(\overline{D}|C); \quad P(\text{cenário}_4) = P(A) \cdot P(\overline{B}|A) \cdot P(C|B) \cdot P(D|C);$$

$$P(\text{cenário}_5) = P(A) \cdot P(B|A) \cdot P(\overline{C}|B) \cdot P(\overline{D}|C); \quad P(\text{cenário}_6) = P(A) \cdot P(B|A) \cdot P(\overline{C}|B) \cdot P(D|C);$$

$$P(\text{cenário}_7) = P(A) \cdot P(B|A) \cdot P(C|B) \cdot P(\overline{D}|C); \quad P(\text{cenário}_8) = P(A) \cdot P(B|A) \cdot P(C|B) \cdot P(D|C),$$

onde $P(X) = 1 - P(\overline{X})$, representa a probabilidade do evento falhar e $P(\overline{X})$ representa a probabilidade do evento não falhar, dado que X é um evento Booleano, como visto, discreto e binário, sendo a mesma limitação da FTA. Observe que, a situação de dependência ou independência dos eventos não está diretamente correlacionado a especificação da ordem cronológica dos mesmos (MARTINS, 2013).

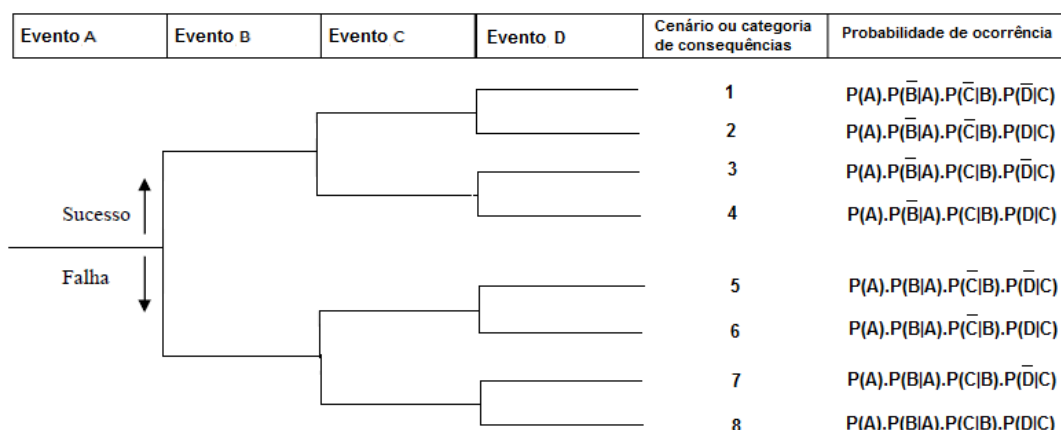


Figura 25 – Aspecto típico de uma árvore de eventos com 04 (quatro) eventos (de perigo, se for o caso) – adaptado de MARTINS, 2013.

A árvore de eventos deve ser lida da esquerda para a direita. Na esquerda, começa-se com o evento inicializador e segue-se com os demais eventos sequenciais. A linha superior é SUCESSO e significa que o evento realmente ocorre, enquanto que a linha inferior é FALHA e significa que o evento não ocorre (STAMATELATOS, 2002 *apud* RODRIGUEZ, 2012).

A ETA, na concepção de RODRIGUEZ (2012), é a técnica mais usada na quantificação do risco, citando diversos autores, os quais afirmam que a técnica é uma ferramenta para estimar o risco no decorrer de uma sequência acidental de processos industriais e exploram técnicas para analisar a incerteza como a Teoria Fuzzy, Método de Monte Carlo, Redes Bayesianas, dentre outros.

Conforme informa MARTINS (2013), esta técnica foi desenvolvida na década de 70, do século XX, com o intuito de apoiar a implementação da análise de risco em centrais nucleares, sendo, na atualidade, utilizada em uma série de setores tecnológicos-científicos. No Apêndice A – item 2 – é apresentado um exemplo prático da aplicação do ETA.

Por tudo exposto, conclui-se que as limitações da ETA são:

- Para se utilizar a ETA em uma avaliação abrangente, todos os eventos inicializadores devem ser identificados. Há a possibilidade de não se agregar

todos os eventos. A ETA, tal qual a FTA, não necessariamente inclui todos os possíveis modos de falha, incluindo apenas os eventos considerados importantes (ISO, 2008);

- Em uma ETA, em regra, os eventos são considerados independentes, sendo isso uma limitação, pois que isso não necessariamente ocorre no mundo real. Além disso, se toda a dependência é desconsiderada, isto resulta em uma estimativa equivocada do risco (ISO, 2008);
- Os eventos possuem natureza determinística, e não probabilística, dado que para se determinar a probabilidade de cada tramo utiliza-se uma árvore de falhas (FTA);
- Nas árvores de eventos, as variáveis são, em regra, binárias e discretas. Ou se considera o evento um sucesso ou considera o evento um fracasso. Não há possibilidade de incluir um sucesso em atraso ou um evento recuperado;
- Processos complexos geram árvores de eventos gigantescas;
- Os dados estatísticos para cada evento são necessários;
- Começa com uma falha que inicia uma sequência de eventos. Caso o interesse seja estudar uma consequência específica, será complexo usar a árvore de eventos;
- Por conta da natureza das variáveis envolvidas, a análise da confiabilidade humana, fica prejudicada.

A forma como foram desenvolvidas as árvores de falhas e de eventos para o processo de descarga de granéis líquidos inflamáveis do navio-tanque para o TGL, objeto deste estudo, serão tratadas detalhadamente no item 2.5.5. A seguir será apresentada a teoria bayesiana, no que tange as razões do emprego da técnica na análise quantitativa do risco, os conceitos que permeiam o seu uso, a inferência bayesiana em detalhes e a modelagem a ser realizada com as redes bayesianas.

2.5. Explicação sobre Redes Bayesianas

Segundo a ISO (2008), a Estatística Bayesiana difere da Estatística Clássica no sentido de que, na Estatística Bayesiana, não se assume que os parâmetros ou variáveis são fixadas; as variáveis na Estatística Bayesiana são aleatórias. Uma

probabilidade bayesiana é um grau de confiança ou uma medida numérica de crença, que uma pessoa tem sobre a ocorrência de determinado evento, em oposição à probabilidade clássica, que é baseada na evidência física, isto é, a probabilidade clássica é a relação entre o número de observações de ocorrência do evento e o número total de observações (expressão (2.1)).

Como a abordagem bayesiana é baseada na interpretação subjetiva da probabilidade, ela fornece fundamentos para a tomada de decisão, baseada em opiniões de especialistas ou banco de dados, e o desenvolvimento de redes, correlacionando os eventos, denominadas bayesianas. Essas redes usam um modelo gráfico que representa a estrutura probabilística bayesiana. A rede é composta de “nós” que representam variáveis aleatórias e os “arcos” que unem, de modo direcionado, os “nós” pais aos “nós” filhos (ISO, 2008), conforme a Figura 26, observados os conceitos que serão apresentados no item 2.5.1.

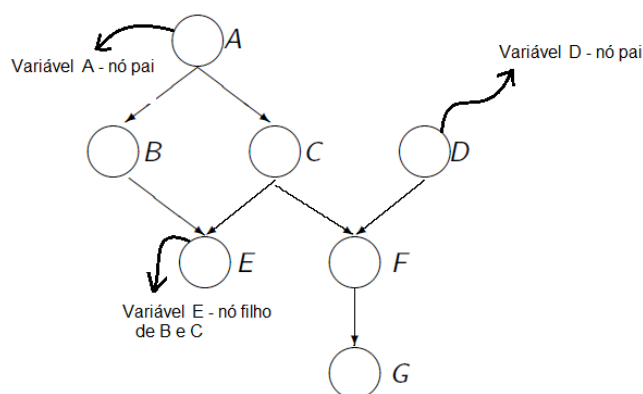


Figura 26 – Aspecto característico de uma rede bayesiana correlacionando, por intermédio de “arcos direcionados”, as variáveis, representadas pelos círculos denominados “nós”, dentre os quais os nós pais e os nós filhos (adaptada de ISO, 2008).

Na Figura 26, decorre que: A⁹ é “pai” de B e C ou B e C são “filhos” de A. B e C são “pais” de E ou E é “filho” de B e C. C e D são “pais” de F ou F é “filho” de C e D. F é “pai” de G ou G é “filho” de F. A, B e D não são descendentes de C. B, C, E, F e G são descendentes de A. D não é descendente de A. Cada nó representa uma variável aleatória.

⁹ Neste trabalho, como já mencionado, os eventos serão representados por letras minúsculas, exceto no que tange à Álgebra Booleana dos itens 2.4.4 e 2.4.5, e as variáveis e nós por letras maiúsculas.

O emprego de redes bayesianas para a quantificação do risco associado a um componente, um sistema ou um processo decorre do fato de que nem sempre as variáveis correlacionadas são determinísticas ou possuem somente dois estados (SMITH e KELLY, 2011), o que é claramente evidenciado no estudo da confiabilidade humana, na HRA.

Conforme informa MATURANA (2010), a quantificação dos riscos associados aos potenciais perigos, que tenham origem no comportamento humano, se faz por intermédio de técnicas que foram desenvolvidas, desde a década de 80 do século passado, por necessidade das indústrias, em especial a nuclear e a aeroespacial, aumentarem a confiabilidade de seus processos, sistemas e plantas industriais. Dentre as técnicas desenvolvidas têm-se as Redes Bayesianas (RB), cuja teoria se fulcra na Estatística Bayesiana, desenvolvida pelo Reverendo Thomas Bayes, em 1763, a partir do Teorema de Bayes. A premissa é que qualquer informação conhecida (*a priori*) pode ser combinada com subsequente análise informacional (*a posteriori*) para estabelecer uma probabilidade (ISO, 2008; ver expressões (2.16) e (2.17)).

MATURANA (2010), HE e NES (2012) apontam que cada técnica traz vantagens e desvantagens, mas com o intuito de minimizar as limitações das técnicas existentes, no que tange à HRA, o uso das Redes Bayesianas vem sendo proposto como uma possibilidade de agregar vantagens das principais técnicas, como a THERP ou a ATHEANA, como visto anteriormente. Em outras palavras, o uso das Redes Bayesianas vem sendo proposto como uma boa maneira para modelar os fatores de influência na ação humana.

O estudo de MATURANA (2010), focado na Análise da Confiabilidade Humana, a ser melhor esclarecido no item 3.2 para o caso em estudo, aponta algumas vantagens e desvantagens das RB:

Vantagens:

- (a) Podem ser utilizadas para se fazer diagnósticos e prognósticos;
- (b) Excelentes para a representação de dependências (têm apelo visual);
- (c) Pode ser padronizado um mecanismo para a elaboração dos gráficos;
- (d) Trazem resultados quantitativos. Permitem inferências diretamente da rede (dependendo do programa utilizado);
- (e) Podem ser alimentadas por dados já existentes;
- (f) Podem ser agregadas as árvores de falhas já elaboradas (as árvores podem ser transformadas em Redes Bayesianas – daí a conectividade com o item 2.5.5);
- (g) Podem representar árvores de eventos já elaboradas (a mesma conectividade do item f);
- (h) Podem ser utilizadas para representar o desencadeamento de eventos e a ordem em que as atividades de determinada tarefa é executada (bons modelos causais);
- (i) São recomendadas para análise comparativa de risco, incluindo decisões a respeito de qualidades requeridas de operadores.

Desvantagens:

- (a) Manipulação de sistemas complexos, tendo em vista que, por permitirem grande detalhamento e a modelagem de qualquer dependência entre as variáveis do sistema, as RB's exigem bom conhecimento sobre o sistema a ser modelado, ou seja, é necessário conhecer bem o sistema para determinar quais dependências são significativas;
- (b) O preenchimento das Tabelas de Probabilidade Condicionada (TPC) pode ser uma tarefa difícil, muitas vezes são necessárias probabilidades condicionais difíceis de serem obtidas (ver item 4.4.5);
- (c) Para permitir a modelagem, pode ocorrer de serem empregadas variáveis discretas para modelar fenômenos contínuos na natureza, trazendo imprecisões ao modelo, nada obstante de ocorrer tal situação em outros modelos.

Portanto, em uma conclusão prévia, pode-se dizer que o emprego das RB's é mais recomendável que as demais técnicas, não só na análise do risco levando em consideração o fator humano, que como visto nos itens 2.4.4 e 2.4.5, respectivamente, são limitações das técnicas FTA e ETA, mas também na análise do risco combinando o elemento humano com fatores não humanos (equipamentos). Na sequência, são apresentados os conceitos básicos associados à técnica em questão.

2.5.1. Conceitos Básicos

MATURANA (2010) e MARTINS (2013) informam que as Redes Bayesianas (RB) são também conhecidas como redes de opinião, redes causais, gráficos de dependência probabilística, isto é, modelos gráficos para raciocínio baseado na incerteza, onde os nós de cada segmento de arco representam variáveis discretas ou contínuas, e os arcos representam a conexão direta entre os nós. O conceito básico, portanto, de redes bayesianas é conhecido como um modelo gráfico (Figura 26) que representa uma distribuição de probabilidade conjunta. Utiliza-se de fundamentos matemáticos da Probabilidade e Estatística em conjunto com a teoria dos grafos presente na Computação.

Ou seja, de modo lúdico e simples, as RB's, de forma estruturada e direta, representam composições e conjunções de probabilidades, de sorte que permitem a consideração de dependências entre as variáveis de um domínio, dado pela função (ou funções) de distribuição de probabilidades que estão associadas às variáveis em questão, e estão sendo utilizada em diversas áreas do conhecimento humano (medicina, engenharia, economia, finanças, etc.). Segundo MATURANA (2010), as RB são particularmente úteis para a representação de domínios em que existem informações a respeito de dependência condicional entre suas variáveis. Partindo deste tipo de informação é possível, então, a representação compacta do domínio (ver Figura 4).

Decorre das variáveis associadas às RB, dependências causais, de tal sorte que as variáveis em conjunto com estas relações de causa e efeito, formam um

modelo matemático que pode representar um domínio real específico. A partir da mencionada modelagem, o enfoque bayesiano, uma espécie de inferência estatística, se caracteriza pelo emprego de fatos ou observações (evidências) para atualizar ou inferir sobre a probabilidade de que uma premissa ou hipótese, aprioristicamente estabelecida, pode estar correta, a um nível de significância.

No caso tratado neste trabalho, foram utilizadas as crenças dos especialistas dos potenciais perigos do processo de descarga de granéis líquidos inflamáveis do navio-tanque para o TGL. É a partir destas informações que se procederá a aplicação das redes bayesianas para inferir sobre os riscos associados ao processo.

Desta forma, dado um evento, para a Estatística Bayesiana, o conceito de sua probabilidade é a medida numérica da crença de uma pessoa que determinado evento irá ocorrer em um experimento. Assim, na interpretação Bayesiana, a probabilidade sempre dependerá do conhecimento de quem a provê ou do que esta pessoa assume como verdade.

Sendo uma RB um grafo direcionado em que cada nó representa uma variável aleatória (que pode ser discreta ou contínua), como dito alhures, há uma conectividade e dependência das variáveis, pois que, estes nós são conectados por arcos direcionados representando as dependências entre as variáveis do domínio que está sendo modelado (ver definição 1.1, p. 20). Portanto, as redes bayesianas não apresentam ciclos direcionados, isto é, não é possível passar duas vezes por determinado nó seguindo um caminho que respeite as orientações dos arcos. A Figura 27 apresenta um grafo cíclico e um acíclico. A rede da Figura 26, como se verifica, é acíclica. Decorre desta situação que as RB's são classificadas como um grafo direcionado acíclico – DAG (do inglês *Directed Acyclic Graph*) na teoria dos grafos.

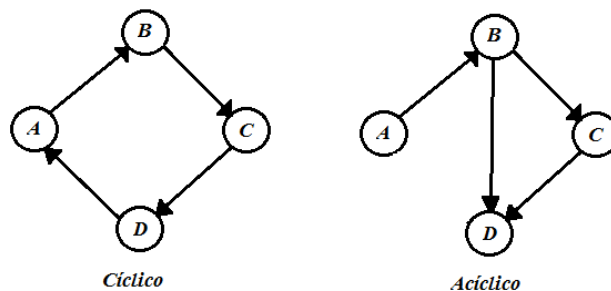


Figura 27 – Exemplos de grafos direcionados.

No Apêndice A – itens (3) e (4) – são mostrados exemplos de Rede Bayesiana extraído de CHARNIAK (1991) *apud* COZMAN (2013) que elucida o que foi exposto. Sugere-se a leitura.

Conforme exposto em 2.1, e de acordo com os exemplos mostrados no Apêndice A sobre RB, tem-se que, sendo X_i ($i = 1, 2, \dots, n \in N = n^\circ$ naturais) uma variável aleatória em X , associada ao nó, tal que, $X : \Omega \rightarrow \mathfrak{R}$, sendo \mathfrak{R} o conjunto dos números reais, tem-se que a medida de probabilidade P no espaço amostral Ω induz uma medida em X , pertencente aos n° reais, onde o par (Ω, P) é chamado de espaço de probabilidades (ver expressões de (2.7) a (2.12)).

Daí, quantitativamente, cada nó X_i recebe uma distribuição de probabilidades condicionais $P(X_i | \text{pais}(X_i))$ exprimindo a influência dos nós pais (nesta expressão $\text{pais}(X_i)$ representa o conjunto dos nós pais do nó X_i). Decorre da situação de dependência, que cada variável X_i é independente dos seus não ascendentes, dados os seus parentes ou pais¹⁰. O exemplo a seguir elucida o que foi exposto.

Suponha que A , B e C são variáveis binárias, com valores 0 ou 1, determinando a existência de oito possibilidades para uma distribuição de probabilidade conjunta ou uma conjunção de probabilidades. Sabendo-se que A é independente de C dado B , isto é, $A \perp\!\!\!\perp C | B$, a relação entre as variáveis é representada graficamente pela Figura 28. Exemplo: (1) Se alguém quebra a perna,

¹⁰ É o caso da Figura 26, onde A é o pai de B e C ou B e C são filhos de A .

ela vai para o hospital (A); (2) Se uma pessoa é jogadora de futebol, ela pode quebrar a perna (B); (3) Carlos joga futebol algumas vezes (C). Se Carlos quebrou a perna, não é preciso saber se ele jogou bola, porque ele vai para o hospital.

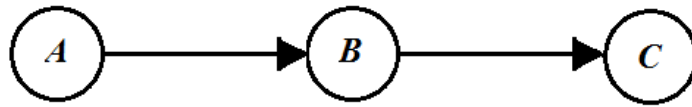


Figura 28 – Representação gráfica de $A \perp\!\!\!\perp C | B$.

A função de probabilidade ou função de massa de probabilidade (COZMAN, 2013) pode ser escrita da seguinte forma, a partir do Teorema de Bayes (2.16):

$$p(A, B, C) = p(C|A, B).p(A, B) = p(C|A, B).p(B|A).p(A) \quad (2.35)$$

Se A é independente de C dado B a expressão (2.35) é simplificada em:

$$p(A, B, C) = p(C|B).p(B|A).p(A) \quad (2.36)$$

O número de valores que são necessários para especificar uma função de massa de probabilidade é dado por $2^n - 1$, onde n é o número de variáveis associadas. Todavia, dada a relação de dependência (ou independência), o número de valores para especificação será reduzido. Então, no exemplo apresentado, sendo $n = 3$ (A , B e C) apenas cinco números são necessários para a especificação e não sete. Vê-se que são necessários dois números e não quatro para especificar $p(C|A, B)$.

Generalizando para n variáveis, conforme a Figura 29, chega-se na expressão (2.37).

$$p(X_1, X_2, \dots, X_n) = p(X_n | X_{n-1}, X_{n-2}, \dots, X_1).p(X_{n-1} | X_{n-2}, X_{n-3}, \dots, X_1). \dots .p(X_2 | X_1).p(X_1) \quad (2.37)$$

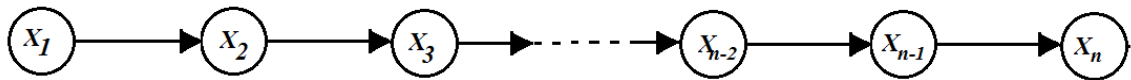


Figura 29 – Representação gráfica da generalização do exemplo.

Para variáveis binárias ter-se-á 2^n-1 medidas de probabilidades, sem considerar a dependência. O que se observa é que:

X_n só depende de X_{n-1} , implicando em somente dois números para a representação;

X_{n-1} só depende de X_{n-2} , implicando em somente dois números para a representação;

E assim por diante.

Desta forma, tem-se que $p(X_n|X_{n-1}, X_{n-2}, \dots, X_1) = p(X_n|X_{n-1})$, $p(X_{n-1}|X_{n-2}, X_{n-3}, \dots, X_1) = p(X_{n-1}|X_{n-2})$, $p(X_{n-2}|X_{n-3}, X_{n-4}, \dots, X_1) = p(X_{n-2}|X_{n-3})$, e assim sucessivamente, até que $p(X_3|X_2, X_1) = p(X_3|X_2)$, dependendo os nós filhos apenas dos nós pais.

As expressões acima compõem a chamada **Condição de Markov** para pais e filhos (das causas para os efeitos) em uma RB, a qual estabelece a implicação de que qualquer Rede Bayesiana representa uma única função de densidade de probabilidade conjunta, sendo decomposta em fatores, levando a expressão (2.37) à (COZMAN, 2009; LIU e WANG, 2013):

$$p(X) = \prod_{i=1}^n P(X_i|\text{pais}(X_i)) \quad (2.38)$$

Desta forma, as probabilidades associadas aos nós A, B, C, D, E, F e G da Figura 26, são determinadas a partir de: $P(A)$, $P(D)$, $P(B|A)$, $P(C|A)$, $P(E|B,C)$, $P(F|C,D)$, $P(G|F)$.

A ideia das RB's é providenciar um modelo compacto em uma eficiente representação de função de distribuição de probabilidade conjunta. Conforme visto, a expressão (2.16) se traduz na Regra ou Teorema de Bayes e auxilia na obtenção da probabilidade a partir do surgimento de uma evidência. Os exemplos apresentados mostram a praticidade de se trabalhar com RB's quando se tem um domínio complexo e a conjunção de probabilidades das variáveis associadas.

Nos parágrafos anteriores já foram colocados os conceitos probabilísticos básicos que permitem a representação dos domínios, de maneira compacta, por meio das Redes Bayesianas, tais como o conceito da probabilidade condicional, conjunção de probabilidades e o domínio por meio das RB's.

Portanto, com base na expressão (2.37) e na conjunção de probabilidades, pode-se calcular (utilizando o exemplo apresentado na Figura 104), conforme o exemplo do item (3) do Apêndice A, a probabilidade de *Joe* ouvir o latido pensando ser do *Spike*, mas sem o *Spike* estar no quintal, com a família de *Joe* em casa, o cachorro não ter problemas intestinais, e a lâmpada externa estar acesa. O desenvolvimento do cálculo está nas expressões (2.39) e (2.40).

$$P(h, d^c, f^c, b^c, l) = P(h|d^c).P(d^c|f^c, b^c).P(f^c).P(b^c) \quad (2.39)$$

$$P(h, d^c, f^c, b^c, l) = (0,01).(1 - 0,30).(1 - 0,15).(1 - 0,01) = 0,0058905 \quad (2.40)$$

E, no próximo item, serão apresentadas as propriedades gráficas e as relações de dependência nas Redes Bayesianas a partir da topologia, observada a complexidade da rede.

2.5.2. Propriedades gráficas e relações de dependência nas RB's

A construção de uma Rede Bayesiana exige que certos cuidados sejam tomados de forma a permitir que a tabela conjunção de probabilidades resultante seja uma boa representação do problema (SMITH e KELLY, 2011). Das expressões (2.37) e (2.38) chega-se a seguinte expressão:

$$P(X_i | X_{i-1}, \dots, X_2, X_1) = P(X_i | \text{pais}(X_i)), \text{ para } \text{pais}(X_i) \subseteq \{x_{i-1}, \dots, x_1\}, 1 \leq i \leq n \quad (2.41)$$

Observa-se, pois, que a especificação de uma tabela de conjunção de probabilidades é equivalente com a expressão (2.41), sob a forma de declaração geral. Ressalta-se: esta equação expressa que uma rede Bayesiana é a representação correta de um domínio se e somente se, cada nó é condicionalmente independente de seus predecessores, dado seus pais. Portanto, para se construir uma rede cuja estrutura represente devidamente o domínio do problema, é necessário que para todo nó da rede esta propriedade seja atendida. Intuitivamente, os pais de um nó X_i devem conter todos os nós X_1, \dots, X_{i-1} que influenciem diretamente X_i .

Então, um procedimento geral para construção de redes Bayesianas seria (COZMAN, 2013):

1. Escolher um conjunto de variáveis X_i que descrevam o domínio;
2. Escolher uma ordem para as variáveis;
3. Enquanto existirem variáveis:
 - a. Escolher uma variável X_i e adicionar um nó na rede.
 - b. Determinar os nós $\text{Pais}(X_i)$ dentre os nós que já estejam na rede e que satisfaçam a equação (2.41).
 - c. Definir a tabela de probabilidades condicionais para X_i .

O fato de que cada nó é conectado aos nós mais antigos na rede garante que o grafo será sempre acíclico.

As Redes Bayesianas, em geral, representam tabelas conjunção de probabilidades de um domínio de forma compacta. Esta característica decorre do fato de que as redes Bayesianas possuem uma propriedade geral chamada, localidade estrutural. Nos sistemas com localidade estrutural, cada subcomponente interage diretamente apenas com uma parte do restante do sistema (demais subcomponentes). No caso das redes Bayesianas, é razoável de se supor que, na maioria dos casos, cada variável aleatória é diretamente influenciada por no máximo r outras variáveis.

Como visto, ao se supor, por questões de simplicidade, que as variáveis aleatórias possam assumir apenas valores booleanos, a quantidade de informação necessária para se especificar uma determinada tabela de probabilidades condicionais será no máximo 2^r números, em contraste com uma tabela de conjunção de probabilidades, 2^n . Apenas como um exemplo do poder de compactação, suponha uma rede com 21 nós ($n = 21$), com dois estados cada, na qual 16 nós possuam 5 nós pais ($r = 5$) e os demais apenas nós filhos (sem dependência condicionais), conforme a Figura 30. Para este caso uma rede Bayesianas necessitaria de $16 \cdot 2^5 + 5 = 517$ números para preencher as TPC, enquanto uma tabela de conjunção precisaria de $2^{21} = 2.097.152$ (mais de dois milhões).

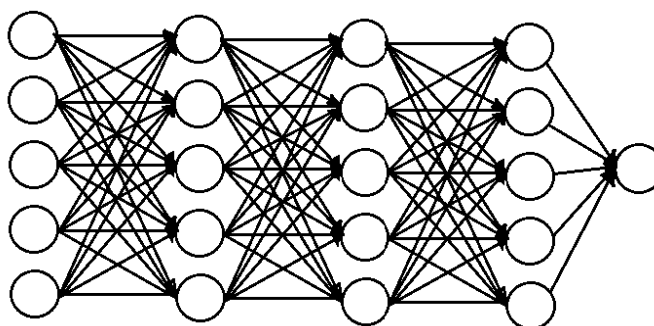


Figura 30 – Estrutura da rede exemplo.

Entretanto, existem domínios que requerem que cada nó seja influenciado por todos os outros – grafo fortemente conexo. Nestes casos, a especificação de uma tabela de conjunção de probabilidades requer a mesma quantidade de informação

que uma rede Bayesiana. Porém, na prática, a maioria dos problemas podem ser simplificados de forma a se garantir que a rede não seja conexa, sem perda de informação útil. Como informa MATURANA (2010), a complexidade da rede depende do grau de detalhamento requerido. É importante notar que o detalhamento pode trazer dificuldades para encontrar probabilidades para popular a rede (preencher as TPC).

Mesmo em domínios localmente estruturados, construir uma rede localmente estruturada não é um trabalho trivial. Pois, cada variável deve ser diretamente influenciada por apenas r ($r \neq n$) outras e, a topologia deve realmente representar o domínio. Alguns métodos podem ser utilizados, porém, não garantem a construção correta da árvore, uma abordagem possível seria incluir inicialmente as raízes, em seguida os nós influenciados por nós do nível anterior, e assim sucessivamente até a inserção das folhas (não possuem influência sobre nenhum nó). Assim, a ordem de inserção dos nós pode influenciar no desempenho da rede. No exemplo do item (3) do Apêndice A, Figura 104, poder-se-ia inserir um arco entre o nó H e o nó L e deveriam ser encontradas as probabilidades entre *Joe* ouvir o cão *Spike* latir dado que a lâmpada externa foi acesa **ou** um arco entre o nó H e o nó F e deveriam ser encontradas as probabilidades entre *Joe* ouvir o cão *Spike* latir dado que a família de *Joe* não está em casa. O que se deve ponderar é a relação entre os ganhos com este detalhamento e os custos para se obter as informações necessárias a este incremento.

Conforme demonstrado anteriormente, um nó em uma rede Bayesiana possui independência condicional em relação a seus predecessores na rede dado os estados dos seus pais. Entretanto, para que possa utilizar algum método de inferência em uma rede é necessário saber mais a respeito das relações entre os nós de uma rede. Por exemplo, é necessário saber se um conjunto de nós X é independente de outro conjunto Y , dado um conjunto de evidências E^{11} , ou, em outras palavras, é preciso saber se X é d-separado de Y . Se todo caminho não

¹¹ Evidência em uma variável é uma declaração de uma certeza de seus estados. Se uma variável é instanciada, ela é chamada *hard evident*.

dirigido (sem orientação) entre um nó em X e um nó em Y é d-separado por E, então X e Y são condicionalmente independentes dada a evidência E.

Um conjunto de nós E é d-separado de dois conjuntos de nós X e Y, se todo o caminho não dirigido de um nó em X para um nó em Y é bloqueado dado E. Um caminho é bloqueado por um conjunto de nós E se existe um nó Z que garante algumas das três condições (COZMAN, 2013):

1. Z está em E e Z possui um arco de entrada e um arco de saída no caminho.
2. Z está em E e Z possui dois arcos de saída no caminho não dirigido.
3. Z e nenhum de seus descendentes estão em E e ambos os arcos no caminho não dirigido são de chegada em Z. A Figura 31 demonstra os três casos.

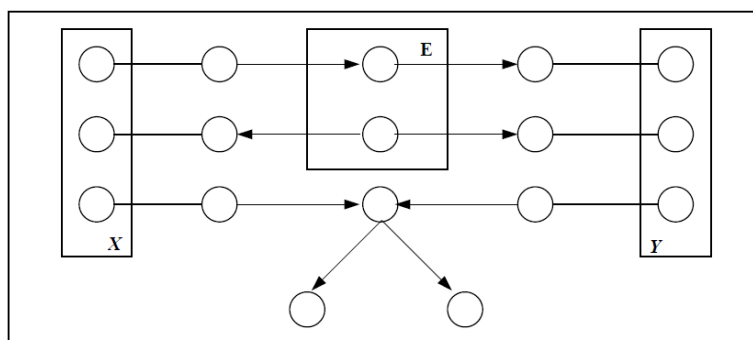


Figura 31 – Nós X e Y d-separados (casos gerais).

A apresentação destas definições e das assertivas associadas é encontrada em GEIGER *et al.* (1990). O próximo item discute algumas questões a respeito das Tabelas de Probabilidades Condicionais em Redes Bayesianas.

2.5.3. Tabela de Probabilidades Condicionais – TPC nas RB's

As Tabelas de Probabilidades Condicionais – TPC tendem a ter um grande número de entradas, mesmo para nós com um número pequeno de pais. Preencher estes valores pode requerer muita experiência, caso a relação entre nós pais e nós filhos seja completamente arbitrária. Entretanto, na maioria dos casos, esta relação pode ser bem adaptada a algum padrão, o que pode facilitar o trabalho. Estes casos são chamados distribuições canônicas (CHARNIAK, 1991 *apud* COZMAN, 2013).

O caso mais simples é o representado por nós determinísticos. Um nó determinístico tem o seu valor explicitamente determinado a partir dos pais, sem incerteza. Por exemplo, relação entre nós pais “gato angorá”, “gato siamês” e “gato persa”, e o nó filho “gato” é determinado especificamente pela disjunção dos pais.

Segundo RUSSELL e NORVIG (2003), as relações com incerteza podem geralmente ser caracterizadas como relações com ruídos (*noisy logical relationships*). A relação com ruído padrão é chamada ruído-OU (*noisy-OR*), uma generalização da relação lógica OU (ver Figura 22). O item (5) do Apêndice A traz um exemplo que elucida estas relações. O autor sugere que, sendo necessário, o exemplo seja consultado.

Neste trabalho, o preenchimento das TPCs foi efetivado a partir de entrevistas feitas com os operadores e especialistas no processo sob estudo. O próximo item discute algumas questões a respeito da inferência em Redes Bayesianas.

2.5.4. Inferência Bayesiana

As Redes Bayesianas não só representam o domínio de forma compacta e intuitiva, mas a tarefa básica de uma inferência probabilística por meio de Redes Bayesianas é computar a distribuição de probabilidades *a posteriori* para um conjunto de variáveis de consulta (*query variables*), dada uma evidência incontestada (*hard evidence*), ou seja, o sistema computa $P(\text{Query}|\text{Evidence})$ (COZMAN, 2013).

Segundo NORSYS (2010), uma rede de Bayes captura as relações de crença (que podem ser incertas ou imprecisas) entre um conjunto de variáveis que são relevantes em alguns problemas. As variáveis deverão ser relevantes porque o analista deve ser capaz de observá-las, precisará saber os seus valores para tomar alguma ação ou relatar algum resultado ou porque são variáveis intermediárias ou internas, ajudando a expressar relações entre as demais variáveis.

Algumas Redes Bayesianas são projetadas para serem usadas em uma situação singular, somente uma vez. Mas, em regra, as RB's são projetadas para situações que ocorrem repetidamente. Elas podem ser construídas utilizando os conhecimentos de especialistas ou de um banco de dados ou uma combinação dos dois, como já foi mencionado (SMITH e KELLY, 2011). Às vezes, as RB's são construídas com a união de outras RB's e seus bancos de dados, em um método denominado *on-the-fly*, que comporá um novo banco de dados. O *software* NETICA™ que será usado neste trabalho, segundo a NORSYS, 2010 (o fabricante), é projetado para funcionar em qualquer tipo de aplicação. Ele permite que as probabilidades sejam inseridas diretamente, originalmente vindo de um especialista ou de um banco de dados de probabilidades, que servirá para o aprendizado da RB. Também pode processar a construção *on-the-fly* mencionada acima.

Um clássico exemplo do uso de Redes Bayesianas é mostrado no Manual do *software* NETICA™. Remete-se o leitor para o item (6) do Apêndice A. Outro exemplo de RB aplicado na medicina (radioterapia), em caso de interesse, é mostrado por REITZ *et al.* (2013).

Quando a RB é construída, um nó é utilizado para cada variável aleatória escalar, a qual pode ser discreta, contínua, ou proposicional (verdadeira/falsa). Os nós são conectados por arcos direcionados, observada a independência condicional como já mencionado. MARTINS (2013) informa que as variáveis ligadas aos eventos conhecidos *a priori* são as variáveis de evidência. Como este recurso, podem ser feitas inferências, também chamadas atualizações das crenças, com três objetivos:

- Causas: dadas as causas objetiva-se obter as probabilidades dos efeitos;
- Diagnósticos: como no exemplo médico, dados os efeitos, objetiva-se obter as probabilidades das causas;
- Intercausais: dada a evidência de uma causa, objetiva-se obter a probabilidade de outra causa.

Estas possibilidades são ilustradas na Figura 32, extraída de MARTINS (2013):

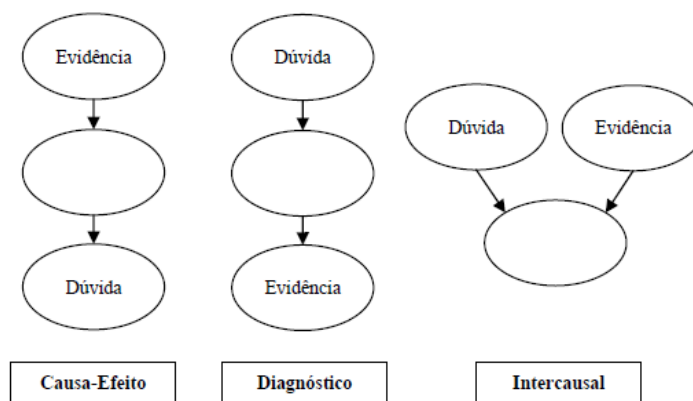


Figura 32 – Inferência – extraído de MARTINS (2013).

Além de consultas a partir de evidências, as RB's podem ser utilizadas para (MATURANA, 2010; SMITH e KELLY, 2011): (i) tomar decisões baseadas em probabilidades; (ii) decidir quais evidências adicionais devem ser observadas a fim de se obter informações úteis do sistema; (iii) analisar o sistema a fim de buscar os aspectos do modelo que possuem maior impacto sobre as variáveis de consulta; (iv) explicar os resultados de uma inferência probabilística a terceiros.

Certo é que, como no caso sob estudo, existem muitas situações em que se deseja estimar as probabilidades dos eventos para um sistema complexo, onde os eventos são raros, e assim, por estimativa, inferir sobre as probabilidades de tais eventos pode ser um desafio, como informa QUIGLEY *et al.* (2012), devendo ser aplicada, neste caso, como concluem os autores, a Estatística Bayesiana.

Os algoritmos desenvolvidos para a aplicação e uso das RB's podem ser divididos entre os que trazem solução exata e os que trazem solução aproximada para os problemas analisados. Nesta dissertação será feita uma breve apresentação dos métodos, porque não é esse o objetivo do trabalho. Inicialmente será dada uma visão geral sobre algumas técnicas para inferência exata, e ao fim, uma rápida visão sobre a inferência aproximada.

2.5.4.1. Inferência Exata

Considerando que $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$, n número natural, represente o conjunto das variáveis de evidência de determinado domínio, sendo y uma dada evidência; seja X uma variável qualquer não pertencente a Y , e $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_m\}$, m número natural, o conjunto das variáveis que não pertencem às classificações anteriores. Uma questão típica, segundo MATURANA (2010), seria determinar a distribuição posterior de probabilidade de X , ou seja, determinar $P(X|Y)$.

No item (10) do Apêndice A, tem-se uma análise que exemplifica a inferência exata, a partir do caso da rede do item (3) do citado Apêndice (*The Problem Dog*). Para um melhor entendimento sobre o tópico aqui tratado, remete-se o leitor para a devida leitura.

O procedimento descrito no item (10) do referido Apêndice é exato e pode ser utilizado para qualquer RB. Entretanto é extremamente dispendioso em termos de tempo para redes com muitos nós e relações de dependência. Para simplificar estes cálculos foram desenvolvidos, segundo MARTINS (2013), diversos meios, apresentados em linhas gerais nos itens a seguir, em três possibilidades: (1) eliminação de variáveis; (2) agrupamento de variáveis, e; (3) métodos aproximados.

2.5.4.2. Eliminação de Variáveis

MARTINS (2013) e MATURANA (2010) informam que RUSSELL e NORVIG (2003) apresentam a técnica de eliminação de variáveis, como sendo a mais simples deste tipo, pois que, como visto na Figura 108 do Apêndice A, os cálculos são repetitivos, e em uma rede mais complexa, se torna ainda mais onerosa, em termos de custo de processamento e de tempo. Os cálculos repetitivos são executados uma única vez, na técnica mencionada.

2.5.4.3. Agrupamento de Variáveis

O agrupamento de variáveis é uma técnica amplamente utilizada em softwares que emulam Redes Bayesianas, segundo MATURANA (2010). Esta técnica consiste em agrupar certas variáveis da rede de forma que a mesma se torne uma rede simplesmente conexa, que é aquela em que existe no máximo um caminho não direcionado (em que não importa a orientação dos arcos) entre um par de nós. Uma rede com múltiplas conexões, em contrapartida, possui pares de nós se conectando por mais de uma combinação de arcos (MARTINS, 2013). Para melhor elucidar a questão, apresenta-se um exemplo no item (7) do Apêndice A.

Para Redes Bayesianas multiconectadas, onde a inferência probabilística se faz em cada nó, existem vários métodos para tentar solucionar o problema de grandiosidade e complexidade da RB (dos cálculos computacionais), denominado por RUSSELL e NORVIG (2003) de *NP-Hard*. Um deles é o método **Clustering**. Este método transforma probabilisticamente (não topologicamente) a rede em uma rede simplesmente conexa. Há ainda os métodos: **Conditioning** e **Stochastic simulation**. O primeiro faz uma transformação na rede instanciando variáveis em valores definidos, e então, produz uma rede simplesmente conexa para cada variável instanciada. Já o segundo usa a rede para gerar um grande número de modelos concretos de um domínio. A partir destes modelos o algoritmo calcula uma aproximação de uma inferência (MURPHY, 1998; LIU e WANG, 2013).

Considere o exemplo do item (7) do Apêndice A. No item (8) do mesmo Apêndice é utilizado o método *Clustering* a fim de exemplificar o que foi dito, não se adentrando nos outros dois métodos, por fugir ao escopo deste trabalho. Sugere-se a leitura.

Apesar da técnica permitir a aplicação de um algoritmo de inferência de tempo linear, a característica *NP-hard* não deixa de existir (FRANCIS *et al.*, 2012). No pior caso, o tamanho da rede pode crescer exponencialmente, tendo em vista que o método envolve o produto de tabelas de probabilidade condicional. O problema passa então a depender da escolha de um bom método para junção de nós.

2.5.4.4. Inferência Aproximada

Segundo SMITH e KELLY (2011); RUSSELL e NORVIG (2003) *apud* MATURANA (2010), dada a impossibilidade de tratamento adequado por meio de inferência exata em redes bayesianas extensas e com múltiplas conexões, é essencial a consideração de métodos de inferência aproximados. Os métodos aproximados utilizam simulação estocástica. Isto significa que para uma determinada rede são gerados resultados randômicos que são trabalhados estatisticamente e fornecem uma aproximação para a condição desejada. Para uma melhor compreensão do que foi exposto, toma-se os exemplos dos itens (7) e (8) do Apêndice A e apresenta-se o exemplo do item (9) com os devidos procedimentos. Caso seja necessário, o leitor deverá consultá-lo.

Para o escopo do trabalho, o detalhamento da inferência bayesiana até aqui tratado é o suficiente. O software NETICA™ na sua versão 4.16, disponível no LabRisco da USP é o que será usado para o modelamento que será apresentado adiante. Antes, tratar-se-á da questão relacionada à conversão da árvore de falhas e da árvore de eventos obtidas para o processo sob estudo, do caso considerado nesta dissertação, conforme se verá a seguir.

2.5.5. Conversão de Árvores de Falhas e Árvores de Eventos em Redes Bayesianas

Conforme verificado nos itens 2.4.4 (p. 66) e 2.4.5 (p. 75), as árvores de falhas e de eventos são diagramas lógicos-sequenciais. A árvore de falhas tem por objetivo determinar a probabilidade de um evento final (evento topo) enquanto que a árvore de eventos foca a probabilidade das ocorrências dos vários cenários ligados a um evento inicializador. Ambas as técnicas trabalham com lógica booleana, o que é uma limitação, que não se encontra nas Redes Bayesianas. Aliás, diversas limitações, em especial para a aplicação na HRA, afastam o emprego da FTA e da ETA.

Nada obstante, as técnicas foram efetivadas nesta dissertação, até para fins de comparação.

Segundo LAMPIS e ANDREWS (2008) *apud* MATURANA (2010) e BOBBIO *et alli* (2001), TORRES-TOLEDANO e SUCAR (1998) *apud* MARTINS (2013), MAUBOOB *et al.* (2012), as árvores de falhas podem ser convertidas em Redes Bayesianas. Caso seja feita esta conversão, os nós das redes obtidas serão representantes de variáveis booleanas. Para demonstrar esta conversão, a partir de MATURANA (2010) e MARTINS (2013), serão apresentados três casos, cada um apresentando a conversão de uma árvore de falhas simples utilizando uma das portas lógicas descritas em 2.4.4, especificamente pela Figura 22. Primeiramente, tome-se a árvore de falhas apresentada na Figura 33 (a).

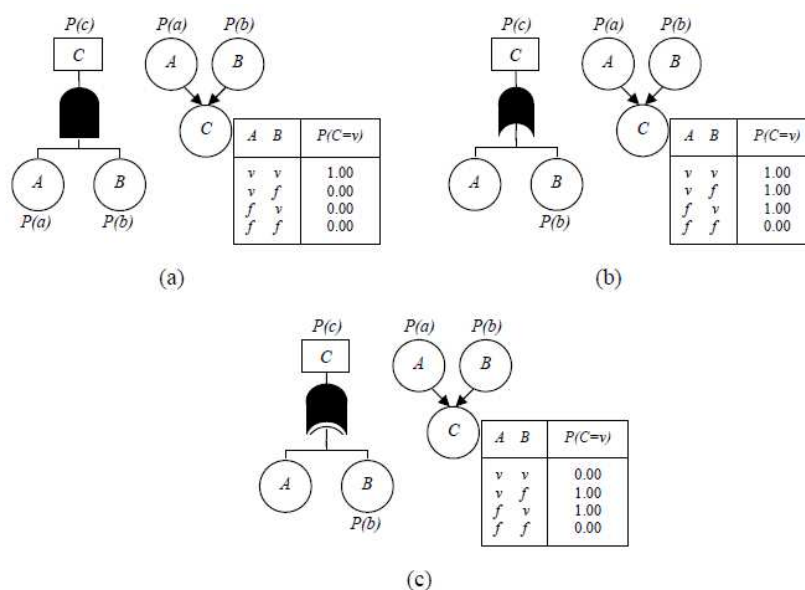


Figura 33 – Conversão de Árvores de Falhas em Rede Bayesiana – extraído de MARTINS (2013).

Nesta árvore estão representados dois eventos básicos A e B ¹² independentes, além do evento topo C . Observa-se que a porta lógica que está sendo utilizada é a “E” (AND). Desta forma, para este exemplo, a probabilidade de ocorrência do evento C é igual ao produto das probabilidades de ocorrência dos eventos A e B , ou seja:

¹² Ressalta-se que evento é letra minúscula; mas, dado que será usada a Álgebra Booleana, neste tópico, usar-se-á letras maiúsculas, como já foi ressaltado anteriormente.

$$P(c) = P(a).P(b) \quad (2.42)$$

Apesar das árvores de falhas não relacionarem cronologicamente os eventos, as seguintes probabilidades condicionais podem ser obtidas, segundo MATURANA (2010):

$$P(c|a,b) = 1 \quad (2.43)$$

$$P(c|a^c,b) = 0 \quad (2.44)$$

$$P(c|a,b^c) = 0 \quad (2.45)$$

$$P(c|a^c,b^c) = 0 \quad (2.46)$$

O desenvolvimento de uma Rede Bayesiana, que considere a independência entre os eventos A e B , leva à estrutura gráfica apresentada na Figura 34, onde estes eventos são representados pelos nós de mesma denominação. Na Figura 34 também estão representadas as probabilidades condicionais para o nó C , obtidas diretamente das relações (2.43) a (2.46). As tabelas da Figura 34 usam a nomenclatura de MARTINS (2013) para os eventos de causa comum (de falhas), quando a probabilidade de ocorrência é dado por Lcc .

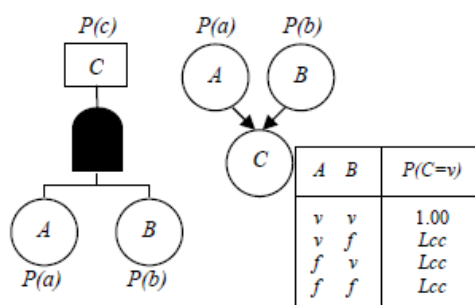


Figura 34 – Rede Bayesiana obtida da árvore de falhas com a porta “E” (extraída de MARTINS, 2013).

Com idêntica abordagem, MATURANA (2010) chega a Figura 35, que ilustra as Redes Bayesianas para as portas lógicas “OU” (OR) e “OU EXCLUSIVO” (NOR), o que também é apresentada por MARTINS (2013).

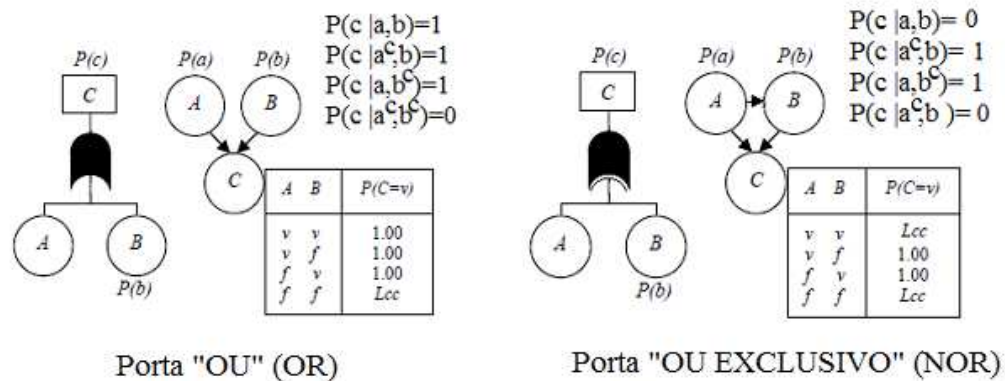


Figura 35 – Redes Bayesianas obtidas das árvores de falhas com as portas “OU” e “OU EXCLUSIVO”.

Para maiores detalhes sobre as demonstrações das relações associadas, consultar MATURANA (2010).

No caso sob estudo, foram construídas as árvores de falhas e de eventos, sem levar em consideração a contribuição do erro humano. A ideia, como se verá na seção 3.2, p. 117, é realizar a HRA, integrando Redes Bayesianas com a árvore de falhas, previamente construída, convertida em RB, observando a análise quantitativa realizada por intermédio da composição probabilística.

A RB será utilizada para modelar o fator humano. O desencadeamento dos eventos que trazem perigo à operação de descarga do NT serão apresentados na seção 4.2, quando será realizada a PHA para o processo em estudo. MATURANA (2010) apresenta o resultado de uma modelagem em uma grande RB, concatenando a árvore de falhas com as redes, em relação aos eventos básicos correlacionados à atividade humana, permitindo fazer inferências bayesianas. A ideia, portanto, deste trabalho, é agregar o fator humano a modelagem já feita com a FTA, transformada em RB, conforme a Figura 36.

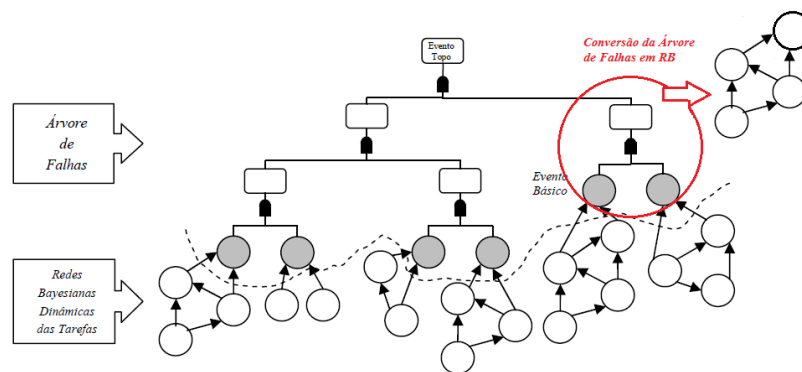


Figura 36 – Integração e Conversão da Árvore de Falhas em Redes Bayesianas – adaptado de MATURANA (2010).

Nesta toada, no próximo item abordar-se-á a modelagem de sistemas por meio das Redes Bayesianas.

2.6. Modelagem por meio de Redes Bayesianas

De tudo que foi exposto, vê-se que o emprego das Redes Bayesianas supera a modelagem com as técnicas convencionais, como a FTA e a ETA, que trabalham diretamente com a conjunção de probabilidade do domínio. Segundo MARTINS (2013), a modelagem tanto de sistemas quanto de uma rede de eventos, utilizando-se métodos convencionais (FTA e ETA, por exemplo) é limitada pela dificuldade de representação de domínios com muitas variáveis ($^1X, ^2X, ^3X, ^4X, \dots$) ou variáveis com múltiplos estados variáveis ($^1X_i, ^2X_i, ^3X_i, ^4X_i, \dots$), tal que $0 \leq i \leq n$, n um número natural e o número possível de estados, pela dificuldade de representação de relações de dependência ou pela necessidade de um grande número de informações (conjunção de probabilidades) para a representação do domínio, informações estas por vezes indisponíveis ou pouco intuitivas.

As Redes Bayesianas além de não apresentarem as mencionadas limitações, possibilitam o trabalho com redes dinâmicas (*dynamic networks*). A rede dinâmica, e no caso a Rede Bayesiana Dinâmica – DBN (do inglês *Dynamic Bayesian Networks*), por definição, é uma rede que possui nós influenciados por estados anteriores das variáveis de domínio (no instante t alguns nós são influenciados pelos estados de nós nos instantes $(t-1)$, $(t-2)$, $(t-3)$, e assim por diante. Redes

Bayesianas Dinâmicas foram testadas e consideradas relevantes para realizar a análise de confiabilidade e representar comportamentos de sistemas complexos, como propõem FOULLIARON *et al.* (2013). Como exemplo de DBN, tem-se a rede da Figura 37 que apresenta nós influenciados por outros da mesma rede, adaptada do exemplo do item (7) do Apêndice A, mas em momentos distintos.

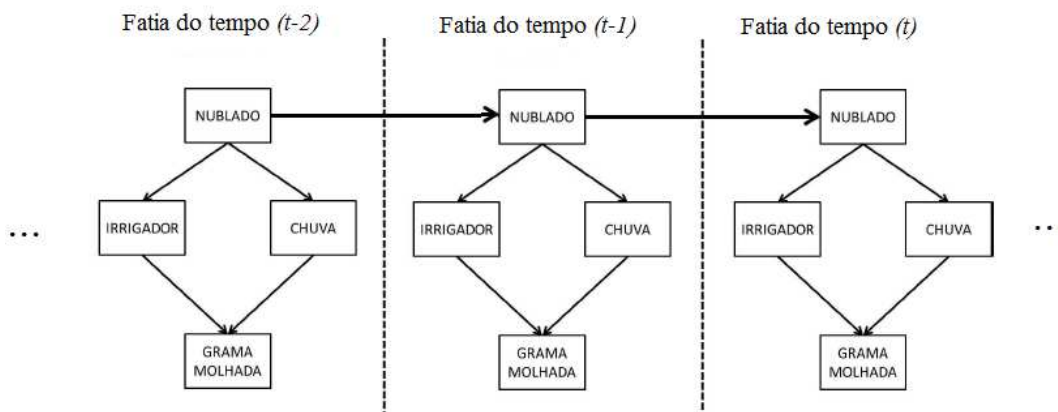


Figura 37 – Exemplo de rede bayesiana dinâmica (RBD) com a utilização do exemplo do item (7) do Apêndice A.

Uma DBN ou RBD, portanto, é uma RB que pode ser utilizada para representar um modelo probabilístico temporal, utilizando os mesmos algoritmos para inferência probabilística (GHAHRAMANI, 1998; HANEA *et al.*, 2012), conforme se verifica na Figura 38.

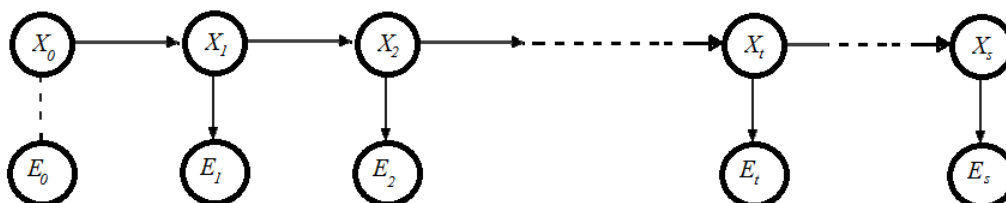


Figura 38 – Rede Bayesiana Dinâmica Genérica (extraída de GHAHRAMANI, 1998, com adaptações)

Neste caso, X_t e E_t correspondem às variáveis não observáveis (de estado, podendo ser discretas ou contínuas) e observáveis (de evidência, podendo ser discretas ou contínuas) do modelo, respectivamente, sendo X_0 a variável inicial e E_0 a evidência inicial. As RBDs assumem que a variável temporal X_s é influenciada pela variável temporal X_t , sendo $s > t$ (isto é, a denominada proposição ou processo de

Markov), de que o estado atual depende de seu estado anterior (normalmente um processo de 1ª ordem – SANTANA et al., 2007), pois, de outra forma, novas tabelas de probabilidade teriam que ser montadas a cada fatia de tempo. Essa característica da RDB é uma vantagem sobre as árvores de falhas que não espelham a cronologia dos eventos, nem operam com vários estados possíveis de uma variável, como por exemplo, se determinada variável puder assumir configurações que não sejam somente sucesso ou fracasso.

Três tipos importantes de inferência em uma RBD são a filtragem (*filtering*), a predição (*prediction*) e a suavização (*smoothing*). Na filtragem computa-se a probabilidade de ocorrer a variável de estado X_t dado que foram observadas (e ocorreram) as variáveis de E_0 até E_t (isto é, $P(X_t|E_{0..t})$). Na predição, para um valor de $s > t$ ou $t+k$, para $k > 0$, computa-se a probabilidade de ocorrer a variável de estado X_s dado que foram observadas (e ocorreram) as variáveis de E_0 até E_t (isto é, $P(X_{t+k}|E_{0..t})$) e na suavização, computa-se a probabilidade de ocorrer a variável de estado X_k , onde $0 < k < t$ em um instante de 0 até t , dado que foram observadas (e ocorreram) as variáveis de E_0 até E_t (isto é, $P(X_k|E_{0..t})$). Normalmente, assume-se que o modelo é invariante no tempo (estacionário), ou seja, $P(X_t|X_{t-1})$ e $P(E_t|X_t)$ são os mesmos para todo t .

Como RBD's são RB's, mas em momento temporal diferenciado, os mesmos algoritmos para inferência probabilística em RB's podem ser empregados. Por questões de eficiência, geralmente emprega-se o algoritmo aproximado para inferência conhecido como *particle filtering* (RUSSELL e NORVIG, 2000), que é uma modificação da função de verossimilhança (*likelihood weighting*).

Normalmente as distribuições $P(X_t|X_{t-1})$ e $P(E_t|X_t)$ de uma RBD devem ser aprendidas a partir dos dados disponíveis, o que nem sempre é possível. Daí a necessidade de se conhecer bem a planta industrial ou o processo a ser analisado.

Da mesma forma que em uma Rede Bayesiana, conhecendo-se a estrutura da rede e sendo todas as variáveis observáveis, o aprendizado é feito pela estimação por maximização da verossimilhança. Se a estrutura é conhecida, mas existem variáveis não observáveis, utilizam-se métodos de gradiente ascendente para o aprendizado, que é um método iterativo geral para obtenção de estimadores de máxima verossimilhança em situações onde são conhecidos dados incompletos. Quando a estrutura é desconhecida empregam-se extensões do algoritmo de busca no espaço de modelos (todas as variáveis são observáveis) ou do método estruturado do gradiente (existem variáveis não observáveis), segundo FRIEDMAN *et al.*, 1998.

De acordo com RUSSELL e NORVIG (2003), o procedimento genérico para a construção de uma RB deve observar as etapas apresentadas a seguir:

- ▶ Escolha um conjunto de variáveis $(^1X_i, ^2X_i, ^3X_i, ^4X_i, \dots, ^jX_i)$, tal que $0 \leq i \leq n$, n um número natural e o número de variáveis; $0 \leq j \leq m$, sendo m um número natural e o número de possíveis instâncias ou estados de uma variável, que descreve o domínio;
- ▶ Escolha a ordenação das variáveis;
- ▶ Enquanto existirem variáveis:
 - Selecionar uma variável (^jX_i) , tal que $0 \leq i \leq n$ e $0 \leq j \leq m$, onde o par (m, n) são números naturais, e adicionar um nó na rede para ela;
 - Definir os $país(^jX_i)$ como o conjunto mínimo de nós já existentes na rede para os quais a propriedade de dependência condicional se verifique, ou seja, o conjunto dos nós cujos estados influenciam nos estados do nó (^jX_i) ;
 - Definir a TPC para (^jX_i) .

Uma vez que cada nó apenas se liga a nós definidos anteriormente, esta técnica garante que a rede seja acíclica (MATURANA, 2010).

E são as relações de dependência condicional entre as variáveis (^jX_i) que devem nortear a construção da topologia da RB. Deve-se garantir que todos os nós que influenciam diretamente (^jX_i) estejam dentro do subconjunto $(^1X_1, ^1X_2, \dots, ^1X_{i-1}, ^2X_1, ^2X_2, ^2X_3, \dots, ^2X_{i-1}, \dots, ^jX_{i-1}, \dots, ^jX_{i-1})$. Especificamente na modelagem para a análise da confiabilidade, sugere-se que o processo de construção de uma RB que represente a contento um determinado domínio, siga o procedimento apresentado por BELDFORD e COOKE, 2001 *apud* MATURANA, 2010:

- ▶ Deve-se fazer a listagem de todas as variáveis, começando com os objetivos da análise;
- ▶ Devem ser levantados todos os fatores secundários que impactam as variáveis listadas no primeiro passo (neste ponto, já é possível fazer uma análise qualitativa do impacto dos fatores levantados, observando os fatores e determinando caminhos pelos quais suas influências possam ser quebradas ou ao menos reduzidas);
- ▶ Os diferentes fatores devem ser descritos em termos precisos, porque os estados das variáveis devem ser determinados, isto é, se há somente um estado – exclusivos, ou se ocorrem mais de um estado para a variável – exaustivos;
- ▶ Construção do modelo qualitativo, estrutura DAG, pois que os fatores de influência devem ser ordenados. Frequentemente esta ordenação se dá de forma natural, como resultado do tempo ou do fluxo de informação. De forma geral, realizam-se os seguintes questionamentos: (i) O valor de 1X_1 influencia 1X_2 ? O valor de 1X_1 e 1X_2 influenciam 1X_3 ? Se sim, o conhecimento do valor de 1X_1 torna irrelevante o 1X_2 para 1X_3 ? Ou, o conhecimento de 1X_2 torna o valor de 1X_1 irrelevante para 1X_3 ? A resposta positiva a estes questionamentos determinam os arcos que devem existir entre os nós, além de influenciar no preenchimento da TPC que alimentará determinado nó. A aplicação deste procedimento no caso analisado pode ser considerada como exemplo;
- ▶ Devem ser preenchidas as TPC's. Isto geralmente é feito mediante consultando a opinião dos especialistas, quantificando as probabilidades.

Deve-se considerar a hipótese de análise da confiabilidade da opinião destes especialistas, ou ao menos um estudo sobre o conservadorismo de suas respostas.

O procedimento acima, trazido por MATURANA (2010), incorpora a ideia geral da construção das RB's.

Encerrando a fundamentação teórica, o próximo tópico traz os conceitos e definições relacionados à análise de consequências do vazamento de grânéis líquidos inflamáveis (classe 3, *IDMG Code*).

2.7. Análise de Consequências – conceitos e definições

Em situações que envolvam a manipulação de materiais perigosos, como é o caso sob estudo, e de acordo com MARTINS (2013), a realização de uma análise de risco pressupõe a análise quantitativa de consequências dos eventos perigosos identificados nas etapas iniciais da análise, como se verá no tópico 4.2, exigindo a utilização de modelos para a avaliação dos possíveis impactos da ocorrência de tais eventos, o que pode depender da distância em relação ao ponto de ocorrência dos mencionados eventos indesejáveis e perigosos.

Há diversos modelos disponíveis na literatura especializada para avaliação do processo de formação, dispersão e evaporação de poça (do produto inflamável): da dispersão de nuvem, de incêndio e explosões (modelos: carga equivalente de TNT; Multi Energy e Baker Strehlow), da emissão de radiação térmica (modelos: Chamberlain e Fonte Pontual) e da ocorrência de um BLEVE (*Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion* – modelos: proposto pela DNV; proposto pela *The Netherlands Organization of Applied Scientific Research* – TNO; e por Baker). Em relação aos outros modelos, sugere-se a leitura de MARTINS (2013).

Portanto, no que tange à Análise de Consequências, parte integrante da Análise de Risco, a ideia é levantar os eventos indesejáveis, com base nos piores cenários, associados ao processo de descarga de grânéis líquidos inflamáveis,

escolhendo um dos produtos(o mais instável) de natureza líquida, transportado pelo navio tanqueiro (para o caso em estudo), focando nas letalidades, danos causados às instalações e ao meio ambiente devidas aos efeitos da radiação térmica e/ou queima de nuvem formada a partir da liberação de material inflamável, a fim de prevenir a ocorrência de tais eventos, e, portanto, as suas consequências, apresentando medidas preventivas e mitigadoras.

Desta forma, caso o produto líquido inflamável transportado pelo NT entre em contato com uma fonte de ignição, poderá ocorrer um incêndio (como no caso do NT Vicuña – Processo 21.267/2005¹³ do Tribunal Marítimo brasileiro). Nesta situação, mesmo que não haja contato com a chama ou o fogo, poderá haver consequências indesejáveis para as instalações, as pessoas ou o meio ambiente, se não estiverem a uma distância segura, advindas da radiação térmica, dependendo, da substância liberada, das condições de liberação, da forma e da superfície total da chama, do calor gerado pela combustão, da produção de fumaça, da presença de dióxido de carbono (CO₂) e de vapor d'água que podem absorver parte do calor produzido com a combustão (MARTINS, 2013).

Os modelos disponíveis são para incêndios em jatos (*jet fire*), em poça, que pode ser incêndio em poça atrasado ou ignição tardia (*late pool fire – LPF*) ou incêndio em poça adiantado (*early pool fire – EPF*) e bolas de fogo (*fire ball*); para o caso aqui analisado, no que pertine à liberação de líquidos em navios tanqueiros, não se espera a ocorrência de uma bola de fogo. Na literatura, tais modelos são apresentados por MARTINS (2013) para o qual se remete, no que tange aos aspectos teóricos (cálculo da geometria da chama, taxa de queima, poder emissivo, fluxo de calor, etc.).

No que se refere às ferramentas para a análise das consequências, SARSHAR *et al.* (2012) informam que uma abordagem que visualiza o risco de vazamento de hidrocarbonetos em instalações petrolíferas *offshore* por intermédio da técnica ETA é factível, e tanto os autores, quanto HAUGEN *et al.* (2012) concluem que

¹³ Para maiores detalhes, acesse <https://www.mar.mil.br/tm/download/anuario/21267.PDF> . Acesso em 10.12.2013.

visualização dos riscos de segurança, como o vazamento de hidrocarbonetos, pode contribuir para aumentar a consciência de perigo potencial em uma determinada situação.

Ou seja, na visão dos autores, a inferência sobre as consequências visa contribuir para visualização dos eventos indesejáveis para a segurança, durante a execução de um processo, levando os operadores a agirem corretamente, podendo, indiretamente, levar a uma redução do número de vazamentos em instalações nas quais, as falhas, devido à intervenção humana, são altamente prováveis, e que, as ferramentas computacionais são indispensáveis para tal análise. A título de ilustração, a Figura 39, traz um diagrama apresentado por HAUGEN et al. (2012), onde os fatores que influenciam a probabilidade de ocorrência de vazamentos dos produtos transportados por um navio tanqueiro (caso aqui estudado), são discriminados sob a ótica da HRA.

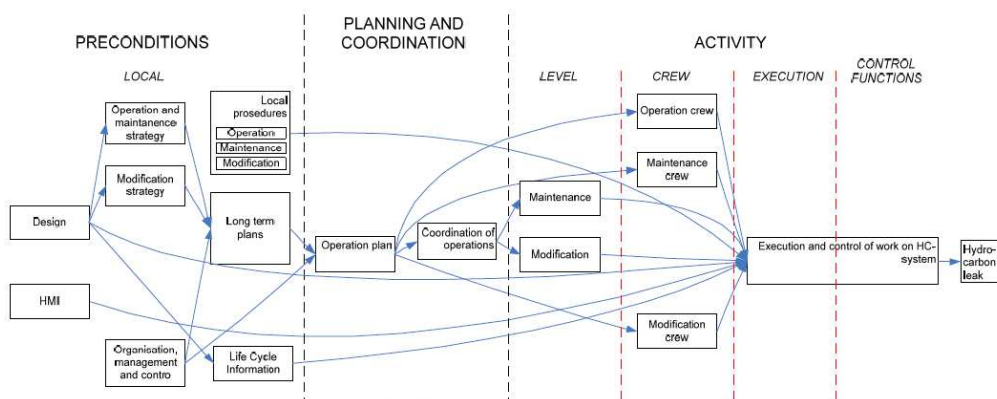


Figura 39 – Diagrama relativo aos fatores que influenciam a probabilidade de vazamentos de produtos transportados por um navio tanqueiro – extraído de HAUGEN *et al.*, 2012.

No contexto de HAUGEN *et al.* (2012), conforme informam NATACCI *et al.* (2007), em se tratando de ocorrências, quanto maior a complexidade de um sistema, maior será o número possível de falhas que este pode apresentar, em função da ocorrência de falhas dos componentes; no caso deste estudo, há dois sistemas complexos interagindo: o sistema “navio-tanque” e o sistema “terminal portuário especializado e seus tanques de armazenamento” (no caso em estudo, *inshore* – costeira e *at shore* – na costa, conforme terminologia utilizada por PONTES JUNIOR, 2014).

Para NATACCI *et al.* (2007), as falhas dos sistemas são consequências das falhas dos componentes e, as consequências podem ser classificadas em: **(a)** consequências da segurança, envolvendo possíveis danos ao sistema (ou sistemas), podendo causar efeitos adversos ou nocivos à segurança operacional do mesmo, colocando em risco pessoas e/ou o meio ambiente; **(b)** consequências operacionais, que envolvem uma perda econômica, em função da redução do desempenho operacional do sistema abaixo do mínimo esperado, incluindo nesta perda o próprio custo do reparo; **(c)** consequências não operacionais, que não afetam o desempenho do sistema em algum momento futuro, sendo associado ao mesmo um custo de reparo; e, **(d)** consequências de falhas ocultas, que não têm impacto imediato sobre o desempenho operacional do sistema, mas podem ser o evento inicializador (gatilho) para o desenvolvimento de outras falhas funcionais.

Em estudo sobre análise quantitativa de risco e comparação de terminais de descarga de Gás Natural Liquefeito, *onshore* e *offshore*, MARTINS *et al.* (2011b), informam que a modelagem do processo em relação à análise de consequências foi realizada com a versão 6.54 do *software* PHAST, da DNV, onde tais modelos matemáticos foram usados para estimar os efeitos de hipotéticos acidentes nos terminais. As distâncias de interesse foram estabelecidas de acordo com critérios para a indústria química da CETESB – Companhia de Meio Ambiente de São Paulo, levando em consideração os efeitos da radiação térmica (*jet fire*, *early pool fire* e *late pool fire*, *fire ball*), em caso da inflamação da nuvem de gás natural formada a partir de um acidente no costado do navio LNG.

Os resultados são apresentados em termos de fatalidade (vidas humanas perdidas), de dia ou de noite, nos terminais *onshore* e *offshore*, observadas as espécies de consequências listadas anteriormente. NATACCI *et al.* (2010b) e IKEDA *et al.* (2012) corroboram com a possibilidade de se realizar uma análise de consequências em sistemas navais que transportam gás natural liquefeito, por ocasião do rompimento da linha de conexão entre o navio tanqueiro e o terminal.

É perfeitamente factível adequar os procedimentos seguidos nos mencionados trabalhos que versam sobre as consequências da ocorrência de eventos catastróficos e indesejáveis em terminais LNG para a situação aqui estudada, como se verificará no Capítulo 4, após a aplicação dos *softwares* PHAST (do inglês, *Process Hazard Analysis Software Tools*) e PHAST RISK, da DNV.

O próximo capítulo trata do método desenvolvido pelo autor, a partir da combinação de métodos conhecidos, para a Análise Probabilística de Risco, via Redes Bayesianas, levando em consideração a interação entre fatores humanos e não humanos do processo de descarga dos granéis líquidos inflamáveis do navio-tanque para o terminal portuário especializado.

3. MÉTODO PARA A ANÁLISE PROBABILÍSTICA DE RISCO VIA REDES BAYESIANAS

Como visto no Capítulo 2 (item 2.4.2, p. 59), uma análise probabilística de risco (PRA) é uma atividade voltada para o desenvolvimento de estimativas quantitativas do risco, baseadas em técnicas estruturadas que têm um componente qualitativo, para promover o entendimento da combinação das frequências e das consequências de um acidente. O caso sob estudo, como se verá no Capítulo 4, é um processo resultante da interação de dois sistemas complexos (navio e porto), com uma participação e atuação maior do elemento humano que elementos não humanos (maquinário em geral). Por tudo que foi exposto ao longo do Capítulo 2, e tendo em vista o escopo deste trabalho, o emprego de Redes Bayesianas, **a princípio**, é a técnica que mais se adequa para a análise de risco quando há elementos humanos e não humanos, compondo a planta industrial, tendo em vista a natureza das variáveis envolvidas, como será mostrado nas seções deste Capítulo.

As três perguntas feitas anteriormente para a aplicação da PRA, quais sejam, (i) Quais os possíveis eventos acidentais que podem resultar na exposição aos perigos? (ii) Qual a probabilidade de ocorrência destes eventos acidentais? (iii) Quais as prováveis consequências, no modelo, caso estes eventos ocorram¹⁴? São fundamentais, como informações de entrada, tanto para realizar a HRA, quanto para determinar a confiabilidade dos demais elementos que compõe o processo sob estudo.

Este capítulo está dividido em três seções. Na primeira será feita uma descrição em termos gerais dos métodos aplicados por outros autores para responder as três perguntas que dão origem a três componentes fundamentais na avaliação do risco, como informado anteriormente: Modelagem dos Cenários do Risco, Avaliação da Probabilidade de Ocorrência dos Cenários de Risco e Avaliação das Consequências dos Cenários de Risco. A segunda seção trata da HRA em sistemas complexos, como é o caso desta dissertação, a ser abordado no próximo Capítulo, evidenciando os fatores que podem influenciar a atividade humana, bem

¹⁴ Conforme exposto no item 2.7, de acordo com SARSHAR *et al.*, 2012 e HAUGEN *et al.*, 2012.

como a interação entre eles, conforme DROGUETT e MENESES (2007), EMBREY (2013) e FIGUERÔA *et al.* (2013). Ao final, na terceira seção, são apresentadas considerações sobre o desencadeamento dos eventos de perigo pelos elementos não humanos atuantes em uma planta industrial, objeto deste estudo.

3.1. Método Desenvolvido – Descrição

O método aplicado neste trabalho propõe a utilização conjugada de métodos já existentes para a análise de confiabilidade, na linha do exposto por MARTINS (2013). Propostas de diferentes autores e diferentes técnicas que podem ser combinadas estabelecendo um método diferenciado em quatro etapas: familiarização dos sistemas que compõe a planta industrial, análise qualitativa (tal análise, neste estudo, foi realizada com o uso da PHA combinada com a composição probabilística), análise quantitativa (utilizando a ETA, FTA, a partir da composição probabilística, e uso da RB) e análises complementares. Ou seja, será efetivada uma combinação dos métodos propostos por MATURANA (2010) e MARTINS (2013) na análise da confiabilidade humana em sistemas complexos, via RB.

Na primeira etapa, deve ocorrer a familiarização dos sistemas. No caso sob estudo, a interação entre o navio-tanque e o TGL, as tubulações e os tanques de armazenamento associados, isto é, dados sobre o processo (de descarga do granel líquido inflamável), seus procedimentos e o cenário em que está inserido, foram coletados nesta fase. Na segunda etapa, a análise qualitativa deve fornecer uma visão clara do processo e das relações entre os elementos do processo, procurando estabelecer uma representação física e funcional dos sistemas ou processo. Então, constrói-se a Rede Bayesiana (RB). Em seguida, durante a análise quantitativa, incluem-se as probabilidades *a priori* dos nós raízes da RB, preenchem-se as TPC's (no caso da RB), nas quais são especificadas as relações entre os nós discretos ou, para o caso de variáveis contínuas, definem-se as funções densidade de probabilidade. Posteriormente, obtém-se a probabilidade conjunta da rede para a variável de interesse, no caso deste estudo, a descarga do produto líquido inflamável. E, por fim, são realizadas análises complementares: análise de

criticidade, análise de diferentes cenários e análise da confiabilidade condicionada (MARTINS, 2013).

No que tange à Avaliação da Confiabilidade Humana – HRA, o método específico utilizado se vale do que já foi exposto anteriormente no Capítulo 2 (ver Figura 16, p. 53), em um procedimento proposto por DROGUETT e MENESES (2007), EMBREY (2013) e FIGUERÔA *et al.* (2013), que MATURANA (2010) ilustrou com a Figura 40, muito próxima do apresentado por MARTINS (2013), de acordo com a Figura 15.

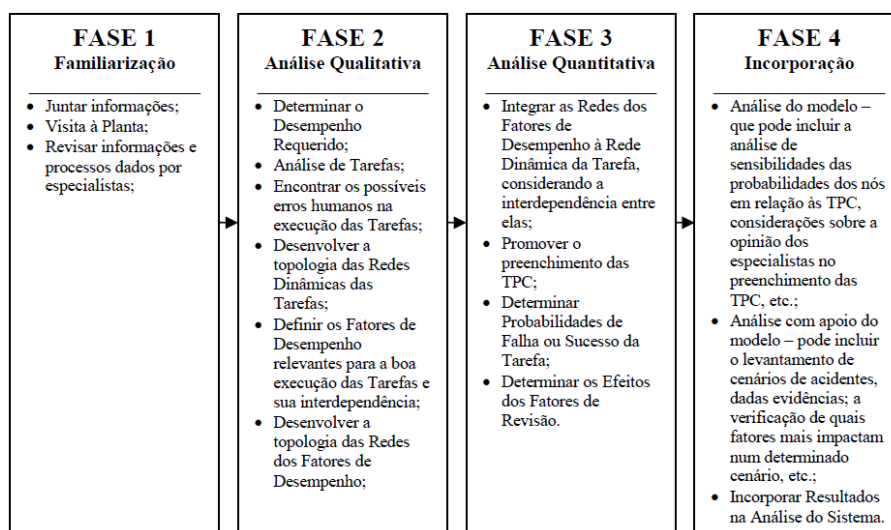


Figura 40 – Método para realização da HRA por meio das Redes Bayesianas – extraído de MATURANA (2010).

A avaliação da confiabilidade humana (HRA), como já exposto em 2.3.1, lida com o impacto dos seres humanos sobre o desempenho dos sistemas e pode ser usado para avaliar a influência de erros humanos nos sistemas, quantificando-os. Concorda-se com DOLEŽAL (2013), o qual informa a existência de uma grande variedade de métodos de HRA, dependentes da incerteza (cita a série de Taylor em métodos analíticos, simulação de Monte Carlo e o parecer dos peritos), e os descreve para concluir que a quantificação é altamente dependente da exatidão matemática, isto é, uma aproximação grosseira leva a uma quantificação grosseira.

Certo é que muitos processos contêm potencial de erro humano, especialmente quando o tempo disponível para o operador tomar decisões

impactantes é pequeno. Em alguns casos, a probabilidade relacionada ao desenvolvimento de problemas graves ou eventos catastróficos é pequena; e, em um sistema sem barreiras de proteção, indicando a inadequação do sistema, a ação humana será a única defesa para evitar a progressão do problema, no sentido de causar um acidente, a partir de uma falha inicial.

Com foco neste trabalho, que analisa o processo de descarga de grânéis líquidos inflamáveis de um navio-tanque em um terminal portuário especializado e seus tanques e tubulações associados, tendo em vista sua complexidade, utilizar-se-á, com já explicitado, um método derivado das técnicas desenvolvidas por MATURANA (2010) e MARTINS (2013), considerando a influência entre os fatores que determinam o desempenho de um operador, denominados *Performance Shaping Factors* – PSF, que serão visto no tópico a seguir. Certo é que, a análise de risco deve ser efetuada desde a concepção dos sistemas que gerarão o processo na planta industrial, definindo as funções de cada pessoa e dos equipamentos. Todavia, no caso sob estudo, a despeito de que a instalação industrial já esteja em operação, isso não inviabiliza a análise do risco, qualificando-o e quantificando-o. Ressalte-se que o fator humano sempre estará presente, operando os equipamentos e os sistemas (navio-tanque e o TGL), tomando as decisões necessárias para o bom andamento das operações, ou realizando reparos e manutenções. As tarefas físicas serão realizadas, observadas as hierarquias de tarefas, onde existem aqueles que realizam atividades de análise e tomada de decisão.

Na HRA desenvolvida neste trabalho são feitos os seguintes questionamentos, passo a passo, observado, neste caso o fluxograma da Figura 41 (ISO, 2008):

- **Definição do problema** – que tipos de envolvimento humanos devem ser investigado/avaliado?
- **Análise de tarefas** – como é que a tarefa ser executada, e que tipo de intervenções serão necessárias para melhorar o desempenho?
- **Análise de erro humano** – como pode o desempenho falhar, quais os erros que podem ocorrer, e como eles podem ser recuperados?

- **Representação** – como podem estes erros ou falhas de desempenho nas tarefas serem integrados com outro *hardware*, *software* e os eventos ambientais, para permitir a aferição da falha geral do sistema, calculando-se as probabilidades associadas?
- **Triagem** – existe algum erro ou tarefa que não é possível ou não requer uma quantificação detalhada?
- **Quantificação** – qual a probabilidade de erros individuais e falhas nas tarefas?
- **Avaliação de impacto** – que erros ou tarefas são mais importantes, ou seja, quais os que têm a maior contribuição para a confiabilidade ou risco?
- **Redução de erros** – como uma maior confiabilidade humana pode ser alcançada?
- **Documentação** – quais os detalhes do HRA que precisam ser documentados?

Na prática, o processo de HRA aqui desenvolvido procede-se passo a passo, embora, por vezes, as partes do processo sejam realizadas em paralelo (por exemplo, tarefas de análise e identificação de erro).

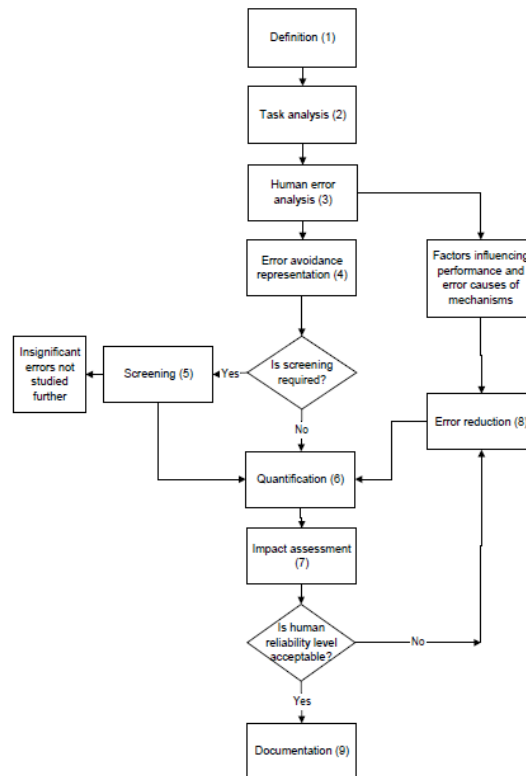


Figura 41 – Fluxograma da HRA – extraído de ISO, 2008.

Duas importantes questões a serem levantadas na aplicação dos métodos de HRA, no que tange as probabilidades de HFE, conforme informam DANG e STEMPFEL (2012), com as quais se concorda, são as correlações entre os PSF's e as interações entre os seus efeitos (interdependência). Uma abordagem de modelagem que pode resolver estas questões, segundo os autores, é a técnica de RB, corroborando com o trabalho aqui desenvolvido. E mais: é possível a utilização de um conjunto de dados artificiais, dados com propriedades conhecidas, como as informações extraídas das opiniões dos especialistas. Ponderando-se as vantagens e as desvantagens do método utilizado por MARTINS (2013) para a análise de risco na colisão de um navio, à luz da fundamentação teórica do Capítulo 2, justifica-se a escolha das RB's para o caso aqui estudado.

Ou seja, a Rede Bayesiana elaborada ao final considerará a interação entre os sistemas, subsistemas e as pessoas envolvidas no processo de descarga dos líquidos inflamáveis do navio tanqueiro, com o detalhamento da contribuição do fator humana no caso específico. MATUREANA (2010) ilustra o relacionamento dos equipamentos e do componente humano, com a Figura 42.

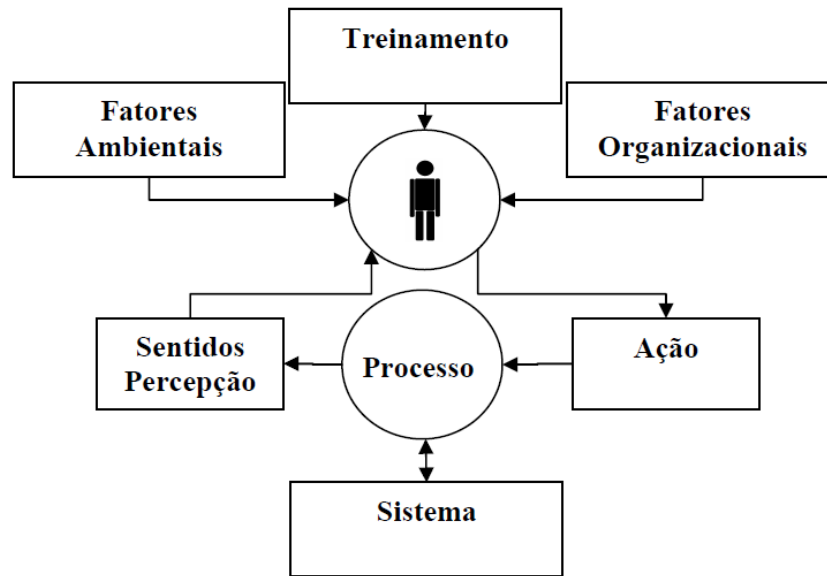


Figura 42 – Modelagem dos fatores que influenciam o desempenho humano – extraído de MATURANA (2010).

Por fim, o uso de Redes Bayesianas, tanto para análise de risco (MATURANA, 2010 e MARTINS, 2013), quanto para análise de confiabilidade (SCHLEDER, 2012), tem se mostrado uma ferramenta eficaz. Qualquer análise feita com o uso das técnicas tradicionais (ETA, FTA, etc.) pode ser feita com o emprego de Redes Bayesianas, e, além disso, em RB pode-se agregar ao modelo de análise, as relações de dependência, incertezas, múltiplas variáveis com múltiplos estados (como visto no Capítulo 2) e o conhecimento dos especialistas para a criação de estimativas quando não existirem dados estatísticos suficientes e/ou adequados, com possibilidade de correção de tal inferência, se dados futuros forem obtidos.

3.2. Fatores Humanos na operação de descarga do Navio-Tanque

A importância de se usar a HRA tem sido ilustrada por vários acidentes em que os erros humanos de forma crítica contribuíram para uma sequência de eventos catastróficos¹⁵. Tais acidentes são advertências contra as avaliações de risco que se concentram exclusivamente no *hardware* e/ou no *software* de um sistema. Eles ilustram os perigos de se ignorar a possibilidade de contribuição de erro humano.

¹⁵ Sugere-se assistir os filmes “Perfect Storm” e “K-19 The Widowmaker” para se ter uma ideia clara da sequência de tais eventos.

Além disso, a HRA é útil para realçar os erros que podem impedir a produtividade e em revelar maneiras pelas quais esses erros e outras falhas (em *hardware* e *software*), podem ser “recuperadas” pelos operadores e pelo pessoal da manutenção.

No procedimento da HRA aqui aplicado, as fases se assemelham ao informado por MARTINS (2013), havendo diferenças a partir da segunda fase, que se refere à análise qualitativa do elemento humano, incluindo a análise de tarefas (informações sobre as tarefas executadas por seres humanos no processo ou sistemas), determinação do desempenho requerido em cada atividade e o desenvolvimento de topologias das Redes Bayesianas que modelam o sistema. Na terceira etapa, fazem-se as associações de probabilidades às TPC's, conforme descritos no item 2.5.3, observado no caso sob estudo, a informação trazida pelos especialistas (experiência dos tipos de erros que ocorrem na prática e os potenciais erros). Destarte, devem ser considerados os efeitos dos eventuais fatores de revisão (quando o erro pode ser corrigido por outra pessoa, ou pelo próprio executor). A última etapa pode ser considerada a incorporação do elemento humano no estudo de confiabilidade do processo como um todo (incluindo os equipamentos). A análise de sensibilidade pode ser realizada com base no impacto das alterações dos fatores humanos ou um estudo sobre o preenchimento das TPC's (MATURANA, 2010).

Conforme foi aferido nas visitas feitas pelo autor desta dissertação à planta industrial, na realização de suas funções e tarefas, os operadores dos sistemas NT-TGL precisam utilizar os recursos materiais e humanos colocados à sua disposição pela sociedade empresária operadora dos sistemas, coletando, analisando e interpretando as informações disponíveis, com observância de suas experiências e os treinamentos que realizaram, para, então, decidirem o que deverá ser feito, a fim de que o processo de descarga seja realizado com precisão. O comportamento dos operadores de tais sistemas é pautado por regras estabelecidas em manuais (de procedimentos, equipamentos e *softwares*) e na legislação correlacionada (por exemplo, atos normativos da ANTAQ, do Ministério do Trabalho, da Diretoria de Portos e Costas da Marinha), e é preciso que o indivíduo faça a devida associação

de tais regras com a sua atividade para evitar problemas ou eventos de perigo sequenciados.

A maneira de interação com os equipamentos varia com as características da pessoa, as qualidades físicas do ambiente de trabalho, treinamento a respeito dos sistemas a serem operados, fatores organizacionais, tais como horas de trabalho, local e ambiente de trabalho, e outras atitudes determinadas pela cultura organizacional (LIN *et al.* 2012). Os operadores e a equipe de apoio da manutenção e reparo podem, ainda, compartilhar as mesmas características do perfil psicográfico, como idade, condição econômica-social, treinamento realizado, experiência profissional, capacidade técnica, carisma, liderança, e outros, de forma que as ações sejam previsíveis com dado perfil.

Na operação de descarga de um navio-tanque contendo granéis líquidos inflamáveis em um terminal portuário especializado, com o produto atravessando tubulações até os tanques de armazenamento, há diferentes formas de realizar a mencionada operação, dependendo das características do navio e das características do terminal, e, neste ponto, se o terminal é *onshore* ou *offshore* (PONTE JUNIOR, 2014). Também os equipamentos e instalações devem ser levados em consideração, interferindo nos recursos humanos que operam os sistemas e que irão tomar as decisões. Além disso, as equipes de terra (TGL) e de mar (NT) deverão ter uma necessária sincronização de tarefas e atividades, a fim de evitar eventos perigosos, que devido a carga transportada pelo navio, em caso de acidente, poderá se transformar em evento catastrófico.

Desta forma, o levantamento das características do processo e dos sistemas associados, o perfil dos operadores, os fatores de modelagem (ou forma) de desempenho, as atividades cognitivas realizadas, os possíveis erros e consequências, são imprescindíveis para a HRA e foi utilizado nesta dissertação. Com tais informações, segundo MATURANA (2010) e MARTINS (2013), é possível levantar os fatores (PSF) que influenciam ou que mais influenciam cada operador. O desenvolvimento de um modelo genérico de influência que incorpore os PSF mais

significativos na operação do processo sob estudo é muito útil no caso de sistemas complexos, tal qual um sistema ferroviário, como informam MILIUS *et al.* (2013).

O diagrama da Figura 43 traz o modelo genérico a ser aplicado no estudo do caso (MATURANA, 2010). Este modelo representa a influência entre os fatores que determinam o desempenho de um operador (PSF). Foram considerados para a sua construção quatro grupos de fatores: (1) Fatores Organizacionais e de Gestão – MOF (do inglês *Management and Organizational Factor*); (2) Fatores Internos (ao operador, como fadiga, inteligência, motivação, etc.); (3) Fatores Ambientais (temperatura, luminosidade, ruído, etc.); (4) Habilidades Requeridas (para a execução das tarefas). O detalhamento dos fatores é feito nas subseções mais adiante.

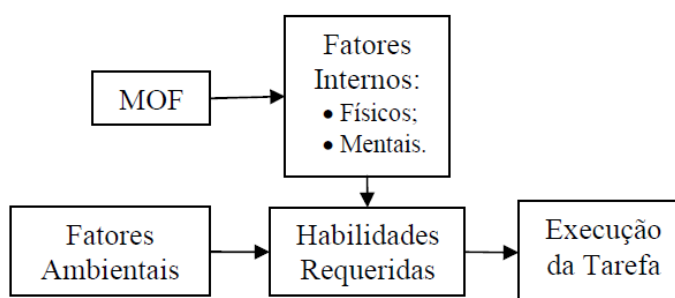


Figura 43 – Rede Genérica para Fatores de Desempenho – extraído de MATURANA (2010).

Neste diagrama, conforme informa MATURANA (2010), considerou-se que a execução da tarefa depende da situação das habilidades requeridas do operador. E que os estados destas habilidades dependerão dos fatores ambientais e dos fatores internos do operador. Isto é, considerou-se que os fatores ambientais atrapalham a execução da tarefa (relacionado aos sentidos do operador, por exemplo), e que os fatores internos influenciam no desempenho do operador (motivação, por exemplo), de sorte que, tais fatores, tornam indisponíveis as habilidades necessárias para que o operador realize a tarefa.

Como observado na Figura 43, os fatores externos ao operador foram divididos entre os MOF e os fatores ambientais. Considerou-se que os fatores relativos ao treinamento, à organização e à gestão (ou gerenciais), agrupados nos MOF,

influenciam diretamente os fatores físicos e mentais (incluindo os relativos à memória), ou seja, assumiu-se, por simplicidade, que quando o operador inicia a realização de determinada tarefa, os MOF já estão previamente definidos, e que o único grupo de fatores que o operador traz, por ocasião da realização da tarefa, passíveis de mudança de estado, são os fatores internos. Assim, as influências dos MOF ocorrem durante a atuação do operador no processo ou/e sistemas, e não em uma tarefa específica. Porém, os fatores ambientais estão presentes durante a realização das tarefas (MATURANA, 2010).

Na sequência serão abordados os fatores entabulados no diagrama da Figura 43, baseando-se em MATURANA (2010) e MARTINS (2013).

3.2.1. Fatores Organizacionais e de Gestão – MOF

No caso das sociedades empresárias prestadoras de serviço de transporte marítimo de produtos inflamáveis e das concessionárias de serviços portuários e de logística, que realizam as operações do processo sob estudo, as equipes de mar e de terra são fortemente influenciadas pelas políticas governamentais e empresariais, pelos procedimentos e rotinas das empresas, pela decisão dos gestores empresariais e públicos, dentre outros fatores. Para cumprir não só as regulamentações da IMO, da ANTAQ, do Ministério do Trabalho, da Diretoria de Portos e Costas, das entidades ambientais locais, regionais e federal (IBAMA), da ANP, os operadores do NT e do TGL devem levar em conta os fatores organizacionais e de gestão ou de gerenciamento, elaborando um Sistema de Gerenciamento de Segurança – SMS (do inglês *Safety Management System*), combinando os fatores associados. Fatores que envolvam grandes riscos precisam ser identificados e ações de mitigação e de contingência devem ser adotadas para estes fatores. De acordo com a IMO (2002b), mencionado por MATURANA (2010) e MARTINS (2013), os principais MOF envolvidos na operação de um navio são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Fatores Organizacionais e de Gestão ou Gerenciais – extraído de MATURANA (2010).

| | |
|----------|---|
| A | Carga de Trabalho |
| B | Formalização ou Padronização das rotinas de trabalho |
| C | Coordenação do Trabalho |
| D | Cultura Organizacional |
| E | Prêmios, reconhecimentos e benefícios salariais |
| F | Recursos Físicos |
| G | Qualidade de Vida |
| H | Avaliação do Rendimento Laboral (eficácia) |
| I | Programas de Atividades da Empresa |
| J | Seleção de Recursos Humanos |
| K | Rotatividade de Pessoal |
| L | Programas de Treinamento e Desenvolvimento da Empresa |
| M | Atitudes dos Chefes, Sindicatos, Entidades Governamentais, etc. |
| N | Tempo |
| O | Aprendizado Organizacional |
| P | Comunicação Oral e/ou Escrita |

Considerou-se que esses MOF também serão aplicados ao TGL, haja vista que, para a IMO (2002b), a segurança do navio e a proteção ao meio ambiente, é de responsabilidade da equipe de terra da “Companhia”. Neste caso, “Companhia”, para a IMO (2002b) é o proprietário do navio ou qualquer outra organização ou pessoa, como o gerente, ou o afretador a casco nu, que tenha assumido a responsabilidade pela operação do navio do armador e que, ao assumir tal responsabilidade, se comprometeu a assumir todos os direitos e obrigações impostos pelo ISM Code¹⁶. E o TGL, como se verá adiante, se enquadra no contexto do termo “Companhia”.

As relações entre os MOF apresentados e os fatores internos são relacionadas na subseção que se segue.

¹⁶ Informações da Parte A, item 1.1.2 do **Código Internacional da Gestão da Segurança**, de 2002, lançado pela IMO a fim de garantir a operação segura de navios e para a prevenção da poluição no mar (parte em negrito do inglês, *International Safety Management Code*).

3.2.2. Fatores Internos

Os PSF apresentados na Tabela 15, estão de acordo com o método de MATURANA (2010). Dentro do que já foi exposto para os MOF, aplicar-se-á os fatores internos para o TGL. No modelo proposto da Figura 43, os fatores internos estão relacionados aos MOF listados na Tabela 14. A correlação se baseou na análise feita pelo autor deste trabalho, com base nas respostas aos questionamentos apresentados aos operadores de um sistema NT – TGL, objeto deste estudo, considerando os MOF mais influentes para cada fator interno. Por exemplo, dada as condições insalubres e perigosas da planta visitada, o MOF de Qualidade de Vida para este trabalho foi definido em 50% (cinquenta por cento)¹⁷ em relação um ambiente sadio e saudável. Se o ambiente não é insalubre e não é perigoso, adotou-se como 100% sadio e saudável, para fins de cálculo nas TPC's.

Difere da situação de colisão de um navio, como abordado por MATURANA (2010), como por exemplo, a atracação; a descarga para os tanques de armazenamento; a equipe de terra; a possibilidade de mudança climática afetar em diversas etapas, desde a programação do navio tanqueiro até a sua desatracação. Não há qualquer similaridade do caso concreto desta dissertação com o apresentado por MATURANA (2010) e MARTINS (2013).

¹⁷ Os operadores do NT e do TGL atuam em ambiente insalubre (ver NR 15 do Ministério do Trabalho) e em ambiente perigoso (ver NR 16 do Ministério do Trabalho); pela insalubridade, os trabalhadores do País, podem receber um adicional de 10% (grau mínimo) ou 20% (grau médio) ou de 40% (grau máximo); pela periculosidade podem receber 30%. Os adicionais, no contexto legal atual, não são cumulativos, mas isso não elide a situação existente no caso concreto estudado. Desta forma, o autor adotou, sob o contexto trabalhista do País, a combinação do grau médio de insalubridade com o grau de periculosidade, que sobre a mesma base remuneratória, dá 50% (cinquenta por cento).

Tabela 15 – Fatores Internos correlacionados aos MOF – adaptado de MATURANA (2010).

| Físicos | | MOF Relacionado | Mentais | | MOF Relacionado |
|------------------------------|--|-------------------|----------------|--|-----------------|
| 1 | Fadiga | A,B,G,H,M | 15 | Estado Emocional | A,C,E,F,G,H,I,M |
| 2 | Dor e Desconforto | A,B,F,M | 16 | Velocidade de Realização da Tarefa | B,C,F,H,M |
| 3 | Falta de Exercícios Físicos | A,D,I,G,M | 17 | Criticidade da Tarefa | J,L,O |
| 4 | Qualidade do Sono | A,C,G,M | 18 | Atitudes baseadas na influência de grupos ou de outras pessoas | B,C,D,H,I,J,M,P |
| 5 | Condição Física (Orgânica) | A,B,F,G,J | | | |
| Relativos ao Estresse | | | 19 | Identificação com a Equipe | C,D,I,J,K,L,M |
| 6 | Duração do Estresse | A,B,C,D,F,G,L,M,P | 20 | Personalidade e Inteligência | D,J |
| 7 | Velocidade da tarefa | A,B,C,F,H,M | 21 | Motivação e Atitude | A,C,D,E,F,G,H,I |
| 8 | Riscos na Execução da Tarefa | A,C,D,H,O | | | |
| 9 | Tratamento Dispensado à falha (perda do emprego, p.ex.) | D,H | Memória | | |
| 10 | Trabalho monótono | B,C,I,J,M | 22 | Conhecimento das Normas | B,J,L |
| 11 | Longos períodos sem ação | A,B,C,K,M | 23 | Experiência e Treinamento | B,D,J,K,L |
| 12 | Distrações | C,G,J,L,M,N | 24 | Habilidade | H,J,L |
| 13 | Falta de Avisos | C,D,O | 25 | Controle Motor | J,K,L |
| 14 | Conflitos a respeito dos motivos para obtenção do melhor resultado | C,E,G,H,I,L,M,N | 26 | Estado atual da Prática (Memória) | C,K,L,M |

Ressalta-se que a correlação entre os MOF e os Fatores Internos foi considerada como válida, tanto para o NT quanto para o TGL, durante o processo de descarga sob estudo, a fim de simplificar a análise, sem perda da ideia do estudo proposto. Além disso, nem todos os MOF foram correlacionados aos Fatores Internos, levando em consideração um operador genérico em cada tarefa a ser realizada. Por óbvio, considera-se as características do operador antes de definir quais MOF devem ser adicionados às Redes Bayesianas a serem desenvolvidas neste trabalho.

As inter-relações entre os fatores internos serão abordadas no Capítulo 4.

3.2.3. Fatores Ambientais

Os fatores ambientais que podem influenciar no processo de descarga do estudo do caso, estão listados na Tabela 16. Da mesma forma do que foi considerado para os MOF, aplicar-se-á os fatores ambientais tanto para o TGL, quanto para o NT, como por exemplo, ruídos, temperatura, ondas (neste estudo, de elevada importância). Tais fatores foram levantados e constatados durante várias visitas realizadas pelo autor à instalação industrial paradigma, a ser detalhada no Capítulo 4. Foram especificados tanto os fatores relativos ao clima em área costeira e portuária, desde o ponto de fundeio para aproximação do NT, até a sua desatracação, em movimento para nova derrota. O ambiente interno do navio foi levado em consideração, tendo em vista as observações de MATURANA (2010).

Os fatores ambientais estão listados por ordem de significância ou de ocorrência. Considera-se também que em cada tarefa realizada pelo elemento humano pode haver a presença de um ou mais fatores ambientais. Para o modelo tratado neste trabalho, os fatores ambientais foram correlacionados às habilidades, dispostos na Tabela 17, exigidas em operações de navios e de portos, considerando o quanto podem influenciar os estados de tais variáveis. Um ponto a ser ressaltado no tratamento da correlação destas variáveis: a RB permite a consideração de dependências "não modeláveis" em uma árvore de falhas (FTA) ou em uma árvore de eventos (ETA).

Tabela 16 – Fatores Ambientais presentes na interação NT – TGL – adaptado de MATURANA (2010).

| | |
|----------------|-------------------------|
| λ_1 | Temperatura |
| λ_2 | Umidade |
| λ_3 | Composição do Ar |
| λ_4 | Luminosidade |
| λ_5 | Ruído |
| λ_6 | Vibração |
| λ_7 | Limpeza |
| λ_8 | Visibilidade |
| λ_9 | Correnteza (velocidade) |
| λ_{10} | Tempestades |
| λ_{11} | Ventos |
| λ_{12} | Ondas |
| λ_{13} | Amplitude da Maré |

3.2.4. Lista de Habilidades

As principais habilidades tratadas no caso sob estudo, com observância do que foi apresentado por MATURANA (2010), estão dispostas na Tabela 17. Na linha de entendimento do que já foi exposto para os MOF, aplicar-se-á a lista de habilidades também para a equipe do TGL. Foram consideradas as tarefas realizadas pelas equipes de terra (TGL) e de mar (NT) relacionadas ao evento de não descarga dos produtos líquidos inflamáveis.

Por exemplo, na atividade da equipe de terra (TGL) em colocar as espias de amarração no cabeço, em equivalência à atividade da equipe do navio (NT) em liberar as espias de amarração através do cabrestante (ou alá-las no cabeço do

convés), se extraem as habilidades concentração, resistência física, liderança e motricidade.

Tabela 17 – Habilidades relacionadas aos operadores que realizam o processo de descarga – adaptado de MATURANA (2010).

| Descrição | | PSF Relacionados | |
|-----------|-----------------------------------|---|---------------------|
| | | Internos | Ambientais |
| I | Interpretações | 1,2,3,4,5,6,7,11,12,16,20,21 | Todos |
| II | Cálculos | 1,2,3,4,5,6,7,16,20,21,24,26 | Todos |
| III | Concentração | 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,20,21 | Todos |
| IV | Conhecimento dos procedimentos | 20,22,26 | Todos ¹⁸ |
| V | Memória de longo e de curto prazo | 13,15,23,26 | Todos |
| VI | Resistência Física | 1,2,3,4,5,6,7,11,15,16,21 | Todos |
| VII | Motricidade | 1,2,3,4,5,6,11,15,20,23,24,25,26 | Todos |
| VIII | Equipe e Comunicação | 8,9,14,15,16,18,19,20,21,24 | Todos |
| IX | Frequência e Repetitividade | 6,7,10,11,16,24 | Todos |
| X | Percepção | 1,2,3,4,5,6,15,20,21 | Todos |
| XI | Planejamento | 6,7,9,15,16,20,24 | Todos |
| XII | Liderança | 9,15,17,19,20,21,24 | Todos |
| XIII | Criatividade | 8,9,10,15,16,20,21 | Todos |
| XIV | Flexibilidade | 9,15,16,19,20,21 | Todos |
| XV | Empatia | 14,15,19,20,21 | Todos |

De acordo com o exposto na Figura 43, a Tabela 17 correlaciona os fatores internos (representados por números – ver Tabela 15) e os fatores ambientais que, no âmbito da interação entre o sistema navio (NT) e o sistema porto (TGL), podem afetar as habilidades listadas. Esta associação foi realizada de acordo com o julgamento do autor desta dissertação, levando em consideração a análise das tarefas, de acordo com os questionamentos feitos aos operadores da instalação industrial visitada.

¹⁸ Em um primeiro momento, é possível indagar que não há influência de todos os fatores ambientais nas habilidades. Mas isso não é crível. Além de se tratar de questão de natureza subjetiva, pode-se considerar questões relacionadas à experiência. A título de exemplo, como se sabe, se o operador não tiver conhecimento dos procedimentos e a necessária experiência, ele não saberá discernir sobre a prática a ser adotada na navegação marítima, em situação de neblina espessa.

Na Tabela 17 considerou-se que todos os fatores ambientais, listados na Tabela 16, interferem, de alguma forma, nas habilidades listadas. Na construção da Rede Bayesiana, esses fatores serão reavaliados quanto à sua significância e presença, já que a listagem se refere tanto ao NT, quanto ao TGL.

As habilidades podem ser afetadas direta ou indiretamente pelos fatores internos. Todavia, na linha do proposto por MATURANA (2010), optou-se, por simplicidade e sem perda de generalidade, de considerar tão-somente os fatores internos que afetam diretamente as habilidades.

Além disso, um acidente pode estar relacionado às atividades ou tarefas realizadas no porto ou no navio. A combinação ou uma sequência de falhas deve levar ao evento de não descarga ou até a algum evento catastrófico, como incêndio ou colisão. Para se montar a RB devem ser definidos os possíveis estados para cada habilidade, PSF e MOF's. O item 4.4.4 e o Apêndice D elucidam essa situação. A seguir serão apresentados os fatores não humanos que afetam o processo de descarga do NT no TGL.

3.3. Fatores Não Humanos no processo de descarga do Navio-Tanque

Já foi dito que um acidente é um evento catastrófico, instantâneo ou contínuo, cuja ocorrência impacta de forma profunda no funcionamento de uma instalação industrial, como é o caso tratado neste trabalho. Há fatores humanos, como visto anteriormente, e há também acidentes provocados por uma série de fatores não humanos ou antrópicos, dentre os quais, a título exemplificativo, raios (e o Brasil é o País que mais foi atingido por raios nos últimos anos¹⁹), *tsunamis* (e em regiões costeiras é de extrema relevância), terremotos, epidemias, inundações, furacões, erupções vulcânicas, explosões e incêndios não provocados por seres humanos (por exemplo, por incidência de raios solares), meteoros e meteoritos, ataque de animais e contaminações (PONTE JUNIOR, 2014). Há ainda os eventos de perigo

¹⁹ De acordo com reportagem da revista Superinteressante em <http://super.abril.com.br/cotidiano/brasil-pais-100-milhoes-raios-441018.shtml>. Acesso em 17.01.2014.
Aplicação de Redes Bayesianas na Análise de Risco do processo de descarga do navio-tanque em um terminal portuário especializado

provocados pelo mau funcionamento dos equipamentos e dos programas de computador associados ao processo ou aos sistemas.

Um exemplo de situação de falha não humana associada ao navio tanqueiro está relatada no acordão do Processo 21.267/2005²⁰ do Tribunal Marítimo brasileiro, onde as perícias concluíram que a falha se originou no interior do navio, provável tanque C37 do NT VICUÑA, sem contato humano, cujo acidente catastrófico ocorreu no TGL de Paranaguá – PR, Brasil, em 15.11.2004, às 19hs42min, com a perda total do navio, quatro vítimas fatais e derramamento de óleo no mar.

Na análise probabilística de risco de sistemas complexos, como informa MARTINS (2013), citando outros autores, é imprescindível aferir o risco observando a interação homem-máquina, e, portanto, considera-se o elemento humano, o software e o hardware na mensuração do risco.

HOLLNAGEL (2007) afirma que, muito embora os modelos de sistemas se baseiem em uma separação dos seres humanos e das máquinas, há, no entanto, boas razões para questionar a qualidade desta abordagem. Segundo o autor, há um número crescente de sistemas “biônicos” onde é menos clara esta distinção. Em segundo lugar, existem algumas limitações fundamentais com a visão decomposta de homem-máquina, que se transformaram em grandes obstáculos para a pesquisa e desenvolvimento. Por fim, a estrutura do sistema é considerada, na maioria dos casos, menos importante que a função, que não é de fácil decomposição. A Figura 44 retrata a visão do autor.

²⁰ Para maiores detalhes, acesse <https://www.mar.mil.br/tm/download/anuario/21267.PDF> . Acesso em 10.12.2013.

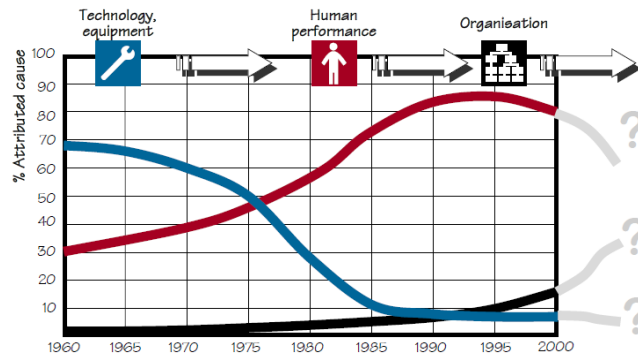


Figura 44 – Mudança de ênfase nos tipos de causas de acidentes – extraído de HOLLNAGEL, 2007.

Os fatores humanos e não humanos, no caso estudado, serão correlacionados entre si, com base no que foi observado pelo autor, em visitas técnicas a instalação industrial, das informações obtidas junto aos operadores e nos manuais das Cias. envolvidas. Ressalta-se que, conforme será visto no Capítulo 4, há uma forte atuação do elemento humano na interação entre os dois sistemas sob análise: o terminal portuário especializado e o navio-tanque, o que se traduz em uma especial atenção à análise da confiabilidade humana, com a observância dos fatores internos e externos no desempenho dos operadores.

4. APLICAÇÃO AO ESTUDO DO PROCESSO DE DESCARGA

O estudo desenvolvido neste trabalho tem por objetivo verificar a aplicabilidade do método definido na seção anterior, evidenciando as vantagens do emprego das Redes Bayesianas, técnica de análise indutiva, e a aplicabilidade da mesma para a modelagem e quantificação do risco dos fatores humano e não humano (fenômenos da natureza, *hardware* e *software*) em processos e sistemas complexos, cujo objeto de análise é o processo de descarga de granéis líquidos inflamáveis realizado em uma instalação industrial, onde há uma interação direta entre dois sistemas complexos: o navio que transporta o mencionado produto (Navio-Tanque – NT, conforme a Figura 45(a)) e o Terminal Portuário Especializado, suas tubulações e tanques de armazenamento (Terminal de Granéis Líquidos – TGL, conforme a Figura 45(b)).



Figura 45 – (a) Navio-Tanque (OGX); Figura 45 – (b) Terminal de Granéis Líquidos (e Gasosos – à direita – CODEBA).

De forma geral, procurou-se seguir o método proposto no Capítulo 3 para a efetivação da PRA, de acordo com a Figura 17, que mostra as etapas do FSA, com o intuito de concluir a 2ª etapa, que é a análise quantitativa do risco associado ao processo sob estudo.

E, com o propósito de apresentar o caso estudado, este Capítulo contempla quatro subseções. Na primeira, será descrito o processo em estudo, com a identificação da planta industrial que contempla o processo, suas características,

buscando a familiarização dos sistemas (navio-porto). Então, no segundo tópico, realizar-se-á a Análise Preliminar de Perigos (PHA) para o processo considerado, com o estabelecimento do ranqueamento da opinião dos especialistas em uma distribuição de probabilidades²¹. Na sequência, serão apresentadas as Árvores de Falhas e de Eventos para o processo sob estudo, com o cálculo da probabilidade de ocorrência do evento-topo, conforme se verá na terceira subseção. Por fim, no quarto tópico, converteu-se a Árvores de Falhas, com o apoio da Árvore de Eventos, em Redes Bayesianas e também foi feita a geração de outra RB (unida à anterior) para as tarefas associadas aos eventos básicos da Árvore de Falhas, de sorte que, a RB contemple os fatores de desempenho para cada atividade das tarefas com o elemento humano. Com o conhecimento da topologia destas redes, foi feita uma nova consulta aos especialistas, a fim de balizar o preenchimento das TPC das Redes Bayesianas para as atividades desempenhadas no processo, observada a interação entre os sistemas navio e porto, conforme o método exposto no Capítulo 3.

Por fim, ainda na quarta subseção deste Capítulo, será feita a análise de consequências, parte integrante da análise de riscos, onde o que se pretende, é aferir os efeitos da radiação térmica e/ou da queima de nuvem formada a partir da liberação de material inflamável, ocasionados pela ocorrência dos perigos associados ao processo de descarga de granéis líquidos inflamáveis do navio-tanque para o terminal portuário especializado, sobre as pessoas, as instalações e o meio-ambiente, com a observância da vulnerabilidade do processo em estudo.

Em relação à análise do modelo, foi desenvolvido o próximo Capítulo, com as considerações pertinentes, comparando-se as técnicas quantitativas de análise de risco.

Conforme dito anteriormente, para o trabalho com as Redes Bayesianas, foi utilizado o programa NETICA™ da *NORSYS SOFTWARE CORP.*, colocado à disposição pelo LabRisco-USP. Desta forma, todas as figuras representando as redes e as tabelas associadas às redes foram obtidas por meio deste programa.

²¹ Um detalhe: o Apêndice B traz a PHA em um primeiro momento, qual seja, sem a aplicação da técnica de composição probabilística.

Com o uso dos *softwares* PHAST e/ou PHAST RISK, ambos desenvolvidos pela DNV (com explicações detalhadas mais adiante), será realizada a análise de consequências do processo em questão.

4.1. As etapas do processo de descarga do Navio-Tanque no TGL – Descrição do Processo e dos Sistemas

O estudo tem por base um caso concreto, sem perda de generalização. Trata-se de analisar e quantificar os riscos, de forma preliminar, associados ao processo de descarga de granéis líquidos inflamáveis entre um sistema naval (navio-tanque) e um sistema portuário, representado no caso, por um terminal de descarregamento de granéis líquidos em uma área industrial de uma Cia. que tem a concessão do terminal, por intermédio da ANTAQ e da UNIÃO, nos arredores da Cidade de Vitória/ES – Brasil, que está situado, perpendicularmente, entre dois superterminais portuários de carregamento de minério de ferro, ou seja, paralelo à linha d'água²².

O Terminal em questão é constituído de dois berços (com calado de aproximadamente 11,35 metros), sendo um píer tipo T-JET – TGL (Píer 5 com 124,5 metros de comprimento) localizado entre o Píer-1 Norte e o Píer-2, e um cais, Píer das Barcaças – extensão do cais dos rebocadores, ambos sob administração da Cia. Concessionária, situados na parte norte da baía de Vitória, Estado do Espírito Santo, sendo que o terminal é operado por uma segunda empresa, que é prestadora de serviços de transporte marítimos de produtos líquidos derivados de petróleo e etanol, fiscalizada pela ANTAQ e pela Marinha do Brasil, sendo que, a armazenagem dos produtos é feita em tanques de uma terceira empresa, distribuidora dos granéis líquidos inflamáveis para os postos de combustíveis, fiscalizadas pela ANP. Todas as empresas são fiscalizadas pelas entidades ambientais (em especial pelo IBAMA) e pelo Ministério do Trabalho.

O Terminal opera com navios-tanque (que descarregam, mas podem carregar. A regra é descarregar, derivados de petróleo: óleo diesel, óleo diesel marítimo, óleo

²² Todas as informações e dados foram fornecidos pela Cia. concessionária do TGL e a Cia. Transportadora e são de domínio público. O autor reserva-se no direito de não apresentar seus nomes empresariais e o nome das pessoas físicas.

MF380²³ e gasolina, e álcool anidro combustível), barcaças (que carregam MGO – óleo de gás marinho – para suprir a demanda portuária local ou da bacia do Espírito Santo) e embarcações de apoio marítimo que eventualmente se abastecem de óleo combustível no terminal.

A movimentação de derivados de petróleo visa, por meio de cabotagem, atender à demanda local de gasolina e diesel automotivo (BR, Shell, Texaco, etc.), de óleos combustíveis – OC's – para abastecer a indústria local, de MGO e MFO – óleo combustível naval ou marítimo – entregues a navios por meio de barcaças (ou via *pipe line*²⁴ quando atracados no TGL).

A Cia. Concessionária do Terminal atua na programação dos navios tanqueiros para atracação e operação com os derivados de petróleo e etanol em operações de cabotagem e/ou de longo curso, havendo um engenheiro-supervisor de toda a planta industrial, e a Cia. Transportadora marítima na conexão e desconexão de mangotes, bem como na transferência, por tubulação, dos produtos entre o píer TGL e as instalações da própria Cia. Transportadora ou da Cia. Distribuidora dos combustíveis para os postos do ES. Em média, o NT leva de 24 a 36 horas para descarregar.

O Terminal de Granéis Líquidos – TGL, é mostrado conforme a Figura 46.

²³ Espécie de óleo combustível marítimo. Líquido viscoso de cor escura com odor característico de hidrocarbonetos e sem material em suspensão. Há incompatibilidades químicas com outros produtos químicos. Ponto de fulgor < 60°C.

²⁴ Tubulações fixas



Figura 46 – Vista aérea do Terminal de Granéis Líquidos objeto do estudo – TGL (adaptado do GOOGLE Earth).

Suas coordenadas médias são $20^{\circ} 17' 35''$ S e $40^{\circ} 14' 51''$ W. A Figura 47, traduz melhor, de forma gráfica, a posição do TGL, da tubulação e dos tanques de combustíveis.



Figura 47 – Vista aérea do TGL, da tubulação e dos tanques de combustíveis (Adaptado do Google Earth).

E a Figura 48, nos traduz graficamente o posicionamento do TGL em relação à Cidade de Vitória/ES.



Figura 48 – Vista aérea do TGL em relação à Cidade de Vitória/ES (Adaptado do Google Earth).

O Terminal em questão, segundo informações do livro referência (TRANSPETRO, 2012) possui um conjunto de medidas de proteção de segurança empresarial aplicáveis aos navios e às instalações portuárias, nos termos das exigências da IMO, mediante adoção do código ISPS (*International Ship and Port Facility Security Code*). O TGL opera em nível 1 de segurança. Para maiores informações sobre a aplicação do ISPS em caso concreto e a sua importância, sugere-se KONGSVIK e STØRKERSEN (2013); BATALDEN e SYDNES (2013).

A movimentação e descarga dos combustíveis no TGL envolve diversos procedimentos, que, para fins do estudo, podem ser divididos em cinco etapas, quais sejam: (i) programação e chegada do navio-tanque; (ii) preparação do pessoal do porto (TGL) para a atracação do navio-tanque; (iii) atracação do navio-tanque; (iv) movimentação dos equipamentos e descarga no terminal; (v) desatracação do navio-tanque.

Na programação e chegada do navio, a Cia. Transportadora informa a Cia. Concessionária do terminal a programação dos navios que transportam os combustíveis, qual o combustível a ser descarregado, cabendo à Cia.

Concessionária a validação de tal programação por meio da análise da disponibilidade do TGL para a operação. Aqui é importante ressaltar que a identificação do tipo de NT é crucial e é aferido tanto pela Cia. Transportadora quanto pela Cia. Concessionária, tendo em vista as dimensões do NT em relação ao TGL e o tipo de combustível a ser descarregado.

Uma vez confirmada a disponibilidade do berço, são analisadas as condições oceanográficas, técnicas e meteorológicas (condições do mar, calado do navio, tipo de navio, produto a ser descarregado, condições do tempo, ventos, etc.) a fim de determinar a possibilidade de realização da manobra de atracação com segurança. Obtidas as validações inerentes às análises em questão, a Cia. Concessionária, então, autoriza a Cia. Transportadora a programar Prático (Normam-12, item 0404) para a realização da manobra, iniciando-se, destarte, a fase de preparação do pessoal do porto (TGL) para a atracação do navio-tanque. As condições meteorológicas e de mar podem mudar em qualquer etapa, se tornando um evento indesejável.

O pessoal da Cia. Transportadora e da Cia. Concessionária do terminal ficam em *standby* para receber o navio-tanque, testando e conferindo os equipamentos necessários para a atracação, observadas as normas da IMO sobre o assunto, da ANTAQ, da Capitania dos Portos, das entidades ambientais e do Ministério do Trabalho.

Na fase de atracação, a Cia. Transportadora e seus agentes marítimos nomeados providenciam a contratação de Prático e rebocadores, inexistindo qualquer intervenção da Cia. Concessionária neste proceder, a não ser de fiscalização – tal prática é aplicável ao TGL e a todos os demais terminais no entorno da área onde está localizado o TGL. O oficial de Náutica do NT é o responsável pela condução do mesmo, tomando a decisão de manobra, com as sugestões do Prático, observada a possível interferência do Comandante do NT, em caso de detecção de erro. A decisão do Oficial de Náutica também é influenciada pela atuação de outros membros da tripulação e até do TGL.

A Cia. Concessionária do terminal, nesta etapa, atua na amarração do navio-tanque, isto é, no recebimento dos cabos do navio e sua colocação nos cabeços em terra (porto), permitindo, assim, que o navio-tanque permaneça atracado em segurança e que as operações possam ser realizadas com eficiência e segurança, pelo menos em teoria. Nesta etapa, atua uma equipe de amarradores composta por, pelo menos, oito trabalhadores.

A aproximação do navio-tanque do TGL é realizada através de canal balizado, com quatro pares de boias e uma bacia de evolução, totalizando uma extensão de 4.400 metros. O comprimento do canal é de 3.800 metros, com uma largura de 285 metros, com profundidade dragada de 22,5 metros (ano 2000) e 25 metros (ano de 2013), podendo os píers-1 e 2 receberem os navios VALEMAX de 400.000 toneladas. Quando ocorre esta situação, não é possível a atracação de navios tanqueiros no cais do TGL. A bacia de evolução para atracação é de 300 metros de raio e 17,1 metros de profundidade, centrada na posição latitude 20° 17' 30"S e longitude 40° 15' 03"W. Não existem equipamentos no cais para auxiliar nas manobras de aproximação. O navio-tanque pode (e deve) utilizar seu Sistema de Posicionamento Dinâmico, apesar dos rebocadores.

As restrições do canal são, 23 metros para calado máximo (ano 2013) + altura da maré no momento, com calado máximo para giro do navio de 15,5 metros mais altura da maré no momento. A atracação é feita com a aproximação do navio-tanque pela proa, que atinge o cais em um ângulo de 45°, aproximadamente, sofrendo uma rotação pela popa com auxílio de rebocadores (03 na atracação e 03 na desatracação – *bollard pull* de 28 tons máximo, que atuam em redundância, observado do Sistema de Posicionamento Dinâmico do NT)²⁵. Não há impedimento do navio-tanque usar seus sistemas de governo e de máquinas, nesta fase. Há restrições para o fundeadouro interno (entre os píeres e no canal), bem como para embarcações de apoio, rebocadores, lanchas, chatas e outras similares. O calado máximo permitido ao longo do TGL é de 11,35 metros, o qual não deverá ser ultrapassado em hipótese alguma.

²⁵ Com o número de rebocadores e o SPD considerar-se-á a possibilidade de evento indesejável para a não descarga remotíssima (extremamente remota).

Dentre as restrições gerais, evidenciam-se as atracções noturnas para navios-tanques com mais de 30.000 TPB (Tonelagem de Porte Bruto), quando os dois berços adjacente (Pier-1 e Pier-2) estiverem simultaneamente ocupados, em virtude de limitação de espaço para o giro com segurança, por ocasião do posicionamento do navio ao pier. Navios com porte inferior ao citado acima realizam manobras noturnas sem qualquer restrição. Manobras diurnas são realizadas sem restrições. Em qualquer situação deve-se atentar para os limites físicos do Terminal. Não é possível navios-tanque com porte bruto superior a 40.000 t métricas, com comprimento superior a 181 metros, boca superior a 30 metros, calado superior a 11,35 metros e altura superior a 10 metros em relação ao *manifold* (considerando os limites de extensão dos mangotes – da flange do navio à conexão com o manifold – e condições ambientais operacionais). A tripulação, em média, é de 25 pessoas, sem contar o Comandante do NT, conforme a portaria nº 0050/90 da Diretoria dos Portos e Costas da Marinha do Brasil, com a indicação da tripulação dada pela Capitania dos Portos (UFRJ, 2013). O comando da manobra do NT é do Oficial de Náutica.

Além dos amarradores, participam da manobra dois inspetores de embarque e de desembarque que são os responsáveis por orientar tecnicamente os amarradores durante a faina de amarração, visando, portanto, o correto posicionamento do navio-tanque no cais por intermédio de comunicação via rádio com o Prático da embarcação (navio-tanque), bem como pelo fornecimento de suporte ao comandante do navio petroleiro com a transmissão de informações sobre a condição do tempo – monitoramento de *swell* (ondas – amplitude) – para garantir a segurança da embarcação, enquanto esta permanecer atracada. A amplitude da onda durante a descarga não pode ser superior a 70 (setenta) centímetros (equivalente a condição de mar 3 a 4), sob pena de comprometer a segurança, causando acidentes. Deve-se observar extrema cautela nas seguintes condições oceanográficas e meteorológicas (em qualquer etapa): ondas de superfície com altura superior a 1 metro; *swell* de fundo com amplitude média superior a 60 centímetros e vento sul com velocidade média acima de 25 nós.

O vento predominante na área do TGL é o NE com a média anual de 8 nós de velocidade. Nos meses de inverno, é comum a chegada de frentes frias, que, por vezes, impedem ou interrompem as operações no TGL. Nestas ocasiões o vento ronda de NE para N/NW, quando da aproximação da frente, e S/SW quando da passagem dela, inspirando cuidados adicionais quando ultrapassam os 35 nós de velocidade média.

Nos meses de inverno, por ocasião das frentes frias, há formação de vagalhão de S-SW que pode tornar inviável a operação de embarcações no TGL. A característica predominante é de chuvas esparsas e curtas, sendo raras as chuvas longas e severas. Tempestades com raios também não são comuns, mas podem ocorrer com a passagem de frentes frias. É rara a visibilidade por *fog* ou *smog*. Devido a posição do TGL, a corrente não é fator relevante quando o navio está atracado. A variação dos níveis de maré, em relação à amplitude média normal aproximada no Terminal é de 0,90 metro. Por ocasião da maré de sizígia há variações maiores com até 1,80 metro (preamar) e -0,10 metro (baixamar). O calado máximo e a borda livre mínima para atracação no TGL foram calculados em função da pior condição de maré. Ressalta-se que a velocidade do vento e a variação da altura de onda no TGL são monitoradas pela Cia. Concessionária. O navio-tanque atracado no píer nº 5 é mostrado no diagrama da Figura 49.

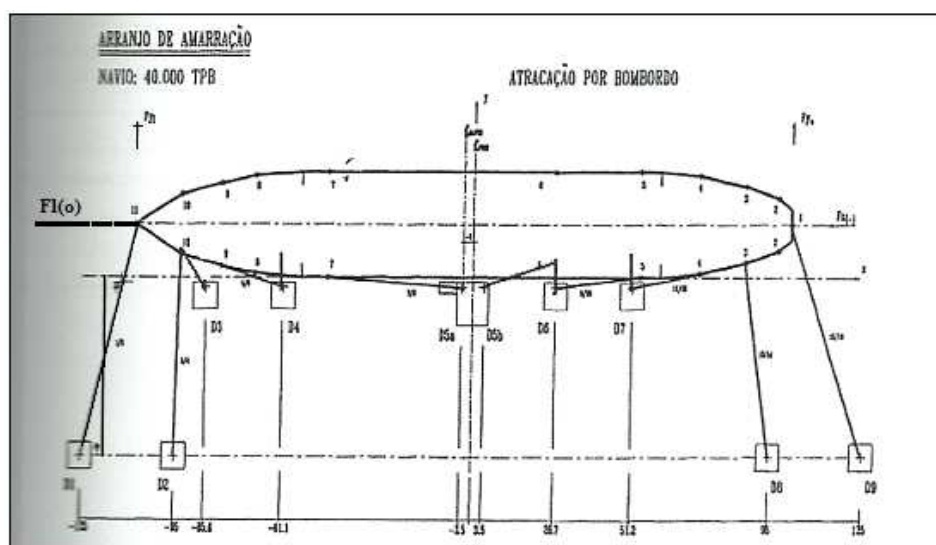


Figura 49 – Diagrama de amarração do navio-tanque no TGL (extraído de Informações Portuárias – TRANSPETRO, 2012).

Concluída a atracação inicia-se a etapa de movimentação. Nesta fase a responsabilidade e gerência das atividades são da Cia. Transportadora, autorizada a transportar petróleo, derivados e biocombustíveis pela Agência Nacional de Petróleo – ANP.

Cabe à Cia. Concessionária do terminal, durante a movimentação, monitorar as condições de mar, por intermédio de seus inspetores de embarque e desembarque, e, juntamente com o comandante do navio-tanque, avaliar se este permanece atracado com segurança. Para tanto, conta com uma central de monitoramento instalado em um prédio há cerca de 1 km do berço do TGL.

Sobre as tubulações para fins de descarga, unindo o *manifold* aos tanques de armazenamento, existem 7 tubulações no Píer, sendo duas de 6”, uma de 12”, duas de 14”, uma de 16” e uma de 20”, conforme a Figura 50.

As tubulações de 14”, 16” e 20” são utilizadas para transporte dos produtos (Gasolina, Óleo Diesel S50, Óleo Diesel S500 e Óleo Diesel Marítimo).

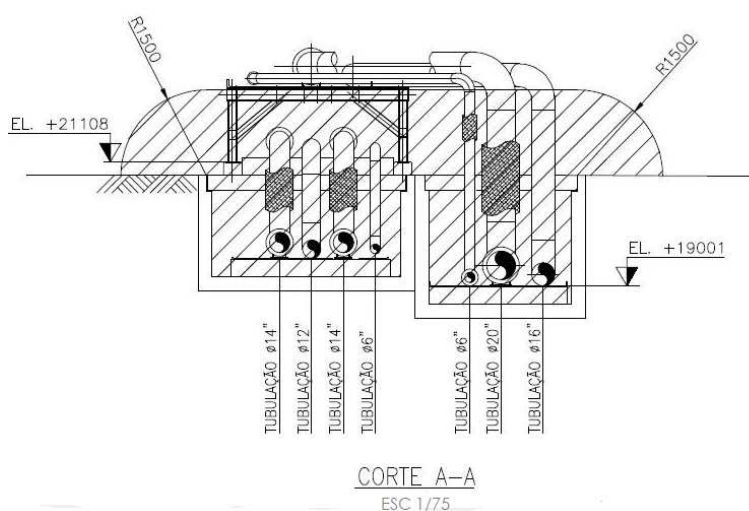


Figura 50 – Tubulações usadas entre o *manifold* e os tanques de armazenamento – informações da Cia. Concessionária, 2013.

As informações sobre as bombas, temperaturas de processo, capacidades de vazão dos sistemas de descarga constam da Figura 51, que informa os produtos inflamáveis que são descarregados.

| TGL - TERMINAL DE GRANEIS LÍQUIDOS | | | | | | | |
|------------------------------------|------------------------------------|--------------------|-----------------------------------|----------------------------|-------------------------|--|------------------------|
| Item | Produto | Ponto de Fulgor °C | Características físicas/ processo | | | Resultado da Avaliação | Recomendação Adicional |
| | | | Temp. Processo °C | Pressão kg/cm ² | Vazão m ³ /h | | |
| 1 | Gasolina GLNA | -47 | N.I | Shut off bomba | N.I | Produto gera classificação. | - |
| 2 | Óleo Diesel S50 | 38 | N.I | Shut off bomba | N.I | Produto gera classificação Item 7.1.7. | - |
| 3 | Óleo Diesel S500 | 38 | N.I | Shut off bomba | N.I | Produto gera classificação Item 7.1.7. | - |
| 5 | Óleo Diesel Marítimo | 60 | N.I | Shut off bomba | N.I | Produto não gera classificação Item 7.1.7. | - |
| 6 | Óleo Combustível Marítimo MF - 380 | >60 | N.I | Shut off bomba | N.I | Produto não gera classificação Item 7.1.7. | - |

Notas:
1 - As informações solicitadas através do preenchimento das planilhas enviadas (modelo idêntico a esta); são as constantes da tabela;
2 - No caso TGL foram enviadas as FISPQ's dos seguintes produtos: Gasolina GLNA, Óleo Diesel S50, Óleo Diesel S500, Óleo Diesel Marítimo e Óleo Combustível Marítimo MF - 380, conforme em anexo;
3 - NI = Não Informado.
4 - Shut off bomba significa valor máximo da pressão na tubulação com a válvula de descarga fechada e vazão zero.

Figura 51 – Tabela com os dados relativos aos combustíveis descarregados e as bombas. Eventualmente, há descarga de álcool etílico anidro combustível (AEAC) – informações da Cia. Concessionária, 2013.

A operação do sistema é da Cia. Transportadora e as bombas de carga que dão a pressão necessária para a descarga dos tanques do navio para o porto é a do NT e podem ter diferenças, mas devem atender as pressões e vazões máximas e mínimas estabelecidas pela Cia. Transportadora em conjunto com a Cia. Concessionária do TGL.

Atracado, o navio-tanque tem o seu produto inspecionado, e é feita a conexão do porto (TGL) e o navio-tanque, por intermédio de um mangote a cargo de um dos marinheiros do navio. O sistema porto se conecta ao sistema navio (por meio das equipes), para fins de descarregamento, através de um conjunto de *manifolds* (do navio e do porto, conjuntamente) e a tubulação na área portuária, que leva os combustíveis até os tanques de armazenamento da Cia. Distribuidora de combustíveis (aproximadamente a três quilômetros), e um conjunto de mangotes do navio que descarregará os mencionados combustíveis. O bombeamento para os tanques de armazenamento é feito em conjunto com as bombas de carga do NT (elétrica ou hidráulica ou a vapor) e os equipamentos localizados no cais (TGL), conforme demonstram a Figura 52 e a Figura 53, obtidas por ocasião de visita à planta.



Figura 52 – Terminal de Granéis Líquidos – Cais (a seta indica o posicionamento do NT em relação ao TGL).



Figura 53 – Terminal de Granéis Líquidos – Porto.

As características do berço para a carga e descarga do navio-tanque são as seguintes, de acordo com a planilha da Tabela 18.

Tabela 18 – Carga e Descarga dos Produtos Inflamáveis no TGL sob estudo – dados físicos – extraído de TRANSPETRO, 2012.

| Nº do berço | Produtos | Mangotes/ Flanges do braço | Recebimento ou envio | Temperatura | | Vazão (máxima) | Pressão (máxima) |
|-------------|----------|----------------------------------|-------------------------|-------------|--------|------------------------|---------------------|
| | | | | Mínima | Máxima | | |
| TGL | Claros | 1 x 08" API | Ambos | 15° C | 40° C | 1200 m ³ /h | 8 bar |
| TGL | Escuros | 1 x 08" API | Ambos | 30° C | 70° C | 1400 m ³ /h | 9 bar |

Encerrada a movimentação, a Cia. Transportadora, por intermédio de seus agentes marítimos, providencia a contratação de prático e rebocadores para a realização da manobra de desatracação²⁶, que atuam de forma inversa que na atracação, momento em que a equipe de amarradores volta a atuar, orientada por um inspetor de embarque e desembarque, auxiliando na manobra por meio do desfazimento das amarrações e monitoramento das condições climáticas.

No que tange a mão-de-obra no porto e no navio-tanque, tem-se:

No porto, todos em turno normal de trabalho, pela Cia. Concessionária:

- (A) Inspetor de Embarque e Desembarque: 02 (dois) na atracação; 01 (um) na desatracação; 01 (um) no monitoramento das condições meteorológicas e oceanográficas;
- (B) Líder de Operação: 01 (um);
- (C) Amarrador: 07 (sete).

Essa equipe não atua exclusivamente no âmbito do TGL, mas em outras atividades que são desenvolvidas com base em uma programação (sob demanda), inclusive em outros terminais da Cia. Concessionária no Complexo Industrial.

No porto, todos em turno normal de trabalho, pela Cia. Transportadora:

²⁶ Já destalingado o mangote, isto é, o mangote é desacoplado antes desta etapa.

- (A) Gerente: 01 (um);
- (B) Supervisor de descarregamento: 01 (um).

No navio-tanque, todos em turno especial de trabalho, pela Cia. Transportadora:

- (A) Marinheiro de Convés: 02 (dois) – que atuam também no mangote e no *manifold*;
- (B) Oficial de Náutica: 01 (um) – toma as decisões, observada a sugestão do Prático. O Comandante do NT ratifica, por ação ou omissão;
- (C) Marinheiro de controle dos tanques, das bombas e das mangueiras: 01 (um).

As demais atividades relacionadas às operações do TGL, sob gestão da Cia. Concessionária do Terminal, são desempenhadas pelas equipes regulares do porto (Programação, *Port Captains*²⁷, Segurança Empresarial, Segurança do Trabalho e Meio Ambiente) como parte de suas rotinas administrativas, podendo ser acionadas excepcionalmente em caso de emergências ou sob demanda.

O diagrama da Figura 54 a seguir, dá uma ideia da interface sistema porto – sistema navio-tanque por ocasião da atracação.

²⁷ Equipe contratada para intermediar com a Capitania dos Portos local, a fim de atender as inspeções consoante o MoU Paris, que é um acordo firmado entre vários países participantes da IMO, inclusive o Brasil, no que tange à salvaguarda da vida humana no mar, prevenção de poluição por navios e condição de trabalho e vida a bordo dos navios.

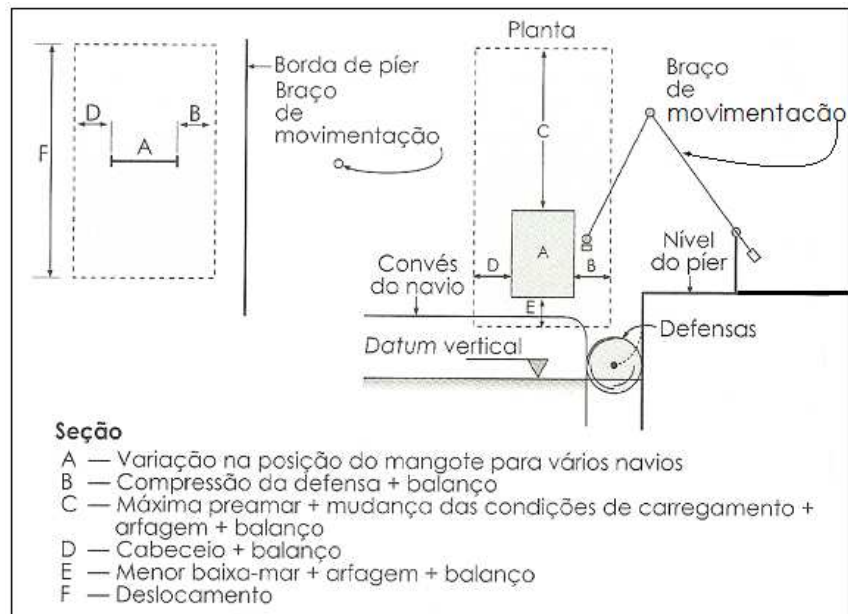


Figura 54 – Movimento relativo entre o mangote do navio e a plataforma de movimentação de óleo (extraído de ALFREDINI *et al.*, 2009).

A configuração do sistema porto – sistema navio-tanque, na fase entre a atracação e a descarga, é mostrado pela Figura 55 e pela Figura 56.

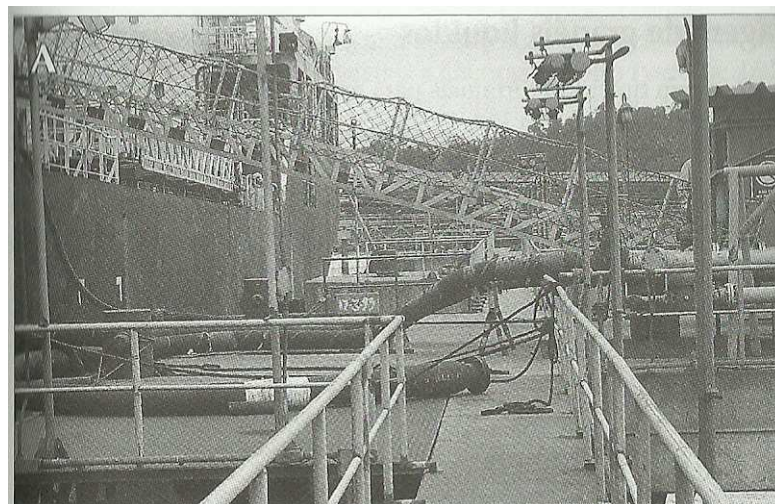


Figura 55 – Conexão dos sistemas porto e navio-tanque no TGL na etapa de descarga (extraído de TRANSPETRO, 2012).

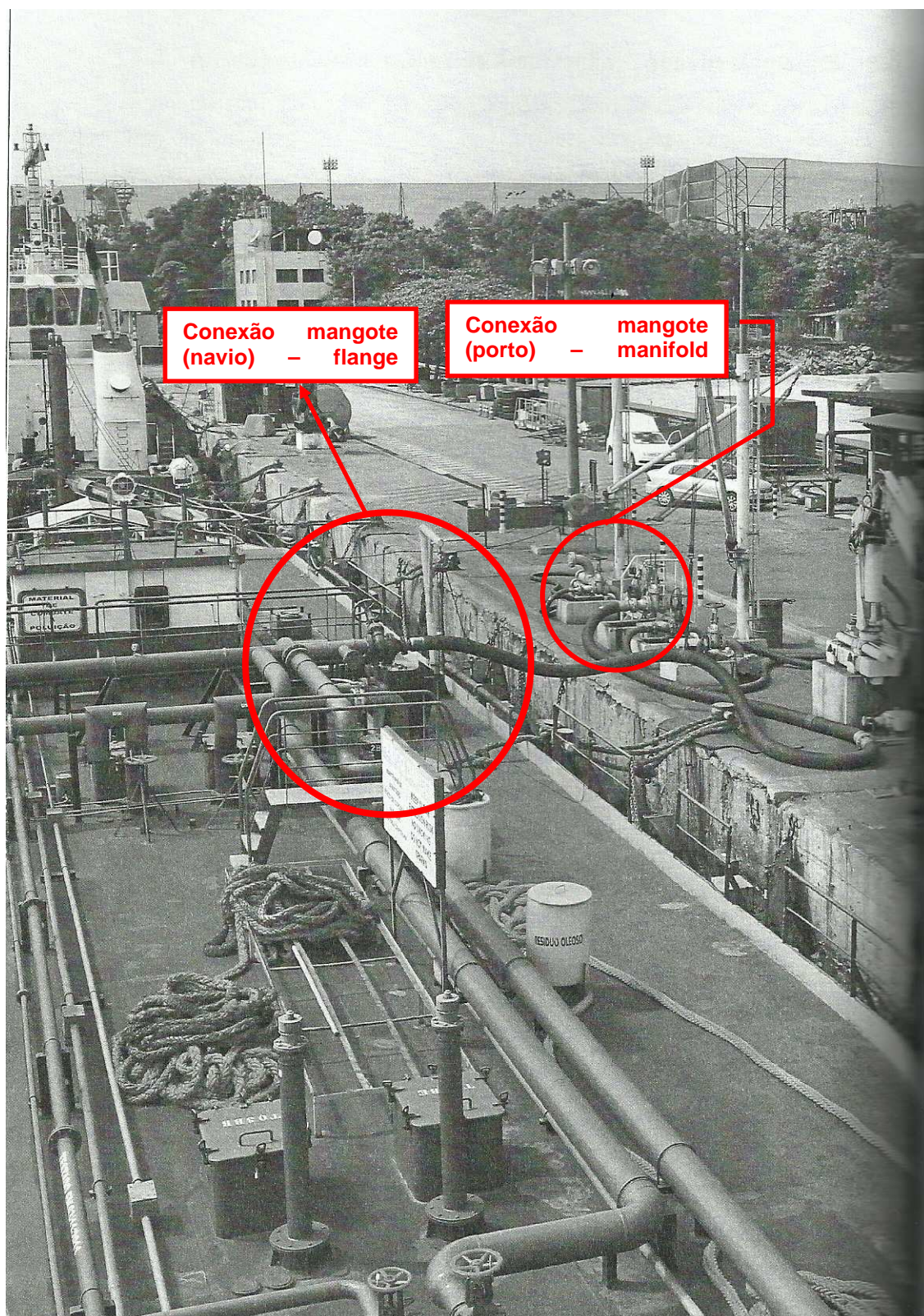


Figura 56 – Conexão dos sistemas porto e navio-tanque no TGL, etapa de descarga – extraído de TRANSPETRO, 2012.

O sistema de conexão do TGL deste estudo é muito semelhante ao sistema de conexão no TGL do Porto de Santos/SP. Na Figura 57, o TGL de Santos/SP.



Figura 57 – Terminal de Granéis Líquidos – Porto de Santos – Sistema Equivalente ao do objeto de estudo – extraído de TRANSPETRO, 2012.

Considerando as informações mencionadas anteriormente, na próxima seção será aplicada a PHA, a fim de qualificar os eventos de perigo do processo em questão, para a instalação industrial sob estudo.

4.2. Eventos Perigosos associados ao processo de descarga

Em MARTINS e MORAES (2013b), em um primeiro momento, sem a aplicação da técnica de composição probabilística, isto é, o ranqueamento da opinião dos especialistas, foi realizada a Análise Preliminar dos Perigos (APP) associados ao processo sob análise. A tabela resultante da análise do processo de descarga de granéis líquidos inflamáveis está no Apêndice B. A análise qualitativa foi feita de acordo com o exposto em 2.4.3. Desnecessário, portanto, tecer maiores considerações.

A análise feita em MARTINS e MORAES (2013b) foi aprimorada, no intuito de, em um segundo momento, realizar uma conformação dos dados obtidos sobre o processo, a partir da opinião dos especialistas e operadores do NT e do TGL, a fim de formatar as informações, de caráter subjetivo, em uma distribuição de probabilidades. Em MARTINS e MORAES (2013a) realizou-se a denominada composição probabilística dos indicadores da probabilidade de ocorrência, da detectabilidade e de severidade associados aos eventos de perigo identificados, a qual será explicada mais adiante.

A APP aplicada ao processo de descarga dos granéis líquidos do navio-tanque para o TGL e seus tanques de armazenamento, como dito anteriormente, avaliou os seguintes fatores, em MARTINS e MORAES (2013a): (a) impacto ou severidade associada à ocorrência do evento (**S**); (b) probabilidade de ocorrência (**O**) e (c) probabilidade de não detecção da falha (indetectabilidade – **D**). Os fatores foram agrupados e classificados em sete níveis (anteriormente tinha sido realizado em quatro níveis), com identificação correlacionada. O uso de sete níveis propicia uma melhor análise, haja vista a maior fragmentação das possibilidades de classificação dos fatores. A partir dos trabalhos de ROSA e GARRAFA (2009); NOGUEIRA e PERES (2010), das normas PETROBRAS NBR 2782-B e PETROBRAS NBR 2784-A, e dos padrões entabulados para a PHA nas normas MIL-STD-882 (ERICSON, 2005) e MIL-P-1629a de 1980 da *U.S. Military* que estabeleceu onze níveis, foram tabulados (Tabela 19, Tabela 20 e Tabela 21) os fatores associados a cada evento de perigo identificado, observados o que foi exposto nos itens 2.2.3, 2.2.4 e 2.2.5. Os dados tabulados foram agregados para facilitar o cálculo e a análise, de sorte que, o critério para a segurança aos indivíduos, às instalações e ao meio ambiente foi tomado em uma coluna.

Tabela 19 – Níveis de Severidade.

| Índice | Severidade | Critério |
|--------|-------------------|--|
| 1 | Muito Remota | A falha é imperceptível e não há danos, ou são mínimos, em relação às pessoas intramuros ²⁸ , às instalações intramuros e ao meio ambiente. Pode haver interrupção da descarga. |
| 2 | Remota | A falha perceptível e os danos são mínimos, em relação às pessoas intramuros, às instalações intramuros e ao meio ambiente. Pode haver interrupção da descarga. |
| 3 | Pequena | A falha ocorre, e a descarga tem interrupção de horas; Podem ser observadas: lesões leves em relação às pessoas intramuros; equipamentos são trocados; prejuízos ao meio ambiente, no local do cais, por dias. |
| 4 | Moderada | A falha leva a uma interrupção da descarga; podem ser observadas: lesões de grau leve a moderada em relação às pessoas intramuros; danos moderados às instalações e equipamentos intramuros; prejuízo ao meio ambiente, por semanas, em um raio de 1km |
| 5 | Alta | A falha leva a interrupção da descarga, com a (não) atracação ou desatracação do navio-tanque; há pessoas mortas (intramuros) e feridas com lesões graves (intra e extramuros ²⁹); as instalações e os equipamentos intramuros ficam comprometidas por dias com danos severos; danos moderados às instalações e aos equipamentos extramuros; prejuízo ao meio ambiente, por meses, em um raio de 5km |
| 6 | Muito Alta | A falha leva a interrupção da descarga, com danos severos ao navio-tanque e ao TGL; há mortos e feridos graves, intra e extramuros; as instalações e os equipamentos intramuros ficam comprometidos por meses; danos severos às instalações e aos equipamentos extramuros; prejuízo ao meio ambiente, por anos, em um raio de 10km |
| 7 | Extremamente Alta | A falha leva a interrupção da descarga, bem como o colapso de todos os sistemas com explosões do TGL, tanques de armazenamento e do navio-tanque; elevado número de mortos e feridos intra e extramuros; as instalações intra e extramuros deverão ser reconstruídas; perda total de equipamentos intra e extramuros; prejuízo ao meio ambiente, por anos, em um raio de 50km |

Tabela 20 – Níveis de Ocorrência.

| Índice | Ocorrência | Proporção aproximada (p – ocorrência/anos) |
|--------|-------------------|--|
| 1 | Muito Remota | $p < 1: 1.000.000$ |
| 2 | Remota | $1: 1.000.000 < p < 1: 100.000$ |
| 3 | Pequena | $1: 100.000 < p < 1: 10.000$ |
| 4 | Moderada | $1: 10.000 < p < 1: 1.000$ |
| 5 | Alta | $1: 1.000 < p < 1: 100$ |
| 6 | Muito Alta | $1: 100 < p < 1: 1$ |
| 7 | Extremamente Alta | $p > 1: 1$ |

²⁸ Pessoas (trabalham), instalações ou equipamentos que estão dentro da área portuária do TGL e do navio-tanque.

²⁹ Pessoas, instalações ou equipamentos que estão fora da área portuária do TGL e do navio-tanque, mas estão nos arredores.

Tabela 21 – Níveis de indetectabilidade.

| Índice | Nível | Critério |
|---------------|-------------------|---------------------------------------|
| 1 | Muito Remota | Certamente será detectado |
| 2 | Remota | Será detectado com facilidade |
| 3 | Pequena | Grande probabilidade de ser detectado |
| 4 | Moderada | Baixa probabilidade de ser detectado |
| 5 | Alta | Provavelmente não será detectado |
| 6 | Muito Alta | Não será detectado com facilidade |
| 7 | Extremamente Alta | Certamente não será detectado |

A seguir é apresentada a Tabela 22, em analogia ao trabalho de SANT'ANNA e PINTO JR. (2010), montada com os parâmetros da técnica de APP para a situação do processo de descarga dos produtos do navio-tanque no Terminal de Granéis Líquidos, no caso em estudo. Os valores dos fatores da APP são os resultados da classificação e do ranqueamento dos fatores (S), (O) e (D) nos níveis da Tabela 19, Tabela 20 e Tabela 21, de acordo com o exposto no Capítulo 2.

Tabela 22 – Ranqueamento das falhas na descarga dos produtos líquidos inflamáveis do NT para o TGL.

| Operação | Modo Potencial de Falha | Efeito | S | Causas | O | Tipo | Controle e Prevenção | Controle de Detecção | D | Ação Recomendada | |
|---|---|---|---|---|--------------------------------------|---|---|---|--|---|---|
| Programação | Mudanças das condições ambientais | Mudança de favorável para desfavorável da atracação. Pode ocorrer colisão | 4 | Ação da natureza | 6 | Natural | Análise prévia das condições climáticas | Uso de equipamentos climáticos apropriados | 1 | Realizar a programação para outro dia | |
| | Falha na identificação do tipo de navio | O navio não pode atracar no píer do TGL. A insistência leva a colisão | 4 | Falha de comunicação entre o TGL e a empresa de navegação | 3 | Humana | Checar a comunicação 24 horas antes da atracação e confirmar a informação | Emitir relatório assinado pelos responsáveis | 1 | Abortar a operação e solicitar rebocador para retirar o navio | |
| | Falha na informação sobre o deslocamento do navio | O navio não pode atracar no píer do TGL. A insistência leva a colisão | 4 | Falha de comunicação entre o TGL e a empresa de navegação | 2 | Humana | Checar a comunicação 24 horas antes da atracação e confirmar a informação | Emitir relatório assinado pelos responsáveis | 2 | Abortar a operação e solicitar rebocador para retirar o navio | |
| Aproximação | Falha do M.C.A. do navio-tanque | Parada do sistema Diesel-Gerador | 3 | Falha da manutenção | 3 | Humana | Utilizar rotinas de manutenção rígidas com o uso de roteiros (<i>check list</i> de atividades) | Uso de sensores e relatórios de avarias e manutenções | 2 | Abortar a operação e solicitar rebocador para retirar o navio | |
| | | | | Falha de lubrificação | | Humana | | | | | |
| | | | | Falha do equipamento | | Mecânica – Elétrica | | | | | |
| | Falha do sistema de governo | Incapacidade de operar o sistema de governo do navio. Possível colisão | 4 | Falha da manutenção | 2 | Humana | Utilizar rotinas de manutenção rígidas com o uso de roteiros (<i>check list</i> de atividades) | Uso de sensores e relatórios de avarias e manutenções | 1 | Abortar a operação e solicitar rebocador para retirar o navio | |
| | Falha na Comunicação | Incapacidade de transmitir informações entre o navio-tanque e o TGL. A insistência leva a colisão | 4 | 2 | Falha do VHF, portátil, bateria | 2 | Elétrica | Substituir equipamento ou bateria | Uso de sensores e relatórios de avarias e manutenções | 1 | Abortar operação até a realização da manutenção |
| | | | | | Interferência com outras instalações | | Natural | Mudar a frequência | Equipamento reserva | | |
| Problemas de compreensão do idioma | | | | | Humana | | Utilizar o CIS (Código Internacional de Sinais) ou vocabulário marítimo padrão | Deixar em <i>stand-by</i> as outras opções | Executar o procedimento de afastamento do navio-tanque em relação ao TGL, se não se restabelecer a comunicação | | |
| Falha humana na manobra do navio-tanque | O navio-tanque encalha. Possível colisão | 4 | Falha de comunicação entre o TGL e a empresa de navegação | 1 | Humana | Checar a comunicação 24 horas antes da atracação e confirmar a informação | Emitir relatório assinado pelos responsáveis | 2 | Abortar a operação e solicitar rebocador para retirar o navio | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|--|---|----------------------|---|---|--|---|---|---|---------------------|---|---|---|---|---|---|
| | Falha do sistema de posicionamento dinâmico | Perda de posição do navio-tanque. Possível colisão | 4 | <table border="1"> <tr><td>Problema do Thruster</td></tr> <tr><td>Falha da Manutenção</td></tr> <tr><td>Problemas de geração</td></tr> <tr><td>Problema Satélite GPS</td></tr> </table> | Problema do Thruster | Falha da Manutenção | Problemas de geração | Problema Satélite GPS | 3 | <table border="1"> <tr><td>Mecânica –Elétrica</td></tr> <tr><td>Humana</td></tr> <tr><td>Elétrica</td></tr> <tr><td>Natural – Elétrica</td></tr> </table> | Mecânica –Elétrica | Humana | Elétrica | Natural – Elétrica | Utilizar rotinas rígidas de manutenção com a utilização de roteiros | Uso de sensores e relatórios de avarias e manutenções | 4 | Abortar a operação e solicitar rebocador para retirar o navio |
| | Problema do Thruster | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Falha da Manutenção | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Problemas de geração | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Problema Satélite GPS | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mecânica –Elétrica | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Humana | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Elétrica | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Natural – Elétrica | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Mudança das condições ambientais | Mudança de favorável para desfavorável da atracação. A insistência leva a colisão | 4 | Ação da natureza | 6 | Natural | Análise prévia das condições climáticas | Uso de equipamentos climáticos apropriados | 1 | Realizar a programação para outro dia | | | | | | | | |
| Preparação | A equipe do TGL está em conflito | Os integrantes da equipe não se entendem e brigam e o navio não atraca | 2 | Falha de comunicação entre o TGL e a empresa de navegação | 4 | Humana | Realizar reuniões e treinamento com a equipe | Entrevistar o coordenador da equipe e analisar seu relatório | 3 | Trocar a equipe | | | | | | | | |
| | A equipe do TGL é inexperiente | Os integrantes da equipe realizam poucas operações deste porte e tipo e o navio não atraca | 2 | Falha de comunicação entre o TGL e a empresa de navegação | 2 | Humana | Realizar reuniões e treinamento com a equipe | Entrevistar o coordenador da equipe e analisar seu relatório | 2 | Trocar a equipe | | | | | | | | |
| | Mudança das condições ambientais | Mudança de favorável para desfavorável da atracação. A insistência leva a colisão | 4 | Ação da natureza | 6 | Natural | Análise prévia das condições climáticas | Uso de equipamentos climáticos apropriados | 1 | Realizar a programação para outro dia | | | | | | | | |
| Atracação | Falha na execução da manobra devido a pressões comerciais | O navio-tanque não atraca. Possível colisão | 6 | Pressões comerciais para a rápida descarga do navio-tanque | 2 | Humana | Programar o navio com antecedência de 48 horas antes da operação de descarga | Uso de relatórios e manuais com as rotinas pré-estabelecidas | 3 | Abortar a operação e solicitar rebocador para retirar o navio | | | | | | | | |
| | Mudança das condições ambientais | Mudança de favorável para desfavorável da atracação. Possível colisão | 6 | Ação da natureza | 6 | Natural | Análise prévia das condições climáticas | Uso de equipamentos climáticos apropriados | 1 | Realizar a programação para outro dia | | | | | | | | |
| | Falha do M.C.A. do navio-tanque | Parada do sistema Diesel-Gerador | 3 | <table border="1"> <tr><td>Falha na manutenção</td></tr> <tr><td>Falha de lubrificação</td></tr> <tr><td>Falha de equipamento</td></tr> </table> | Falha na manutenção | Falha de lubrificação | Falha de equipamento | 3 | <table border="1"> <tr><td>Humana</td></tr> <tr><td>Humana</td></tr> <tr><td>Mecânica – Elétrica</td></tr> </table> | Humana | Humana | Mecânica – Elétrica | Utilizar rotinas de manutenção rígidas com o uso de roteiros (<i>check list</i> de atividades) | Uso de sensores e relatórios de avarias e manutenções | 2 | Abortar a operação e solicitar rebocador para retirar o navio | | |
| | Falha na manutenção | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Falha de lubrificação | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Falha de equipamento | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Humana | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Humana | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mecânica – Elétrica | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Falha do sistema de governo | Incapacidade de operar o sistema de governo do navio. Possível colisão | 4 | Falha da manutenção | 2 | Humana | Utilizar rotinas de manutenção rígidas com o uso de roteiros (<i>check list</i> de atividades) | Uso de sensores e relatórios de avarias e manutenções | 1 | Abortar a operação e solicitar rebocador para retirar o navio | | | | | | | | | |
| Falha do sistema de posicionamento dinâmico | Perda de posição do navio-tanque. Possível colisão | 4 | <table border="1"> <tr><td>Problema do Thruster</td></tr> <tr><td>Falha da Manutenção</td></tr> </table> | Problema do Thruster | Falha da Manutenção | 3 | <table border="1"> <tr><td>Mecânica –Elétrica</td></tr> <tr><td>Humana</td></tr> </table> | Mecânica –Elétrica | Humana | Utilizar rotinas rígidas de manutenção com a utilização de roteiros | Uso de sensores e relatórios de avarias e manutenções | 4 | Abortar a operação e solicitar rebocador para retirar o navio | | | | | |
| Problema do Thruster | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Falha da Manutenção | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mecânica –Elétrica | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Humana | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|--|----------------------------------|----------|--|---|---|---|---|
| | | | | Problemas de geração | | Elétrica | | | | |
| | | | | Problema Satélite GPS | | Natural – Elétrica | Verificar aviso aos navegantes sobre informações de satélites | | | |
| | Falha do M.C.P. do navio-tanque | Parada do motor de combustão | 3 | Falha da bomba injetora | 3 | Mecânica – Elétrica | Utilizar rotinas de manutenção rígidas com o uso de roteiros (<i>check list</i> de atividades) | Uso de sensores e relatórios de avarias e manutenções | 2 | Abortar a operação e solicitar rebocador para retirar o navio |
| | | | | Falha do cilindro | | | | | | |
| Falha da equipe de atracação do navio-tanque | O navio-tanque não atraca. A insistência leva a colisão | 5 | Falha de comunicação e treinamento | 3 | Humana | Realizar reuniões e treinamento com a equipe | Entrevistar o coordenador da equipe e analisar seu relatório | 5 | Trocar a equipe | |
| Falha da equipe de atracação do TGL | O navio-tanque não atraca. A insistência leva a colisão | 5 | Falha de comunicação e treinamento | 3 | Humana | Realizar reuniões e treinamento com a equipe | Entrevistar o coordenador da equipe e analisar seu relatório | 5 | Trocar a equipe | |
| Descarga | Falha do operador do mangote | Ruptura e desconexão. Possível incêndio | 6 | Operador enrolado no mangote | 2 | Humana | Inspeção visual antes da manobra de conexão para descarga | Orientar os supervisores | 3 | Abortar a operação e solicitar rebocador para retirar o navio |
| | | | | Tração acima da permitida | | | | | | Trocar o mangote |
| | | | | Envelhecimento do mangote | | | | | | |
| | Falha da válvula de acoplamento (flange) com o mangote | A válvula não permite vazão – não abre | 4 | Falha do anel de vedação | 2 | Mecânica | Inspeção visual antes da manobra de conexão para descarga | Ensaio Mecânico | 3 | Abortar a operação e solicitar manutenção |
| | | | | Falha na conexão navio – mangote | | | | | | |
| | Falha na válvula de acoplamento do mangote com o manifold | A válvula não permite vazão – não abre | 4 | Falha do anel de vedação | 2 | Mecânica | Inspeção visual antes da manobra de conexão para descarga | Ensaio Mecânico | 3 | Abortar a operação e solicitar manutenção |
| | | | Falha de conexão manifold – mangote | | | | | | | |
| Falha do teste de pressão | Diferença entre a pressão do navio-tanque e o manifold (TGL) – não há vazão | 4 | Vazamento do mangote ou na válvula de acoplamento (flange) | 2 | Mecânica | Inspeção visual antes da manobra de conexão para descarga | Ensaio Mecânico | 3 | Abortar a operação e solicitar manutenção | |
| Falha na execução da manobra devido a pressões comerciais | O navio-tanque não descarrega. Possível incêndio | 6 | Pressões comerciais para a rápida descarga do navio-tanque | 2 | Humana | Programar o navio com antecedência de 48 horas antes da operação de descarga | Uso de relatórios e manuais com as rotinas pré-estabelecidas | 3 | Abortar a operação e solicitar rebocador para retirar o navio | |

| | | | | | | | | | | |
|----------------------|--|--|---|--|---|----------------------------|---|--|---|---|
| | Falha humana na operação de conexão do <i>manifold</i> (TGL) com o navio-tanque | O navio-tanque não descarrega. Possível incêndio | 6 | Falha Humana na operação | 2 | Humana | Realizar reuniões e treinamento com a equipe | Entrevistar o coordenador da equipe e analisar seu relatório | 3 | Trocar a equipe |
| | Falha na bomba do sistema de descarga (ou TGL ou navio-tanque) | O navio-tanque não descarrega | 4 | Falha de manutenção | 2 | Humana | Utilizar rotinas de manutenção rígidas com o uso de roteiros (<i>check list</i> de atividades) | Uso de relatórios e manuais com as rotinas pré-estabelecidas | 4 | Abortar a operação e solicitar rebocador para retirar o navio |
| Falha na operação | | | | Humana | | Ensaio Mecânico e Elétrico | | | | |
| Falha do Equipamento | | | | Mecânica – Elétrica | | | | | | |
| | Falha do <i>manifold</i> | O navio-tanque não descarrega | 4 | Falha de manutenção | 2 | Humana | Utilizar rotinas de manutenção rígidas com o uso de roteiros (<i>check list</i> de atividades) | Uso de relatórios e manuais com as rotinas pré-estabelecidas | 5 | Abortar a operação e solicitar rebocador para retirar o navio |
| Falha na operação | | | | Humana | | Trocar a equipe | | | | |
| Falha do Equipamento | | | | Mecânica – Elétrica | | Trocar o <i>manifold</i> | | | | |
| | Falha na execução da manobra de recolhimento de mangote devido a pressões comerciais | O navio-tanque não descarrega. Possível incêndio | 6 | Pressões comerciais para a rápida descarga do navio-tanque | 2 | Humana | Programar o navio com antecedência de 48 horas antes da operação de descarga | Uso de relatórios e manuais com as rotinas pré-estabelecidas | 3 | Trocar a equipe |
| | Mudança das condições ambientais | O navio-tanque não descarrega. Possível incêndio | 4 | Ação da natureza | 6 | Natural | Análise prévia das condições climáticas | Uso de equipamentos climáticos apropriados | 1 | Abortar a operação e solicitar rebocador para retirar o navio |
| | Falha na tubulação de conexão entre os tanques de armazenamento e o TGL | O navio-tanque não descarrega. Possível incêndio | 7 | Falha do equipamento | 2 | Mecânico | Utilizar rotinas de manutenção rígidas com o uso de roteiros (<i>check list</i> de atividades) | Ensaio Mecânico | 6 | Abortar a operação e solicitar rebocador para retirar o navio |
| | Falha nos tanques de armazenamento | O navio-tanque não descarrega. Possível incêndio | 7 | Falha do equipamento | 1 | Mecânico | Utilizar rotinas de manutenção rígidas com o uso de roteiros (<i>check list</i> de atividades) | Ensaio Mecânico | 7 | Abortar a operação e solicitar rebocador para retirar o navio |

| | | | | | | | | | | |
|--|---|---|-------------------------|--|---------------------|---|---|--|---|---|
| Desatracação | Falha na execução da manobra devido a pressões comerciais | O navio-tanque não desatraca, impedindo novas atracções | 6 | Pressões comerciais para a rápida descarga do navio-tanque | 2 | Humana | Programar o navio com antecedência de 48 horas antes da operação de descarga | Uso de relatórios e manuais com as rotinas pré-estabelecidas | 3 | Trocar a equipe |
| | Mudança das condições ambientais | O navio-tanque não desatraca, impedindo novas atracções | 4 | Ação da natureza | 6 | Natural | Análise prévia das condições climáticas | Uso de equipamentos climáticos apropriados | 1 | Abortar a operação e solicitar rebocador para retirar o navio |
| | Falha do M.C.A. do navio-tanque | Parada do sistema Diesel-Gerador, impedindo novas atracções | 3 | Falha da manutenção | 3 | Humana | Utilizar rotinas de manutenção rígidas com o uso de roteiros (<i>check list</i> de atividades) | Uso de sensores e relatórios de avarias e manutenções | 2 | Abortar a operação e solicitar rebocador para retirar o navio |
| | | | | Falha da lubrificação | | Humana | | | | |
| | | | | Falha do equipamento | | Mecânico – Elétrica | | | | |
| | Falha do sistema de posicionamento dinâmico | O navio-tanque demora na desatracção, impedindo novas atracções | 4 | Problema do Thruster | 3 | Mecânica – Elétrica | Utilizar rotinas rígidas de manutenção com a utilização de roteiros | Uso de sensores e relatórios de avarias e manutenções | 4 | Solicitar rebocador para retirar o navio e manutenção |
| | | | | Falha da Manutenção | | Humana | | | | |
| | | | | Problemas de geração | | Elétrica | Verificar aviso aos navegantes sobre informações de satélites | | | |
| Problema Satélite GPS | | | | Natural – Elétrica | | | | | | |
| Falha do M.C.P. do navio-tanque | Parada do motor de combustão, impedindo novas atracções | 3 | Falha da bomba injetora | 3 | Mecânica – Elétrica | Utilizar rotinas de manutenção rígidas com o uso de roteiros (<i>check list</i> de atividades) | Uso de sensores e relatórios de avarias e manutenções | 2 | Abortar a operação e solicitar rebocador para retirar o navio | |
| | | | Falha do cilindro | | | | | | | |
| Falha da equipe do Navio na manobra de desatracção | O navio-tanque encalha, impedindo novas atracções. Possível colisão | 5 | Falha da Equipe | 3 | Humana | Programar o navio com antecedência de 48 horas antes da operação de descarga | Uso de relatórios e manuais com as rotinas pré-estabelecidas | 5 | Trocar a equipe | |
| Falha da equipe do TGL na manobra de desatracção | O navio-tanque encalha, impedindo novas atracções. Possível colisão | 5 | Falha da Equipe | 3 | Humana | Programar o navio com antecedência de 48 horas antes da operação de descarga | Uso de relatórios e manuais com as rotinas pré-estabelecidas | 5 | Trocar a equipe | |

Com base no exposto pela Tabela 22, tem-se a Tabela 23, onde R é o produto dos fatores (S), (O) e (D) e P é o produto das probabilidades dos fatores (S), (O) e (D), onde os valores obtidos resultam da classificação dos fatores (S), (O) e (D) em relação aos níveis adotados. A escala utilizada na identificação dos níveis relacionados aos fatores possui sete posições com os valores numéricos de 1 a 7. Em MARTINS e GOYANO (2007) informa-se que a IMO sugere a matriz de risco com sete níveis.

Por exemplo, na linha 15 da Tabela 23, tem-se “Falha do M.C.A. do navio tanque”, com S=3; O=3 e D=2, valores decorrentes da Tabela 22. Aplica-se tais valores, entre parênteses, na expressão (2.30), a fim de obter a transformação em probabilidades.

A função densidade de probabilidade (f.d.p.) a considerada é uma distribuição triangular, contínua, que possui um valor mínimo $a=0$, um valor máximo $b=8$ e uma moda $c=4$, de modo que a função densidade de probabilidade é zero para os extremos (a e b), e afim entre cada extremo e a moda, de forma que o gráfico da mencionada f.d.p. é um triângulo, conforme se vê na Figura 9. Portanto, nesta distribuição triangular com extremos 0 e 8, a moda é igual a 4 (EVANS *et al.*, 2000) – ver tópico 2.3. Com base nas expressões (2.29) e (2.30), chega-se aos valores tabulados para as probabilidades na Tabela 23, $\langle 0,28125; 0,28125; 0,12500 \rangle$. A multiplicação de tais valores, aplicando-se a técnica de composição probabilística, chega-se ao valor de $P \cong 0,009887695$ (erro de aproximação $< 10^{-9}$).

Para os mesmos valores dos índices de severidade (S), ocorrência (O) e detectabilidade (D) foi feito o cálculo dos vetores de probabilidade de preferência para distribuições triangulares e, em seguida o cálculo da probabilidade global. Esses valores são apresentados na coluna P da Tabela 23. A composição probabilística é a multiplicação dos valores, sob a premissa de independência dos fatores. No formulário da APP simplificado e adaptado, uma coluna encabeçada pela letra “R” apresenta o valor do índice de prioridade de risco obtido para cada linha da Tabela 23. Ele é obtido multiplicando a classificação, em valores numéricos, atribuída a cada um dos três fatores, entre parênteses na tabela, classificados

consoante os níveis, quais sejam, a severidade, ocorrência e detectabilidade. Para facilidade de comparação, este valor é apresentado na Tabela 23, em analogia ao trabalho de SANT'ANNA e PINTO JR. (2010), junto com os resultados da composição probabilística, observada a função de distribuição de probabilidades triangular acumulada.

É possível identificar na Tabela 23 os eventos mais relevantes e de alto risco, conforme as probabilidades associadas, quais sejam: (i) falha da equipe do TGL por ocasião da atracação, seja por conflito, seja por inexperiência (14,5%); (ii) falha no Sistema de Posicionamento Dinâmico (SPD) na atracação (10,1%) e (iii) falha do Sistema de Governo do NT na atracação (10,1%).

Na Tabela 23 tem-se ainda a coluna "X" que será utilizada na análise desenvolvida no item 4.3 em relação à técnica de árvore de falhas. Mais a adiante será explicado a necessidade de tal coluna.

Tabela 23 – Composição Probabilística de S, O e D.

| | Operação | Evento de Perigo/ Sistema Relacionado | Consequência | X (evento) | R | S | O | D | P (erro <10 ⁻⁹) |
|----|-------------|--|---|-----------------|----|-------------|-------------|-------------|-----------------------------|
| 1 | Programação | Mudança das condições ambientais / (NT e TGL) | Mudança de favorável para desfavorável da atracação. Pode ocorrer colisão | X ₁ | 24 | 0,50000 (4) | 0,87500 (6) | 0,03125 (1) | 0,013671875 |
| 2 | | Falha na identificação do tipo de navio / (NT e TGL) | O navio não pode atracar no píer do TGL. Insistência leva a colisão | X ₂ | 12 | 0,50000 (4) | 0,28125 (3) | 0,03125 (1) | 0,004394531 |
| 3 | | Falha na informação sobre o deslocamento do navio / (NT e TGL) | O navio não pode atracar no píer do TGL. Insistência leva a colisão | X ₃ | 16 | 0,50000 (4) | 0,12500 (2) | 0,12500 (2) | 0,007812500 |
| 4 | Aproximação | Falha do M.C.A. do navio-tanque / (NT) | Parada do sistema Diesel-gerador | X ₄ | 18 | 0,28125 (3) | 0,28125 (3) | 0,12500 (2) | 0,009887695 |
| 5 | | Falha do sistema de governo / (NT) | Incapacidade de operar o sistema de governo do navio. Possível colisão | X ₅ | 8 | 0,50000 (4) | 0,12500 (2) | 0,03125 (1) | 0,001953125 |
| 6 | | Falha de Comunicação / (NT e TGL) | Incapacidade de transmitir informações entre o navio-tanque e o TGL. A insistência leva a colisão | X ₆ | 8 | 0,50000 (4) | 0,12500 (2) | 0,03125 (1) | 0,001953125 |
| 7 | | Falha humana na manobra de aproximação do navio-tanque / (NT) | O navio-tanque encalha. Possível colisão | X ₇ | 8 | 0,50000 (4) | 0,03125 (1) | 0,12500 (2) | 0,001953125 |
| 8 | | Falha do sistema de posicionamento dinâmico (SDP) / (NT) | Perda de posição do navio-tanque. Possível colisão | X ₈ | 48 | 0,50000 (4) | 0,28125 (3) | 0,50000 (4) | 0,070312500 |
| 9 | | Mudança das condições ambientais / (NT e TGL) | Mudança de favorável para desfavorável da atracação. A insistência leva a colisão | X ₁ | 24 | 0,50000 (4) | 0,87500 (6) | 0,03125 (1) | 0,013671875 |
| 10 | Preparação | A equipe do TGL está em conflito / (TGL) | Os integrantes da equipe não se entendem e brigam e o navio não atraca | X ₉ | 24 | 0,12500 (2) | 0,50000 (4) | 0,28125 (3) | 0,017578125 |
| 11 | | A equipe do TGL é inexperiente / (TGL) | Os integrantes da equipe realizam poucas operações deste porte e tipo e o navio não atraca | X ₁₀ | 8 | 0,12500 (2) | 0,12500 (2) | 0,12500 (2) | 0,001953125 |
| 12 | | Mudança das condições ambientais / (NT e TGL) | Mudança de favorável para desfavorável da atracação. A insistência leva a colisão | X ₁ | 24 | 0,50000 (4) | 0,87500 (6) | 0,03125 (1) | 0,013671875 |

| | | | | | | | | | |
|----|--|---|---|---|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 13 | Atracação | Falha na execução da manobra de atracação devido a pressões comerciais / (NT e TGL) | O navio-tanque não atraca. Possível colisão | X ₁₁ | 36 | 0,87500 (6) | 0,12500 (2) | 0,28125 (3) | 0,030761719 |
| 14 | | Mudança das condições ambientais / (NT e TGL) | Mudança de favorável para desfavorável da atracação. Possível colisão | X ₁ | 24 | 0,50000 (4) | 0,87500 (6) | 0,03125 (1) | 0,013671875 |
| 15 | | Falha do M.C.A. do navio-tanque / (NT) | Parada do sistema Diesel-gerador | X ₄ | 18 | 0,28125 (3) | 0,28125 (3) | 0,12500 (2) | 0,009887695 |
| 16 | | Falha do sistema de governo / (NT) | Incapacidade de operar o sistema de governo do navio. Possível colisão | X ₅ | 8 | 0,50000 (4) | 0,12500 (2) | 0,03125 (1) | 0,001953125 |
| 17 | | Falha do sistema de posicionamento dinâmico / (NT) | Perda de posição do navio-tanque. Possível colisão | X ₈ | 48 | 0,50000 (4) | 0,28125 (3) | 0,50000 (4) | 0,070312500 |
| 18 | | Falha do M.C.P. do navio-tanque / (NT) | Parada do motor de combustão | X ₁₂ | 18 | 0,28125 (3) | 0,28125 (3) | 0,12500 (2) | 0,009887695 |
| 19 | | Falha da equipe de atracação do navio-tanque / (NT) | O navio-tanque não atraca. A insistência leva a colisão | X ₁₃ | 75 | 0,71875 (5) | 0,28125 (3) | 0,71875 (5) | 0,145294189 |
| 20 | | Falha da equipe de atracação do TGL / (TGL) | O navio-tanque não atraca. A insistência leva a colisão | X ₁₄ | 75 | 0,71875 (5) | 0,28125 (3) | 0,71875 (5) | 0,145294189 |
| 21 | | Descarga | Falha do operador do mangote / (NT) | Ruptura e desconexão. Possível incêndio | X ₁₅ | 36 | 0,87500 (6) | 0,12500 (2) | 0,28125 (3) |
| 22 | Falha da válvula de acoplamento (flange) com o mangote / (NT) | | A válvula não permite vazão – não abre | X ₁₆ | 24 | 0,50000 (4) | 0,12500 (2) | 0,28125 (3) | 0,017578125 |
| 23 | Falha na válvula de acoplamento do mangote com o manifold / (NT) | | A válvula não permite vazão – não abre | X ₁₇ | 24 | 0,50000 (4) | 0,12500 (2) | 0,28125 (3) | 0,017578125 |
| 24 | Falha do teste de pressão / (NT) | | Não há vazão – diferença entre s pressão do navio-tanque e o manifold (TGL) | X ₁₈ | 24 | 0,50000 (4) | 0,12500 (2) | 0,28125 (3) | 0,017578125 |
| 25 | Falha na execução da manobra de descarga devido a pressões comerciais / (NT e TGL) | | O navio-tanque não descarrega. Possível incêndio | X ₁₁ | 36 | 0,87500 (6) | 0,12500 (2) | 0,28125 (3) | 0,030761719 |
| 26 | Falha humana na operação de conexão do manifold (TGL) com o navio-tanque / (NT e TGL) | | O navio-tanque não descarrega. Possível incêndio | X ₁₉ | 36 | 0,87500 (6) | 0,12500 (2) | 0,28125 (3) | 0,030761719 |
| 27 | Falha na bomba do sistema de descarga (ou TGL ou navio-tanque) / (NT e TGL) | | O navio-tanque não descarrega | X ₂₀ | 32 | 0,50000 (4) | 0,12500 (2) | 0,50000 (4) | 0,031250000 |
| 28 | Falha do manifold / (TGL) | | O navio-tanque não descarrega | X ₂₁ | 40 | 0,50000 (4) | 0,12500 (2) | 0,71875 (5) | 0,044921875 |
| 29 | Falha na execução da manobra de recolhimento do mangote devido a pressões comerciais / (TGL) | | O navio-tanque não descarrega. Possível incêndio | X ₁₁ | 36 | 0,87500 (6) | 0,12500 (2) | 0,28125 (3) | 0,030761719 |

| | | | | | | | | | |
|----|--------------|---|---|-----------------|----|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 30 | | Mudança das condições ambientais / (NT e TGL) | O navio-tanque não descarrega. Possível incêndio | X ₁ | 24 | 0,50000 (4) | 0,87500 (6) | 0,03125 (1) | 0,013671875 |
| 31 | | Falha da tubulação de conexão entre os tanques de armazenamento e o TGL / (TGL) | O navio-tanque não descarrega. Possível incêndio | X ₂₂ | 84 | 0,96875 (7) | 0,12500 (2) | 0,87500 (6) | 0,105957031 |
| 32 | | Falha nos tanques de armazenamento / (TGL) | O navio-tanque não descarrega. Possível incêndio | X ₂₃ | 49 | 0,96875 (7) | 0,03125 (1) | 0,96875 (7) | 0,029327393 |
| 33 | Desatracação | Falha na execução da manobra devido a pressões comerciais / (NT e TGL) | O navio-tanque não desatraca, impedindo novas atracções | X ₁₁ | 36 | 0,87500 (6) | 0,12500 (2) | 0,28125 (3) | 0,030761719 |
| 34 | | Mudança das condições ambientais / (NT e TGL) | O navio-tanque não desatraca, impedindo novas atracções | X ₁ | 24 | 0,50000 (4) | 0,87500 (6) | 0,03125 (1) | 0,013671875 |
| 35 | | Falha do M.C.A. do navio-tanque / (NT) | Parada do sistema Diesel-gerador, impedindo novas atracções | X ₄ | 18 | 0,28125 (3) | 0,28125 (3) | 0,12500 (2) | 0,009887695 |
| 36 | | Falha do sistema de posicionamento dinâmico / (NT) | O navio-tanque demora na desatracção, impedindo novas atracções | X ₈ | 48 | 0,50000 (4) | 0,28125 (3) | 0,50000 (4) | 0,070312500 |
| 37 | | Falha do M.C.P. do navio-tanque / (NT) | Parada do motor de combustão, impedindo novas atracções | X ₁₂ | 18 | 0,28125 (3) | 0,28125 (3) | 0,12500 (2) | 0,009887695 |
| 38 | | Falha (humana) da equipe do TGL na manobra de desatracção / (TGL) | O navio-tanque encalha, impedindo novas atracções. Possível colisão | X ₁₄ | 75 | 0,71875 (5) | 0,28125 (3) | 0,71875 (5) | 0,145294189 |
| 39 | | Falha (humana) da equipe do navio-tanque na manobra de desatracção / (NT) | O navio-tanque encalha, impedindo novas atracções. Possível colisão | X ₁₃ | 75 | 0,71875 (5) | 0,28125 (3) | 0,71875 (5) | 0,145294189 |

Em MARTINS e MORAES (2013a), corroborando com o exposto por SANT'ANNA e PINTO JR. (2010), concluiu-se que a composição probabilística (conforme a medida de prioridade) aplicada na APP oferece uma análise mais apurada e adequada da percepção dos *experts*, em relação ao potencial perigo, desde que a análise seja feita conjuntamente com a prioridade de risco (se traduzindo em um auxílio). Ressalta-se que o Apêndice B foi uma APP preliminar para a Tabela 23, na linha do exposto na FSA (ver Figura 17).

4.3. Árvores de Falhas e Árvores de Eventos associadas ao processo

Conforme explicitado na subseção 2.4.4, a análise de árvore de falhas é uma técnica de análise de confiabilidade e segurança aplicada a sistemas, e visa determinar as causas de um evento indesejado chamado de “evento-topo”. A árvore de falhas utiliza uma estrutura lógica em forma de ramificações com símbolos de álgebra booleana (ver Figura 20, p. 69 e Figura 21, p. 70). A árvore de falhas desenvolvida para o processo em questão, observada a Tabela 23 e a coluna “X” (eventos), é dada pelo diagrama da Figura 58, tomando como evento-topo a não descarga do navio-tanque no TGL, que pode ou não resultar em liberação de material inflamável. Qualquer falha nas etapas apresentadas em 4.1, leva a uma não liberação do produto transportado pelo NT, não só em relação ao navio que está descarregando, mas também em relação a outros navios tanqueiros que estão em uma escala de programação, prejudicando o abastecimento do Estado do Espírito Santo. Na Tabela 23, alguns eventos de perigo são relativos ao NT; outros ao TGL; e ainda existem eventos comuns (ao TGL e ao NT). É importante ressaltar que não se está calculando o risco associado à operação de descarga³⁰.

³⁰ Certo é que no trabalho poder-se-ia apresentar a aplicação das técnicas às possíveis colisões e incêndios, como relacionado na PHA do Apêndice B. Além de aumentar consideravelmente a dissertação, o foco do trabalho ficaria comprometido. Por essa razão, o autor optou pela análise da não descarga.

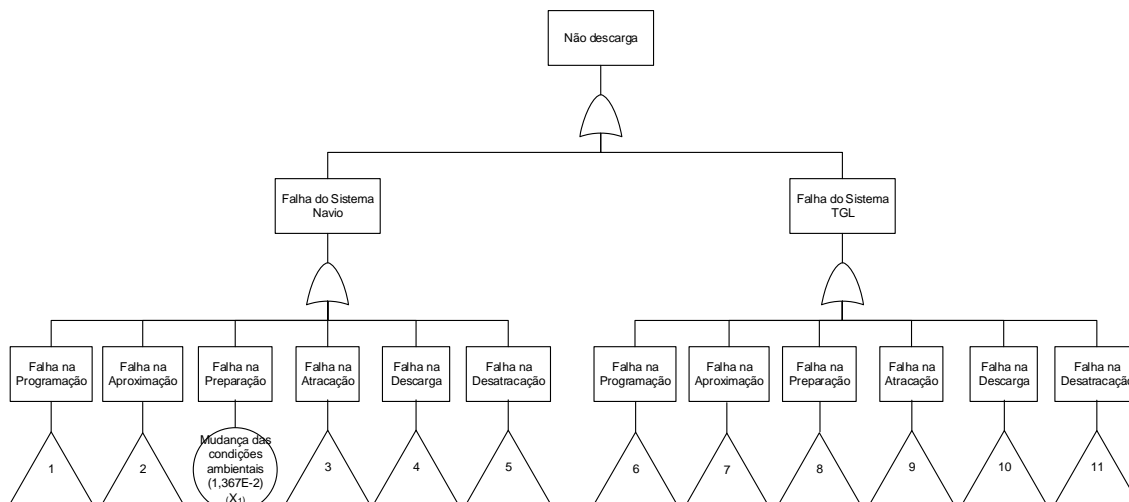


Figura 58 – Árvore de falhas – evento-topo “não descarga”.

Onde a falha da programação do navio-tanque (portão de transferência 1) possui a árvore dada pela Figura 59, com as probabilidades associadas.

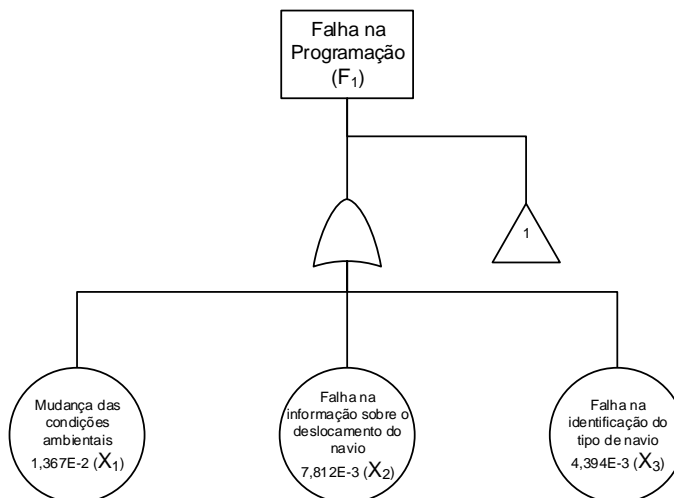


Figura 59 – Árvore de falhas – falha na programação – navio-tanque.

Na sequência, as árvores de falhas do navio-tanque para a aproximação (portão de transferência 2), atracação (portão de transferência 3), descarga (portão de transferência 4) e desatracação (portão de transferência 5) (Figura 60, Figura 61, Figura 62 e Figura 63), com as probabilidades associadas (a partir da Tabela 23).

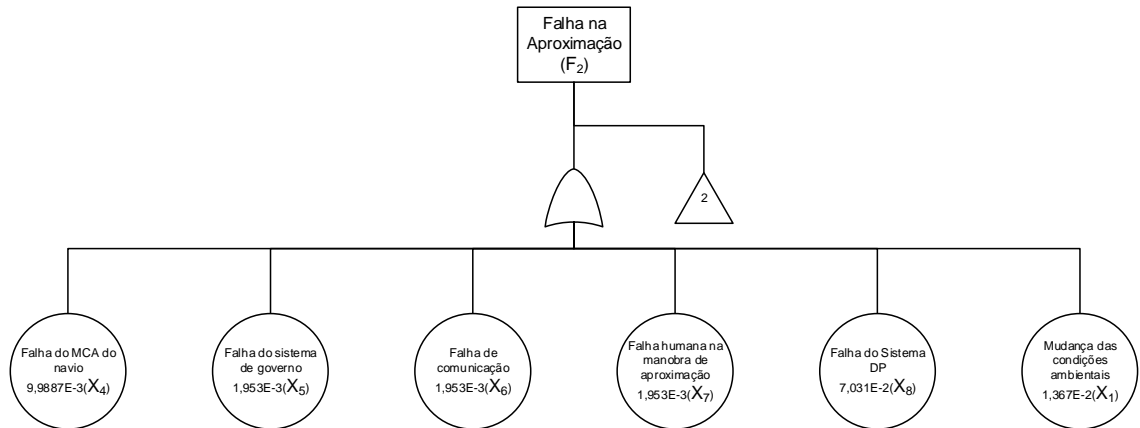


Figura 60 – Árvore de Falhas – falha na aproximação – navio-tanque.

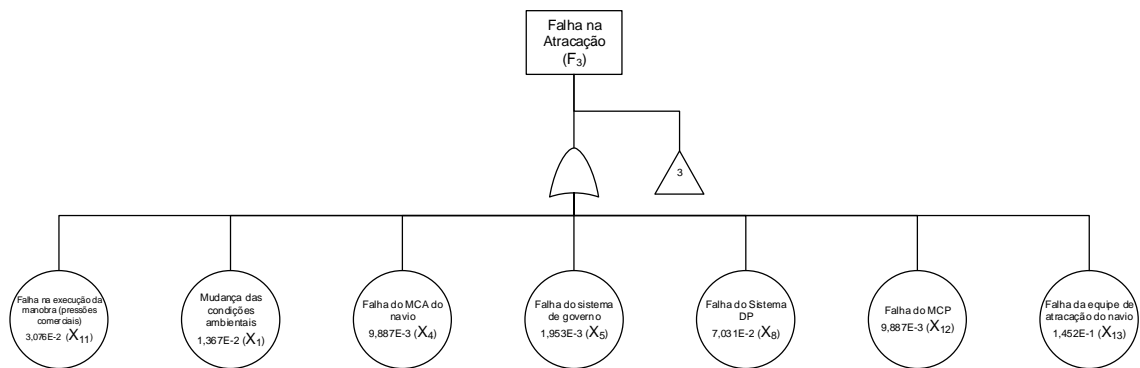


Figura 61 – Árvore de falhas – falha na atracação – navio-tanque.

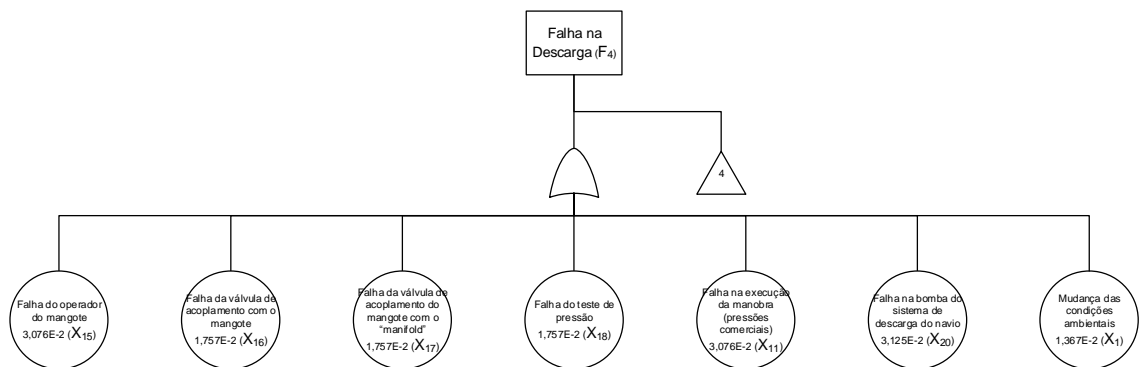


Figura 62 – Árvore de falhas – falha na descarga – navio-tanque.

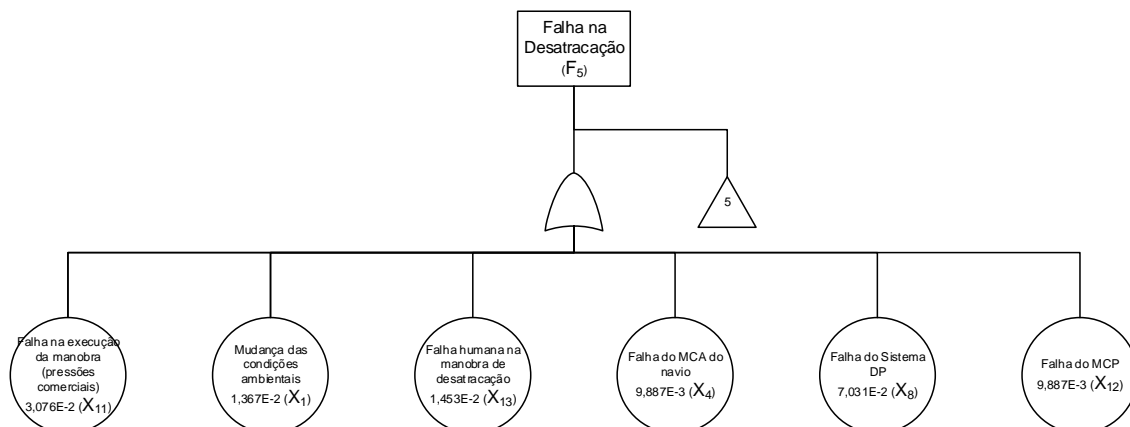


Figura 63 – Árvore de falhas – falha na desatracação – navio-tanque.

Em relação ao TGL, as árvores de falhas são mostradas a seguir, para a programação (portão de transferência 6), para a aproximação (portão de transferência 7), preparação (portão de transferência 8), atracação (portão de transferência 9), descarga (portão de transferência 10) e desatracação (portão de transferência 11) (Figura 64, Figura 65, Figura 66, Figura 67, Figura 68 e Figura 69), com as probabilidades associadas (a partir da Tabela 23).

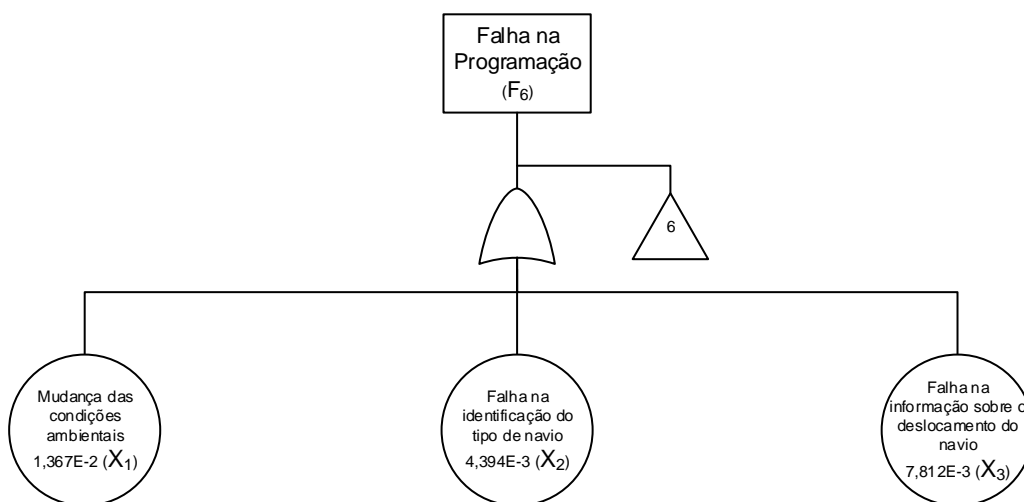


Figura 64 – Árvore de falhas – falha na programação – TGL.

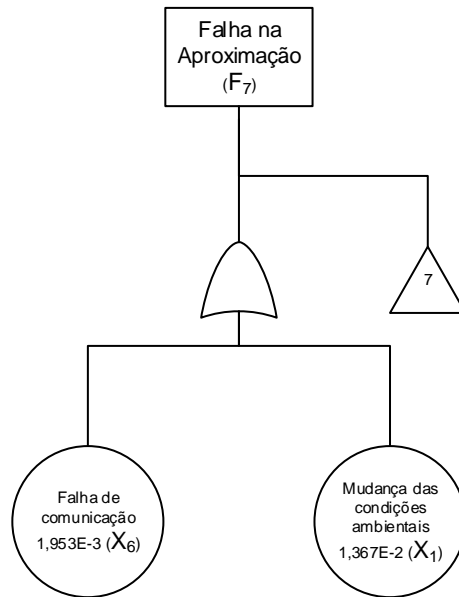


Figura 65 – Árvore de falhas – falha na aproximação – TGL.

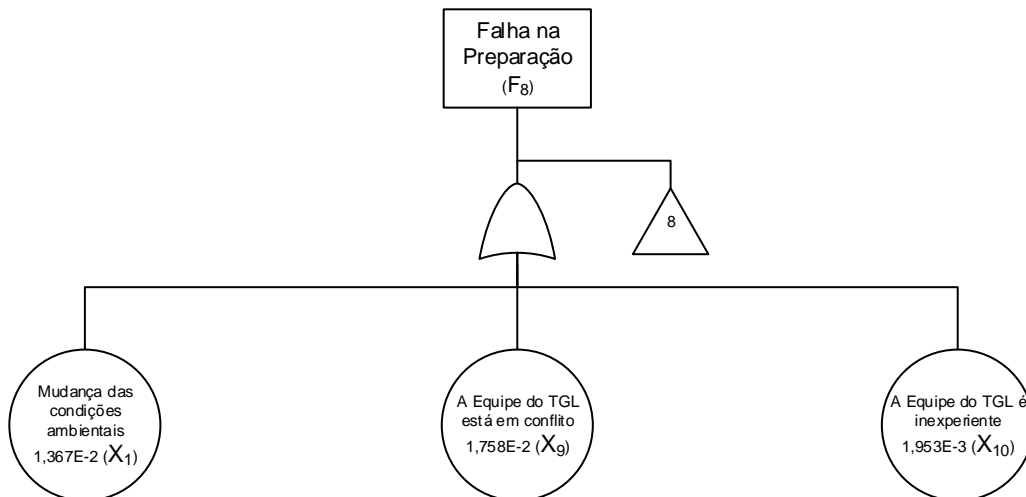


Figura 66 – Árvore de falhas – falha na preparação – TGL.

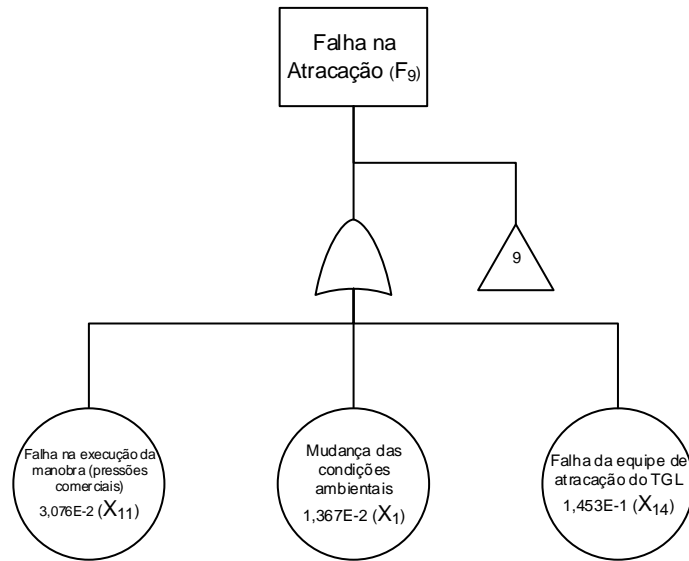


Figura 67 – Árvore de falhas – falha na atracação – TGL.

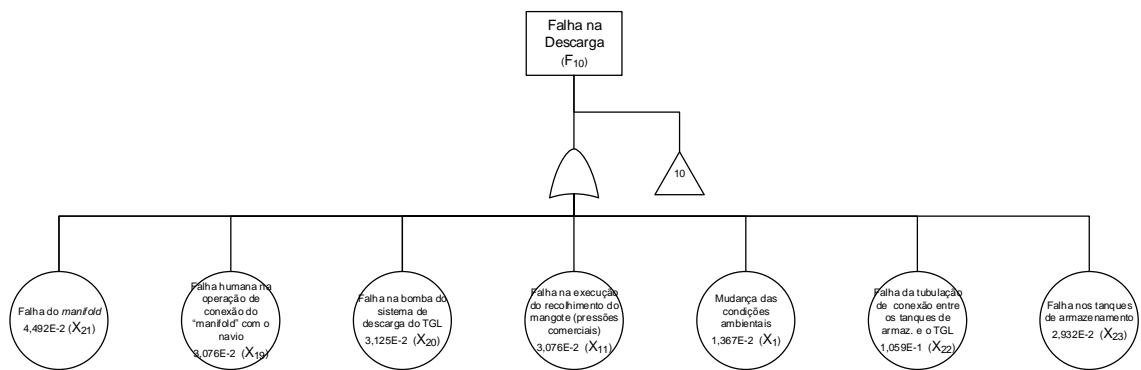


Figura 68 – Árvore de falhas – falha na descarga – TGL.

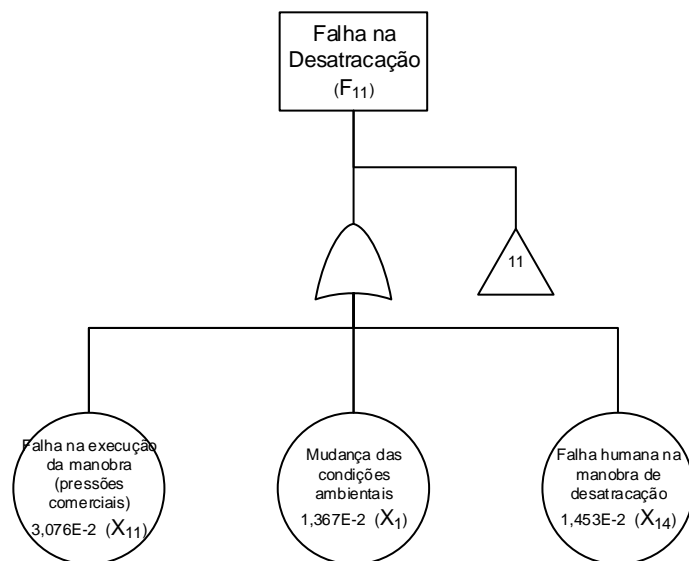


Figura 69 – Árvore de falhas – falha na desatracação – TGL.

No que tange à árvore de eventos ou ETA, como já informado na subseção 2.4.5, p. 75, trata-se de uma técnica indutiva que descreve a evolução de um evento inicializador e mostra todos os possíveis resultados da ocorrência do evento de perigo. A ETA é usada para modelar um sistema ou um processo qualitativa ou quantitativamente pela identificação, em regra, de possíveis cenários a partir de um evento inicializador (ISO, 2008). Na linha do foi elaborado, corroborando com a aplicação da técnica ETA, MITOMO *et al.* (2013); CHU e CHANG (2013), demonstram que a avaliação do risco em instalações *offshore* pode ser realizada com a árvore de eventos. Mais informações sobre o ETA, sugere-se a leitura da mencionada subseção.

Verifica-se falhas na programação, na aproximação, na preparação, na atracação, na descarga e na desatracação, tanto para o sistema navio, quanto para o sistema TGL. Os *cut-sets* mínimos são todos de primeira ordem e cada evento básico compõe um *cut-set* mínimo (de ordem 1 – ver 2.4.4), com portas “OR”, realizando a junção dos eventos básicos de falha. F_i ($i=1,2,\dots,11$) são os eventos resultantes (ou intermediários) das mencionadas falhas, tanto no NT, quanto no TGL; os eventos básicos estão mostrados na Tabela 23. Por exemplo, X_1 é o evento básico relativo à mudança das condições ambientais.

Então, considere a falha no evento programação, para o navio-tanque, representado por F_1 , que é dada pela união dos eventos básicos, mudança das condições ambientais (X_1), falha na informação sobre o deslocamento (Δ) do navio (X_2) e falha na identificação do tipo de navio (X_3), ou seja, usando a Álgebra Booleana da Figura 20, $F_1 = X_1 + X_2 + X_3$. Com o mesmo raciocínio, chega-se a Tabela 24:

Tabela 24 – Expressões dos eventos intermediários na FT.

| Evento Intermediário | Expressão |
|----------------------|---|
| F_1 | $X_1 + X_2 + X_3$ |
| F_2 | $X_1 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8$ |
| F_3 | $X_1 + X_4 + X_5 + X_8 + X_{11} + X_{12} + X_{13}$ |
| F_4 | $X_1 + X_{11} + X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} + X_{20}$ |
| F_5 | $X_1 + X_4 + X_8 + X_{11} + X_{12} + X_{13}$ |
| F_6 | $X_1 + X_2 + X_3$ |
| F_7 | $X_1 + X_6$ |
| F_8 | $X_1 + X_9 + X_{10}$ |
| F_9 | $X_1 + X_{11} + X_{14}$ |
| F_{10} | $X_1 + X_{11} + X_{19} + X_{20} + X_{21} + X_{22} + X_{23}$ |
| F_{11} | $X_1 + X_{11} + X_{14}$ |
| X_1 | X_1 |

Observadas as expressões (2.31) e (2.32), chega-se a seguinte expressão para o evento-topo (T), isto é a “não descarga”:

$$P(T) = P(F_1 \cup F_2 \cup \dots \cup F_{11} \cup X_1) \quad (4.1)$$

$$R_{\text{Processo}}(t) \geq 1 - [P(X_1) + P(X_2) + \dots + P(X_{23})] \quad (4.2)$$

De forma que, a expressão **(4.2)**, considerando os eventos independentes³¹, é idêntica a:

$$P(T) = 1 - [1 - P(X_1)] \cdot [1 - P(X_2)] \cdot \dots \cdot [1 - P(X_{23})] \quad (4.3)$$

Os valores de X_j , para $j=1, \dots, 23$, estão na Tabela 23, que são os valores de P na mencionada tabela. Desta forma, observada a expressão (4.3), aplicando os valores de X_j , tem-se: $P(T) \cong 0,561660133087247$. Desta forma, obtém-se uma probabilidade considerável para a não ocorrência da descarga. Ressalta-se que, dentre as limitações da FTA, tem-se a não consideração das dependências entre as variáveis e a concepção de variáveis binárias. Também não há como considerar os

³¹ Com a observância da simplificação para eventos raros, desconsiderando as interseções cruzadas.
Aplicação de Redes Bayesianas na Análise de Risco do processo de descarga do navio-tanque em um terminal portuário especializado

fatores de desempenho na atuação do elemento humano, em total dissonância com o caso aqui estudado.

A árvore de eventos do processo de descarga em estudo é mostrada na Figura 70.

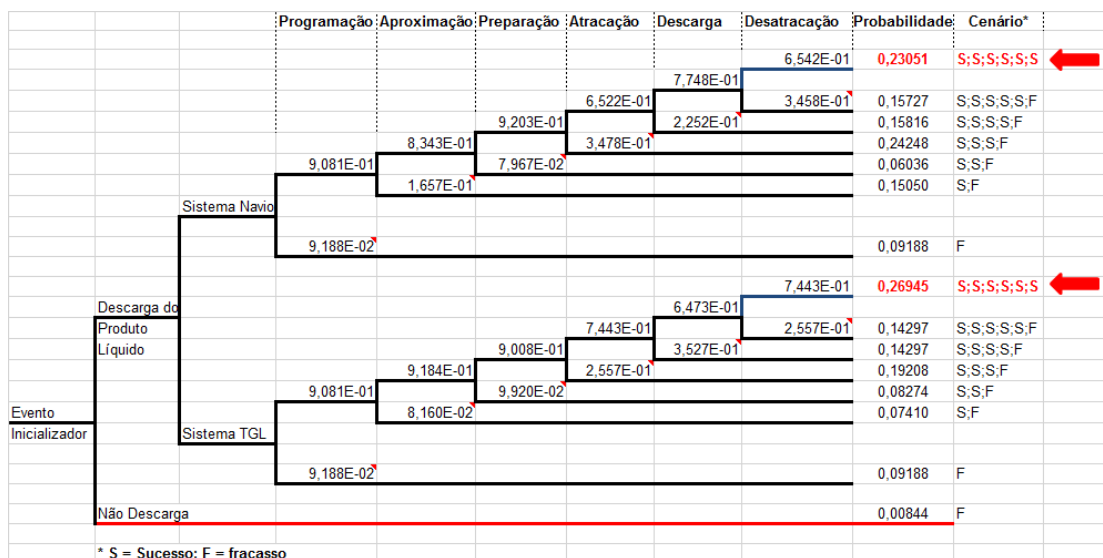


Figura 70 – Árvore de Eventos – Descarga Líquida – NT para o TGL.

O ramo inferior da árvore ou a última linha (em vermelho) significa a ocorrência simultânea da falha no sistema NT e no sistema TGL. Observe que, para o cálculo da descarga do líquido inflamável, deve-se considerar as probabilidades de sucesso do sistema NT e do sistema TGL, respectivamente, 0,23051 e 0,26945 (seta em vermelho). Com isso, A probabilidade de sucesso em todas as etapas, isto é, $P(\bar{T}) \cong 0,23051 + 0,26945 - 0,23051 * 0,26945$, é de 0,43785, ou seja, $P(T) \cong 0,56215$. A diferença (insignificante) com o resultado encontrado na FTA (0,08705% da FTA para a ETA), deve-se as sucessivas aproximações dos valores em planilha. Em relação à ETA faz-se a mesma ressalva que foi feita para a FTA, no caso estudado: não consideração de dependências, variáveis binárias e não tratamento dos fatores de desempenho (FD). As informações fornecidas pelos especialistas, por ocasião do ranqueamento e da composição probabilística (ver Tabela 22 e Tabela 23), também influenciam no resultado.

No próximo tópico será apresentada a Rede Bayesiana associada ao processo a partir da Árvore de Falhas, com o auxílio da Árvore de Eventos.

4.4. Redes Bayesianas associadas ao processo

Em relação às Redes Bayesianas associadas ao processo de descarga de granéis líquidos inflamáveis de um navio-tanque para um terminal especializado, ressalta-se que a BN foi construída em duas etapas:

- (1) A RB originada da conversão das Árvores de Falhas da seção anterior, com o auxílio da Árvore de Eventos³², que orienta os cenários;
- (2) A RB construída para os eventos básicos da Árvore de Falhas onde há participação relevante do elemento humano.

Com a construção das redes, tem-se, então, a integração das mesmas formando uma única RB.

Nas próximas subseções, serão apresentadas as mencionadas RB's.

4.4.1. Conversão das Árvores de Falhas em Redes Bayesianas

Conforme foi visto no tópico 4.1, o processo de descarga sob análise, é dividido em etapas a saber: (i) programação e chegada do navio-tanque; (ii) preparação do pessoal do porto (TGL) e do NT para a atracação do navio-tanque; (iii) aproximação do navio-tanque; (iv) atracação do navio-tanque; (v) movimentação dos equipamentos e descarga no terminal; (vi) desatracação do navio-tanque. Na construção da RB dos sistemas sob análise, foi feita uma conjugação do sistema NT e do sistema TGL. O intuito é simplificar a rede, já que na descarga do produto líquido inflamável ocorre a participação dos sistemas em conjunto (em relação aos seus elementos).

³² A construção da árvore de eventos ratifica a FTA e leva a uma melhor percepção das limitações das técnicas.

Na Figura 71, é mostrado a RB da etapa de programação do navio-tanque e do TGL para o processo de descarga (correlacionada à Figura 59 e à Figura 64), com as probabilidades extraídas da árvore de falhas, cuja obtenção já foi explicada, de acordo com Tabela 23.

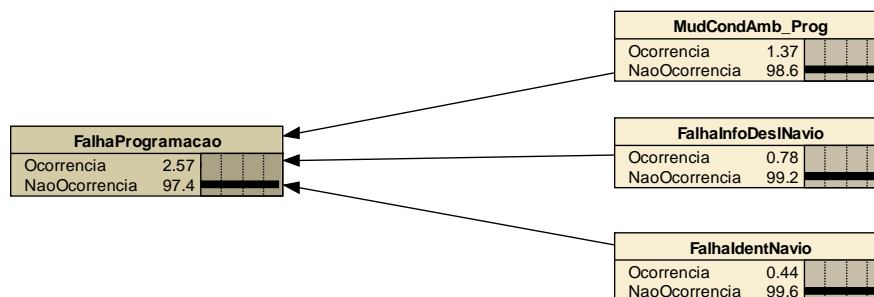


Figura 71– Rede bayesiana para a etapa de programação.

Para a avaliação quantitativa da RB deverá ser definida a Tabela de Probabilidades Condicionadas para cada nó das etapas, cujo preenchimento será explicado no tópico 4.4.4.

Na Figura 72, é mostrado a RB da etapa de preparação do navio-tanque e do TGL para o processo de descarga (correlacionada com a Figura 66), com as probabilidades extraídas da árvore de falhas.

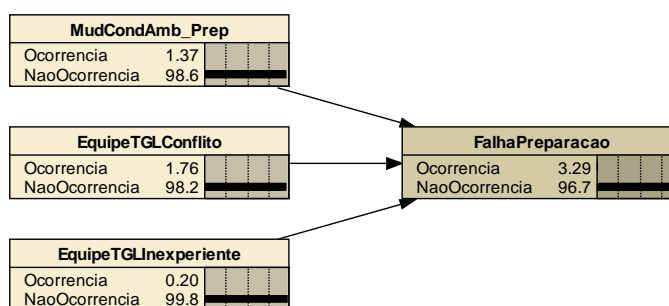


Figura 72 – Rede bayesiana para a etapa de preparação.

Na Figura 73, é mostrado a RB da etapa de aproximação do navio-tanque para o TGL a fim de realizar a atracação (correlacionada à Figura 60 e à Figura 65), com as probabilidades extraídas da árvore de falhas³³.

³³ A junção das informações relativas ao NT e ao TGL não prejudicam a análise, haja vista que a análise é relativa ao processo, e não dos sistemas em separado.

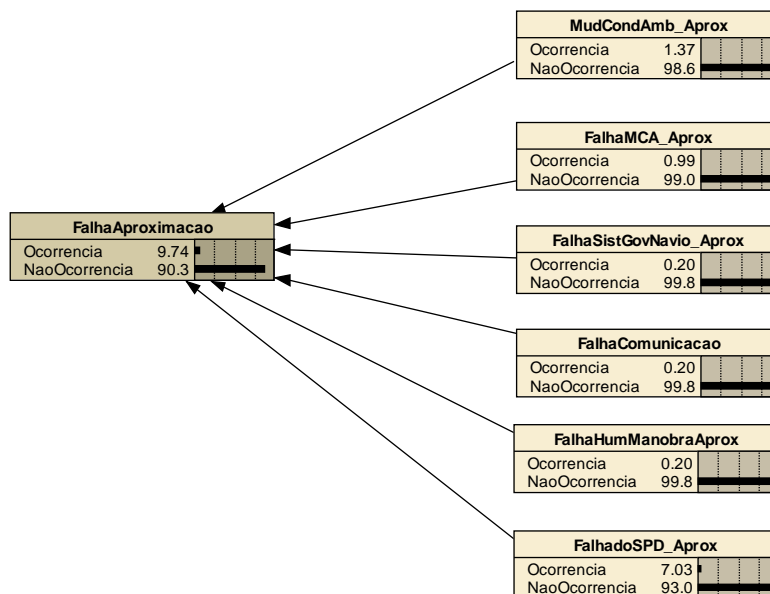


Figura 73 – Rede bayesiana para a etapa de aproximação.

Na Figura 74, é mostrado a RB da **etapa de atracação** do navio-tanque no TGL a fim de efetivar a descarga do produto líquido inflamável (correlacionada à Figura 61 e à a Figura 67), com as probabilidades extraídas da árvore de falhas.

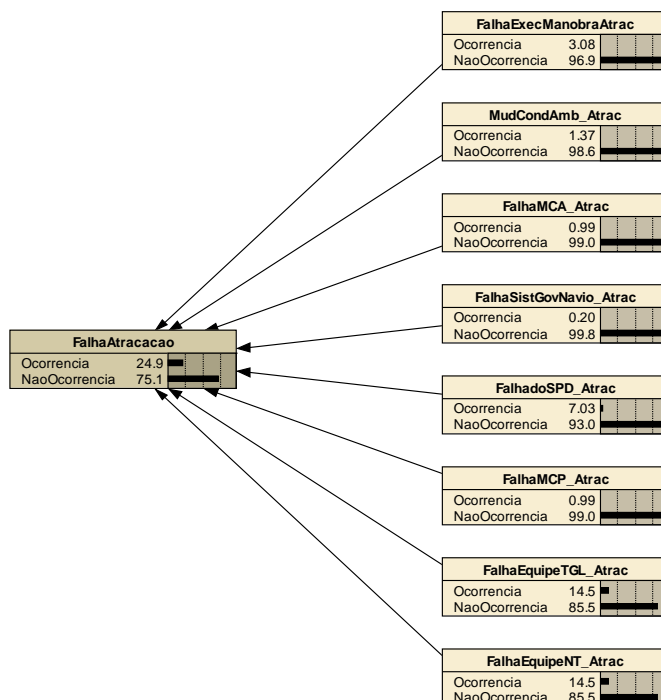


Figura 74 – Rede bayesiana para a etapa de atracação.

Na Figura 75, é mostrado a RB da **etapa de descarga** do navio-tanque no TGL do produto líquido inflamável que será direcionado para os tanques de armazenamento (correlacionada a Figura 62 e a Figura 68), com as probabilidades extraídas da árvore de falhas.

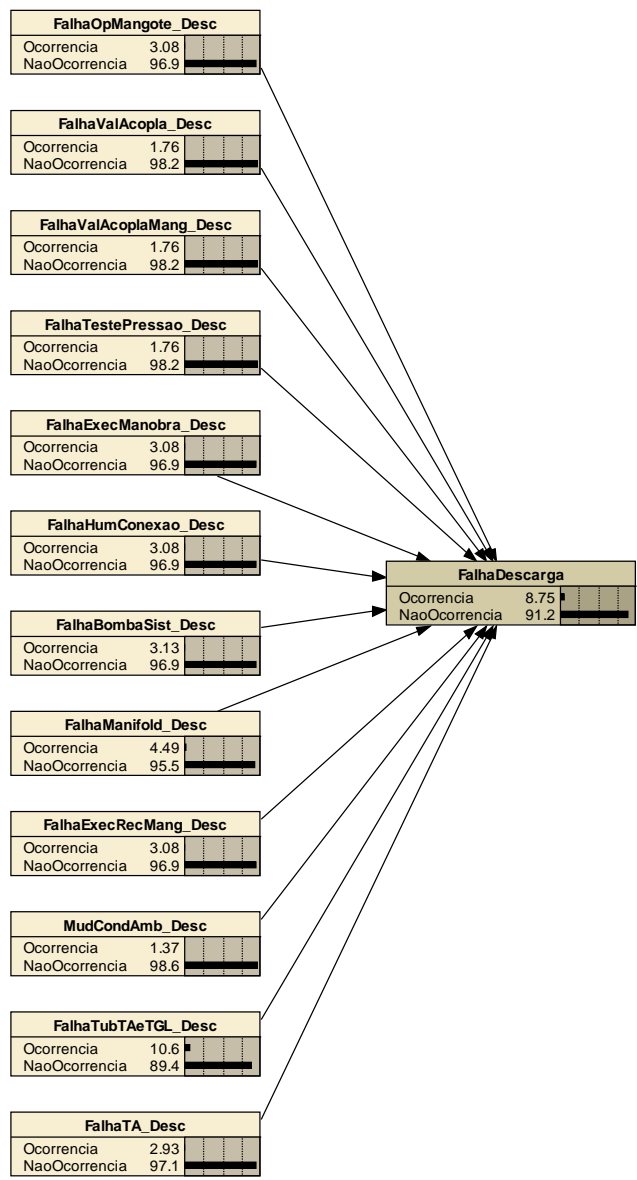


Figura 75 – Rede bayesiana para a etapa de descarga.

Na Figura 76, é mostrado a RB da **etapa de desatracação** do navio-tanque do TGL após ter realizado a descarga do granel líquido inflamável (correlacionada a Figura 63 e a Figura 69), com as probabilidades extraídas da árvore de falhas.

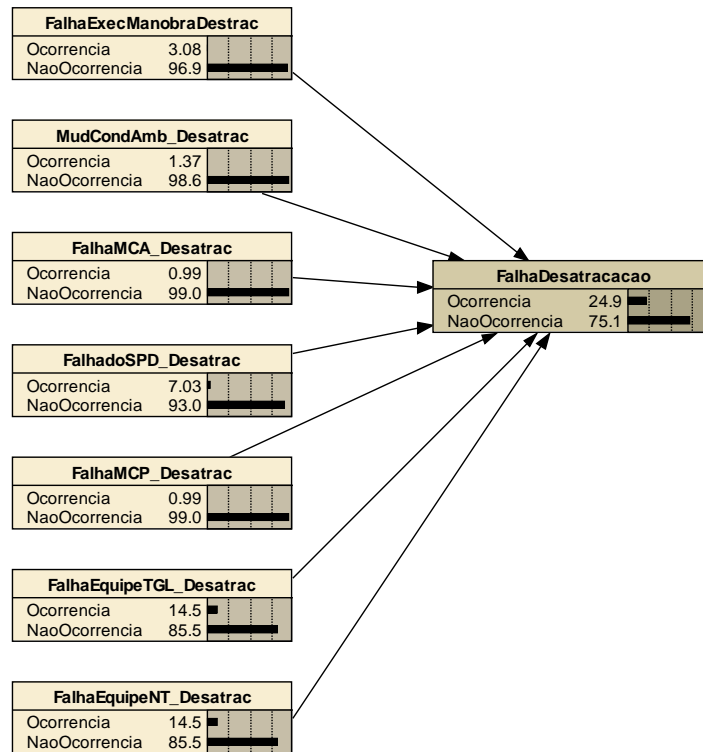


Figura 76 – Rede bayesiana para a etapa de desatracção.

Na Figura 77, é mostrado a RB completa do processo de descarga do navio-tanque em um TGL, com a observância da descarga ou não do granel líquido inflamável, com as probabilidades extraídas da árvore de falhas.

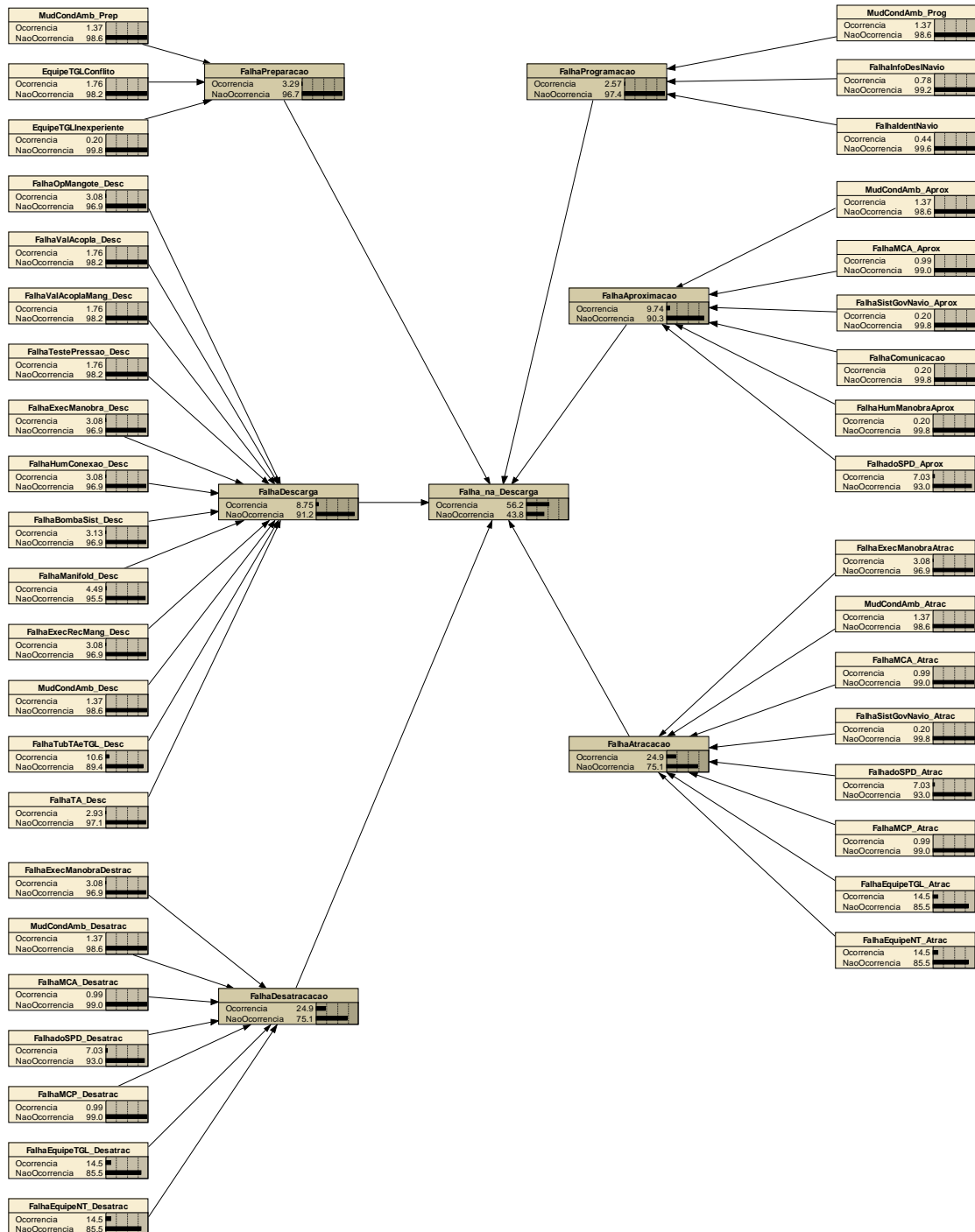


Figura 77 – Rede bayesiana completa com a conversão da árvore de falhas do tópico 4.3.

Na avaliação dos resultados, vê-se que a ocorrência de falha do processo de descarga do navio-tanque no TGL é de 56,20%, considerando a conversão da árvore de falhas em RB, usando variáveis determinísticas (evidenciado o nó). Como era de se esperar, o resultado confere com o obtido na FTA e na ETA.

Segundo as informações dos especialistas e operadores dos sistemas e de acordo com as informações da Capitania dos Portos do E.S. e do Tribunal Marítimo, em média, por ano, ocorre uma falha na descarga, por variadas razões (principalmente pelo mau tempo – ver Tabela 4). Cada navio-tanque descarrega, em média, uma vez a cada dez dias, considerando o intervalo de tempo da programação até a desatracação, com posicionamento seguro do NT na baía de Vitória/ES, havendo a possibilidade de desabastecimento de diversos produtos combustíveis na Grande Vitória/ES, quando não há continuidade na descarga, necessitando de outras fontes para suprir a falta de produto (transporte rodoviário e barcas). No total são em média 37 descargas. Logo, sob a ótica da estatística freqüencista (ver 2.1), por ano, a probabilidade de não descarga é $\frac{1}{37} \cong 0,027 = 2,7\%$!

DROGUETT et al. (2010) nos informa que a modelagem da HRA com as técnicas de 1ª (ex. THERP) e 2ª (ex. ATHEANA) gerações apresentam deficiências como informado no Capítulo 2. O uso das RB's (considerada pelos autores como técnica de 3ª geração) descreve melhor o desempenho humano, levando em consideração fatores internos e externos relacionados e, também, as consequências de suas ações.

As técnicas de 1ª e 2ª gerações, segundo os mencionados autores, não levam em consideração as relações de dependência dos fatores de desempenho (FD), devido ao uso de ferramentas como árvores de falhas e de eventos, que apresentam grandes dificuldades para modelar relações de dependência intrínsecas às ações humanas. Não basta modelar erro de omissão e comissão (1ª geração) ou/e erros de intenções e erros cognitivos (2ª geração). E finalizam dizendo que, nos sistemas complexos (como o caso aqui considerado) não devem ser usadas a ETA e a FTA; para estes, onde há uma elevada quantidade de variáveis com interdependências entre elas, a técnica com as Redes Bayesianas é a mais adequada.

O valor apresentado na aplicação da ETA e da FTA, bem como na RB construída a partir da árvore de falhas, conforme a Figura 77, é elevado. Todavia,

como é possível observar na RB completa e pela Tabela 23, há interferência do elemento humano, em vários nós pais que se correlacionam aos nós filhos “FalhaProgramacao”, “FalhaPreparacao”, “FalhaAtracao”, “FalhaDescarga” e “FalhaDesatracacao”, que por seu turno, são nós pais do nó “Falha_na_Descarga”, que é o nó final, equivalente ao evento-topo na árvore de falhas. Há necessidade, portanto, de se modelar o elemento humano, e o tópico a seguir, mostra o emprego da técnica RB, superando as limitações das técnicas ETA e FTA.

4.4.2. Redes Bayesianas Dinâmicas das Tarefas

As Redes Bayesianas, segundo DROGUETT et al. (2010), contextualizam o erro humano, tanto de maneira qualitativa, quanto quantitativa, sendo que pequenos desvios de comportamento humano são tratados, havendo representação real e dinâmica das interações homem-máquina.

A utilização de Redes Bayesianas para aferir o nível de segurança de um porto é mostrada por RIAHI *et al.* (2013), tendo em vista a movimentação dos navios contêineres em um mundo mais globalizado a cada dia. Os autores afirmam que o uso das RB's nestes casos é mais apropriado. A situação informada pelos autores é adequada ao caso em estudo, como se verá neste trabalho. As atividades relacionadas aos eventos básicos da Árvore de Falhas com o evento-topo “não descarga” que tenham a participação do elemento humano são mostradas na Tabela 25. As atividades estão numeradas na ordem em que ocorrem.

Partindo destes eventos e considerando a Tabela 25, bem como a Árvores de falhas e de eventos apresentadas anteriormente, e seguindo os procedimentos de MARTINS e MATURANA (2009), foram desenvolvidas as Redes Bayesianas Dinâmicas das tarefas³⁴, partindo da premissa que cada evento básico com participação dos operadores leva, originalmente, a falha de execução de alguma tarefa. A RB é montada correlacionando as tarefas às atividades. Por exemplo, se a

³⁴ Nada obstante o termo Redes Bayesianas Dinâmicas – RDD ser utilizado, comumente, como RD's usadas em séries temporais, a expressão foi utilizada neste trabalho em referência às tarefas relativas ao processo de descarga do NT no TGL.

tarefa possui apenas uma atividade, a RB possuirá somente um nó. Estas redes foram agregadas a RB construída a partir da Árvore de Falhas da seção anterior.

Tabela 25 – Eventos básicos e atividades correlacionadas.

| Item da Tabela 23. | Etapa | Evento | Atividade ³⁵ |
|--------------------|-------------|---|--|
| 2 | Programação | Falha na identificação do tipo de navio (TGL/NT) | 1-O Gerente da Cia. Transportadora informa 2-Entendimento (errado) do Supervisor do TGL 3- O Oficial de Náutica (ON) manobra o navio 4-Comandante do NT ratifica o erro do ON 5-Tomada de Decisão (manobrar do navio) 6-Detecção do Erro (pelo ON ou pelo Comandante) |
| 3 | | Falha na informação sobre o deslocamento (Δ) do navio (TGL/NT) | 1-Gerente da Cia. Transportadora informa 2-Entendimento (errado) do Supervisor do TGL 3- O ON manobra o navio 4-Comandante do NT ratifica o erro do ON 5-Tomada de Decisão (manobrar o navio) 6-Detecção do Erro (pelo ON ou pelo Comandante) |
| 6 | Aproximação | Falha de Comunicação (TGL/NT) | 1-O ON entendeu (errado) aproximar do TGL 2-O Comandante do NT ratifica o erro do ON 3-O Comandante do NT não faz contato por qualquer meio 4-O Supervisor do TGL não faz contato por qualquer meio 5-Tomada de decisão (aproximar o navio) 6-Detecção do Erro (pelo ON ou pelo Comandante) |
| 7 | | Falha na manobra do NT em aproximação para o TGL (NT) | 1- O Prático sugere manobra (errada) 2-Comandante ratifica o erro do ON 3-Erro do Timoneiro 4-Tomada de decisão (aproximar o NT) 5-Detecção do Erro (pelo ON ou pelo Comandante) |
| 10 | Preparação | Equipe do TGL está em conflito e erra (TGL) | 1-O Supervisor do TGL não atua no conflito 2-O Líder da Op. não faz nada 3-Inspetor A1 ³⁶ não critica 4-Inspetor A2 não critica 5-O Inspetor CM informa (errado) ao Líder 6-Tomada de Decisão (preparar o TGL) 7-Detecção do Erro (pelo Líder) |

³⁵ A apresentação das atividades utilizando a técnica ETA, como SARSHAR et al., 2012 e HAUGEN et al., 2012, levaria a um refinamento, identificando os possíveis cenários; todavia, por restrição de tempo e tamanho da dissertação, optou-se pela apresentação tabelada.

³⁶ Conforme informado anteriormente, a Cia. Concessionária participa com dois Inspetores de atracação (A1 e A2), um Inspetor de desatracação (D), um Inspetor de monitoramento das condições meteorológicas e oceanográficas (CM), um Líder de Operação (Op.) e sete marinheiros para amarração (ou desamarração), havendo, ainda, um engenheiro-supervisor do TGL.

| | | | |
|----|-----------|---|---|
| 11 | | Equipe do TGL é inexperiente e erra (TGL) | <p>1-O Supervisor do TGL mantém a equipe</p> <p>2-Líder da Op. concorda</p> <p>3-Inspetor A1 não critica</p> <p>4-Inspetor A2 não critica</p> <p>5-O Inspetor CM informa (errado) ao Líder</p> <p>6-Tomada de Decisão (preparar o TGL)</p> <p>7-Detecção do Erro (pelo Líder)</p> |
| 13 | Atracação | Falha na execução da manobra de atracação devido a pressões comerciais (TGL/NT) | <p>1-O Gerente da Cia. Transportadora³⁷ informa</p> <p>2-O Supervisor da Cia. Transportadora concorda</p> <p>3-O Supervisor do TGL não faz nada</p> <p>4-Líder da Op. se omite</p> <p>5-O Inspetor A1 não critica a manobra</p> <p>6-O Inspetor A2 não critica a manobra</p> <p>7-O Inspetor CM informa (errado) ao Líder</p> <p>8-O Prático sugere manobra (errada)</p> <p>9- O ON manobra o navio (para atracação)</p> <p>10-O Comandante do NT ratifica o erro</p> <p>11-Erro do Timoneiro</p> <p>12-Tomada de decisão (atracar o NT)</p> <p>13-Detecção do Erro (pelo ON ou pelo Comte.)</p> |
| 19 | | Falha na execução da manobra de atracação por outras questões (NT) | <p>1-O Prático sugere manobra (errada)</p> <p>2- O ON manobra o navio</p> <p>3-O Comandante do NT ratifica o erro</p> <p>4-Erro do Timoneiro</p> <p>5-Erro dos Marinheiros de Convés (são 2)</p> <p>6-Tomada de decisão (atracar o NT)</p> <p>7-Detecção do Erro (pelo ON ou pelo Comandante)</p> |
| 20 | | Falha na execução da manobra de atracação por outras questões (TGL) | <p>1-O Líder da Op. dá ordem (errada)</p> <p>2-Inspetor A1 não critica a manobra</p> <p>3-Inspetor A2 não critica a manobra</p> <p>4-O Inspetor CM informa (errado) ao Líder</p> <p>5-Erro dos Amarradores (são 7)</p> <p>6-Tomada de decisão (atracar o NT)</p> <p>7-Detecção do Erro (pelo Líder)</p> |
| 21 | Descarga | Falha do operador do mangote (NT) | <p>1-Erro do Marinheiro do Mangote (Convés)</p> <p>2-Tomada de decisão (descarregar o NT)</p> <p>3-Detecção do Erro (pelo ON)</p> |

³⁷ Como informado anteriormente, há um Gerente e um Supervisor da Cia. Transportadora.

| | | | |
|----|--------------|---|--|
| 25 | | Falha na execução da manobra de descarga devido a pressões comerciais (TGL/NT) | <p>1-Gerente da Cia. Transportadora informa a todos 2-O Supervisor da Cia. Transportadora concorda 3-O ON manobra o navio (não diz nada e cumpre) 4-Erro do Marinheiro do Mangote (Convés) 5-O Líder da Op. não diz nada 6-O Inspetor CM informa (errado) ao Líder 7-Tomada de decisão (descarregar o NT) 8-Detecção do Erro (pelo Líder ou ON)</p> |
| 26 | | Falha na operação de conexão do <i>manifold</i> com o navio-tanque (TGL/NT) | <p>1-O Líder da Op. não manda parar a manobra 2-O ON se omite 3-Erro do Marinheiro do Mangote (Convés) 4-Tomada de decisão (descarregar o NT) 5-Detecção do Erro (pelo Líder ou ON)</p> |
| 29 | | Falha na execução da manobra de recolhimento do mangote devido a pressões comerciais (TGL/NT) | <p>1-O Líder da Op. não manda parar a manobra 2-O Inspetor D não critica a manobra 3- O ON se omite 4-Erro do Marinheiro do Mangote (Convés) 5-Tomada de decisão (recolher mangote) 6-Detecção do Erro (pelo Líder ou ON)</p> |
| 33 | Desatracação | Falha na execução da manobra de desatracação devido a pressões comerciais (TGL/NT) | <p>1-Supervisor do TGL dá a ordem 2-O Gerente da Cia. Transportadora concorda 3-O Supervisor da Cia. Transportadora concorda 4-O Prático sugere manobra (errada) 5-O ON manobra o navio 6-O Comandante do NT ratifica o erro 7-Erro do timoneiro 8-Erro do Marinheiro de Convés (são 2) 9-O Líder da Op. não faz nada 10-O Inspetor D não critica a manobra 11-O Inspetor CM informa (errado) 12-Tomada de decisão (desatracar o NT) 13-Detecção do Erro (pelo ON ou Comte.)</p> |
| 38 | | Falha na manobra de desatracação do navio-tanque por outras questões (TGL) | <p>1-O Supervisor do TGL dá a ordem 2-O Gerente da Cia. Transportadora concorda 3-O Supervisor da Cia. Transportadora concorda 4-O Líder da Op. se omite 5-O Inspetor D não critica a manobra 6-O Inspetor CM informa (errado) ao Líder 7-Tomada de decisão (desatracar o NT) 8-Detecção do Erro (pelo Líder ou ON)</p> |
| 39 | | Falha na manobra de desatracação do navio-tanque por outras questões (NT) | <p>1-O Prático sugere manobra (errada) 2-O ON manobra o navio 3-O Comandante ratifica o erro 4-Erro do Timoneiro 5-Erro do Marinheiro de Convés (são 2) 6-Tomada de decisão (desatracar o NT) 7-Detecção do Erro (pelo Líder ou ON)</p> |

Como informado, deve ser dado um tratamento adequado das dependências, no campo da HRA, que é um problema bem enfrentado pela RB, conforme mostra MOSLEH e EKANEM (2013) e DROGUETT et al. (2005). Segundo os autores, a técnica de RB supera as técnicas ETA e FTA, na HRA, porque esses métodos, trabalham as variáveis como se fossem independentes, tornando-se, como já mencionado anteriormente, uma característica limitadora, para o trabalho aqui apresentado.

As RB facilitam a modelagem das ações humanas, pois é possível admitir as relações de dependência entre os fatores de desempenho (FD), ou seja, a dinâmica das relações do homem com o contexto, outras pessoas e as máquinas utilizadas (DROGUETT et al., 2010).

A seguir, são apresentadas as redes para estas tarefas, levando em consideração os eventos básicos com elemento humano, sendo apresentados dois estados para cada nó. A numeração dos eventos respeita o disposto na Tabela 23.

4.4.2.1. Evento 2 – Falha na Identificação do Tipo de Navio (NT/TGL)

Na instalação industrial sob estudo, como foi dito anteriormente, na programação e chegada do navio, a Cia. Transportadora informa a Cia. Concessionária do terminal a programação dos navios que transportam os combustíveis, qual o combustível a ser descarregado, cabendo à Cia. Concessionária a validação de tal programação por meio da análise da disponibilidade do TGL para a operação. O Supervisor do TGL é que faz a validação e recebe a informação sobre o tipo de navio, observadas as restrições gerais e específicas para os navios-tanques, já informadas. Se a Cia. Transportadora, por intermédio do seu Gerente informa errado o tipo de navio-tanque para o Supervisor do TGL, a falha ocorre. Se o Supervisor entende errado e autoriza a atracação, a falha ocorre. Se o Oficial de Náutica recebe a informação de que é para atracar, não observando as restrições, e comunica ao Comandante do NT, que ratifica a ordem, a falha ocorre. O erro só é percebido com a aproximação do NT para atracação. A falha é conjunta, tanto da equipe do TGL, quanto da equipe do NT. Considerando

que o Oficial de Náutica ou/e o Supervisor do TGL podem tomar decisões equivocadas, a rede desenvolvida é mostrada na Figura 78.

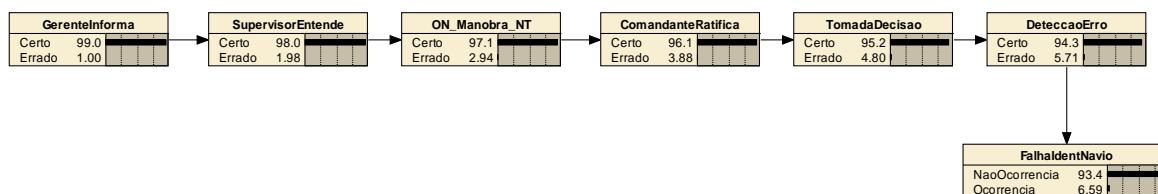


Figura 78 – Rede Bayesiana do evento 2.

4.4.2.2. Evento 3 – Falha na Informação sobre o deslocamento do Navio (NT/TGL)

A falha também é conjunta: TGL e NT. O deslocamento máximo do navio para atracação foi informado anteriormente, se constituindo em uma restrição geral. Em geral, de acordo com a visita à planta, só atracam NT de, no máximo, 40.000 ton. de deslocamento. O supervisor do TGL recebe essa informação, e é possível que entenda errado. Comunica a permissão para atracação no TGL ao NT. Por seu turno, o Oficial de Náutica não sabe das limitações, e pode ter uma informação equivocada para tomar a decisão de aproximar o NT. O procedimento daqui para diante é o mesmo da seção anterior e a rede desenvolvida é a mesma (Figura 79).

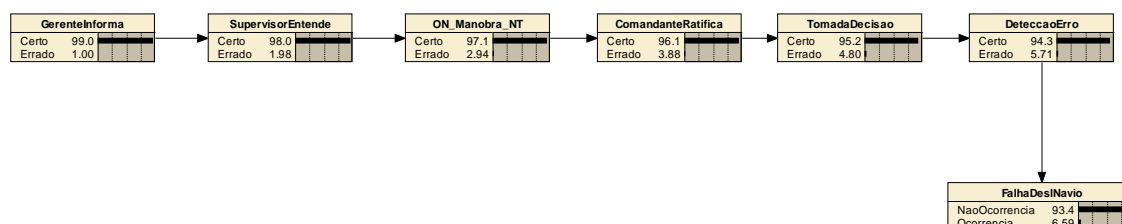


Figura 79 – Rede Bayesiana do evento 3.

4.4.2.3. Evento 6 – Falha de Comunicação (NT/TGL)

A comunicação é feita principalmente por via rádio, e secundariamente por meio de sinais (bandeiras) ou código Morse. Pode ocorrer de a comunicação ser realizada em inglês. O NT só vai se aproximar se receber autorização do Supervisor do TGL. O Oficial de Náutica pode entender errado, sendo ratificado pelo Comandante do NT. O Comandante pode entender que não é necessário entrar em

Aplicação de Redes Bayesianas na Análise de Risco do processo de descarga do navio-tanque em um terminal portuário especializado

contato com o TGL, e por sua vez, o Supervisor do TGL não entra em contato com o navio. É tomada a decisão de manobrar o navio pelo Comandante, e a falha ocorre, sendo que, a detecção do erro, é efetivada ou pelo pessoal do NT (O Oficial de Náutica) ou pelo pessoal do TGL (Líder). A rede desenvolvida é mostrada na Figura 80.

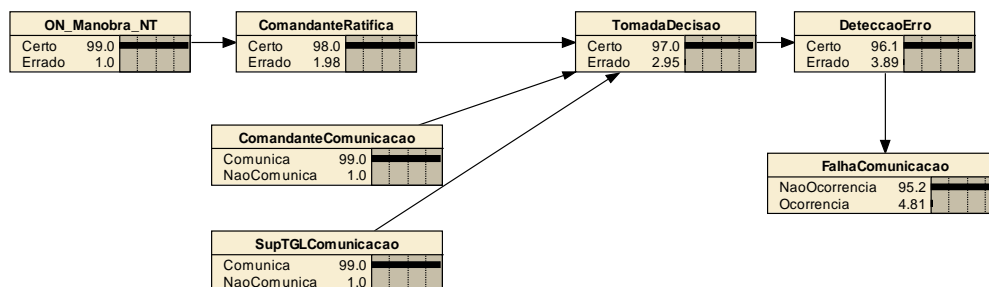


Figura 80 – Rede bayesiana do evento 6.

4.4.2.4. Evento 7 – Falha na aproximação do NT para o TGL (NT)

A atuação do prático, na configuração estudada, é obrigatória, por força das normas da Diretoria de Portos e Costas da Marinha e da IMO. Ele pode sugerir decisões equivocadas, não observando as restrições gerais e específicas para os navios-tanques, na área sob estudo, conforme já informado. Por sua vez, o Comandante do NT, que deve estar presente nesta situação de manobra, nada diz, ratificando o erro do prático. Também pode ocorrer do Prático sugerir determinada rota ao Oficial de Náutica – ON, ratificada pelo Comandante, e o timoneiro errar. A decisão de manobrar o NT em qualquer circunstância é tomada, e o erro ocorre na sequência. O erro é do pessoal do NT. A rede construída para este evento é mostrada na Figura 81.

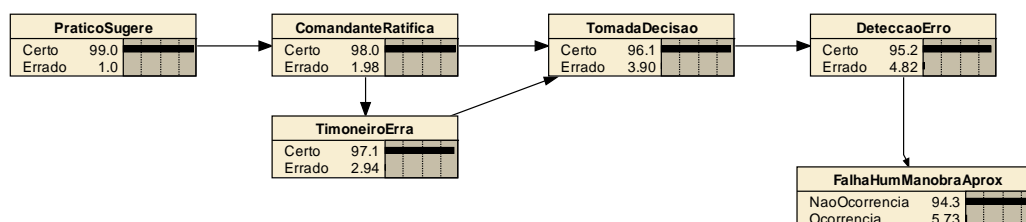


Figura 81 – Rede bayesiana do evento 7.

4.4.2.5. Evento 10 – Equipe do TGL está em conflito e erra (TGL)

A equipe do TGL é composta de 11 pessoas (Cia. Concessionária). É muito provável que haja algum conflito, tendo em vista a rotina pesada, repetitiva e contínua a que são submetidos. O autor presenciou tal conflito, sob a forma de “bate-boca”, por ocasião da visita à planta industrial, mas que foi sanado a contento com intervenção do Líder da Operação. Neste caso, erra o supervisor do TGL ou na contratação das pessoas ou na falta de implementar uma dinâmica de grupo ou por outras questões. Se o Líder da Operação não controla a situação, segue que os Inspetores não irão agir, porque entendem que é obrigação do Líder e não criticam a situação. A situação pode ser agravada pela informação equivocada do Inspetor Meteorológico. Tomada a decisão pelo Supervisor de não interferência, e levar adiante a operação, a falha ocorre, por responsabilidade tão-somente do pessoal do TGL. A rede é mostrada na Figura 82.

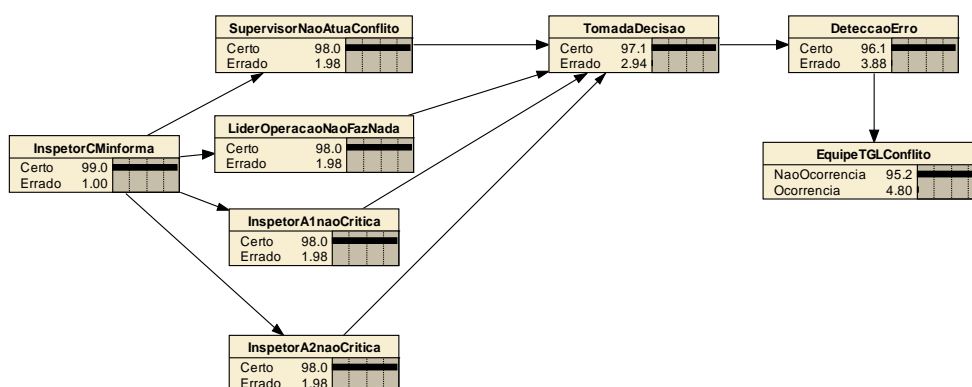


Figura 82 – Rede bayesiana do evento 10.

4.4.2.6. Evento 11 – Equipe do TGL é inexperiente e erra (TGL)

É um evento pouco provável, mas que é possível, por erro do Supervisor do TGL na escolha da equipe, ratificado pelo Líder da Operação, devido a um temor reverencial em relação ao Supervisor. Por seu turno, os Inspetores de Amarração nada questionarão, executando as ordens do Líder. Pode haver agravamento pela inexperiência do Inspetor Meteorológico. Trata-se de evento decorrente tão-somente das atividades do pessoal do TGL. Tomada a decisão pelo Supervisor, de levar adiante a operação, a falha ocorre. A rede é mostrada na Figura 83.

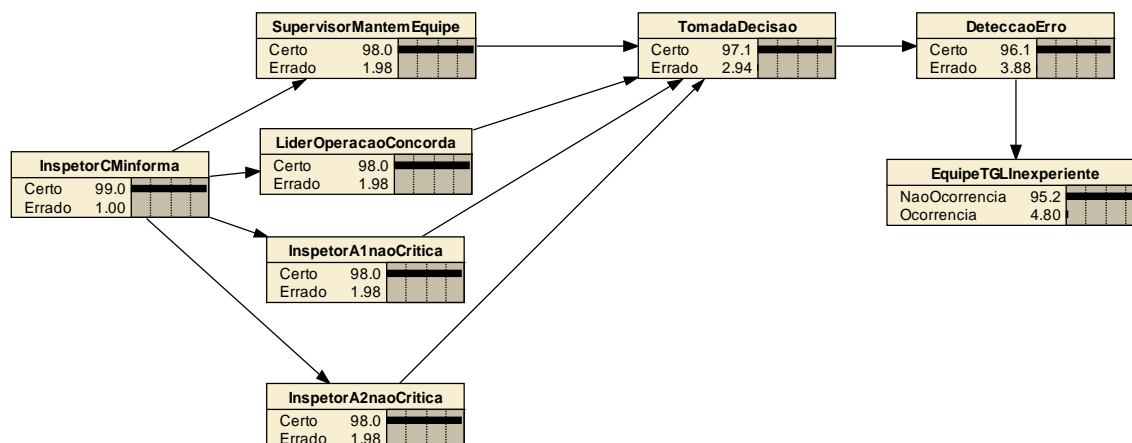


Figura 83 – Rede Bayesiana do evento 11.

4.4.2.7. Evento 13 – Falha na execução da manobra de atracação devido a pressões comerciais (NT/TGL)

Certo é que em um mundo globalizado e competitivo, o lucro das empresas é fator determinante para a execução de tarefas em intervalos de tempo cada vez menores. O NT na planta industrial em questão precisa descarregar o produto em 24 horas. As pressões para a desocupação do TGL, a fim de se atender a outras demandas, em especial do embarque de minério de ferro nos Píeres 1 e 2, ou para que o navio-tanque esteja livre, e seja usado em outras rotas, é muito grande. Devido a essas pressões, o erro é provável, tanto por parte do pessoal do TGL, quanto do NT, envolvidos na faina. Desta forma, se o Gerente da Cia. Transportadora erra, ratificado pelo Supervisor, a falha na atracação ocorre. Da mesma forma, se há um erro dos Inspetores de Amarração do TGL (que não criticam a manobra), ratificado pelo Líder da Equipe, pelo Supervisor do TGL, a falha na atracação ocorre. O mesmo se dá em relação ao NT. Com o erro do Prático (sugestão do posicionamento equivocado do NT no canal, sugestão de nº de rebocadores insuficientes, etc.) e a ratificação do erro pelo ON ou pelo Comandante, a falha na atracação ocorre. Também pode ocorrer do timoneiro se equivocar na manobra do NT. A tomada a decisão determina a consumação do erro, sendo que, a detecção do erro é efetivada, ou pelo pessoal do NT ou pelo pessoal do TGL. A rede desenvolvida é mostrada na Figura 84.

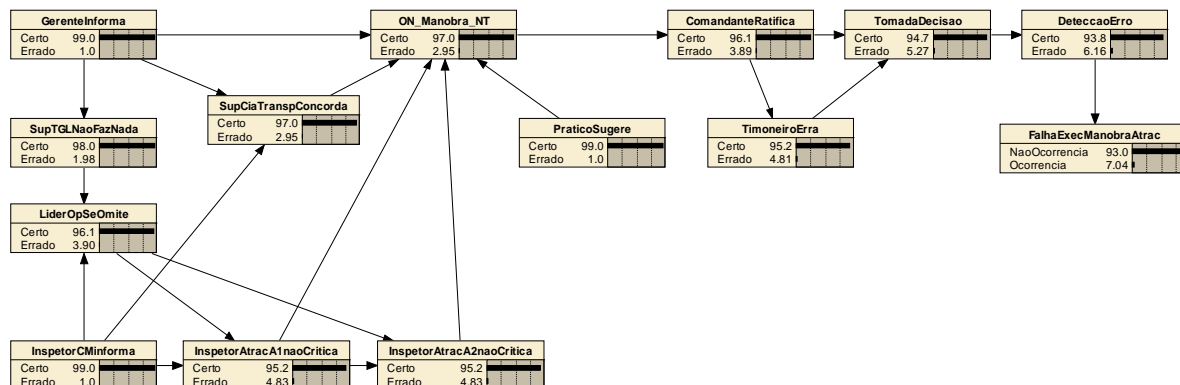


Figura 84 – Rede Bayesiana do evento 13.

4.4.2.8. Evento 19 – Falha na execução da manobra de atracação devido a outras questões (NT)

Outras questões podem perturbar a execução da manobra de atracação do NT no Píer do TGL. No caso do pessoal do NT, pode o Prático sugerir, de forma equivocada, algum procedimento, que será confirmado pelo ON ou/e pelo Comandante. Ou ainda, o Timoneiro do NT pode agir de forma errada, levando a eventos catastróficos. Os marinheiros de convés (no caso são dois, considerados em conjunto) também podem agir de forma imprudente, imperita ou negligente, na operação de atracação, em relação às ordens emanadas dos seus superiores. Por exemplo, não terem preparado as espias para a atracação. Tomada a decisão de continuar a operação pelos responsáveis, o erro acontece, gerando a falha. Uma vez detectada a falha, se verificará a possibilidade de reparo do erro ou não. A rede desenvolvida para esse evento é mostrada na Figura 85.

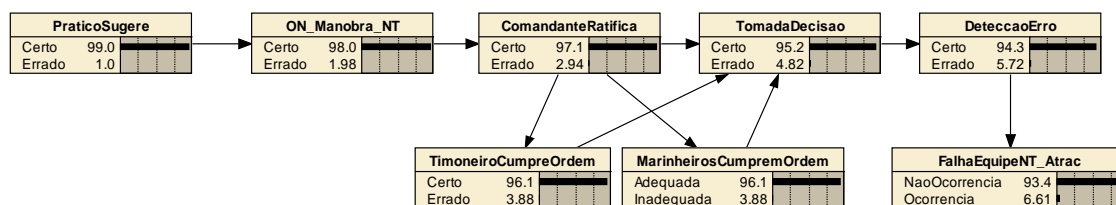


Figura 85 – Rede bayesiana do evento 19.

4.4.2.9. Evento 20 – Falha na execução da manobra de atracação devido a outras questões (TGL)

Da mesma forma que no item seguinte, a equipe do TGL pode se equivocar na manobra de atracação, devido a outras questões (por exemplo, é véspera de natal, à noite, está chovendo muito, e eles estão descarregando combustível, que poderia ser feito no dia seguinte pela manhã). Há uma sequência de erros que são confirmados pelos superiores ou não são questionados pelos subordinados, principalmente pelos amarradores (em um total de sete). Tomada a decisão de continuar a operação pelos responsáveis, o erro acontece, gerando a falha. Uma vez detectada a falha, se verificará a possibilidade de reparo do erro ou não. A rede desenvolvida para esse evento é mostrada na Figura 86.

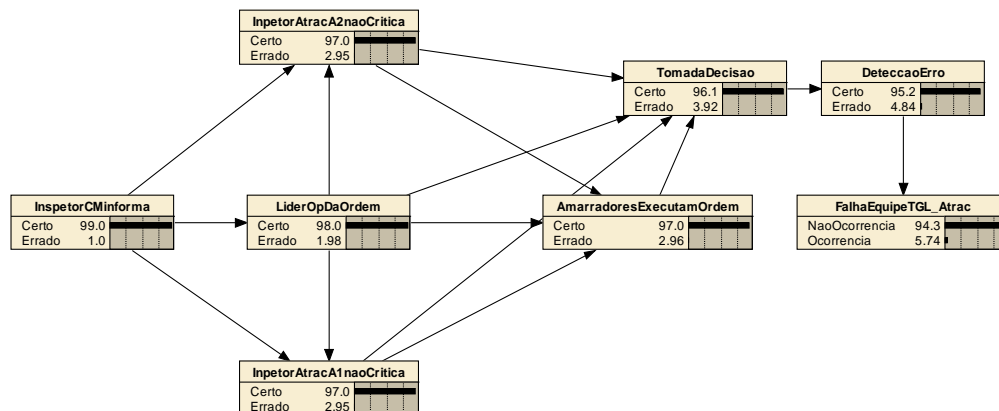


Figura 86 – Rede bayesiana do evento 20.

4.4.2.10. Evento 21 – Falha do operador do mangote (NT)

O operador do mangote é um marinheiro do NT que irá talingar o conjunto de mangueiras (feitas de borracha flexível, especial para a indústria *offshore* – Figura 87), ao navio e ao porto, a fim de que seja bombeado o produto líquido inflamável dos tanques do navio para os tanques de armazenamento, via tubulações, passando por um conjunto de válvulas (*manifold* – ver Figura 56 e Figura 57).



Figura 87 – Mangotes industriais *offshore* – extraído do site: http://br.hansaflex.com/solutions/mangueiras_offshore.html

Se o operador do mangote toma uma decisão equivocada, a falha acontece, e o erro é detectado pelas equipes. A rede desenvolvida para esse evento é mostrada na Figura 88.

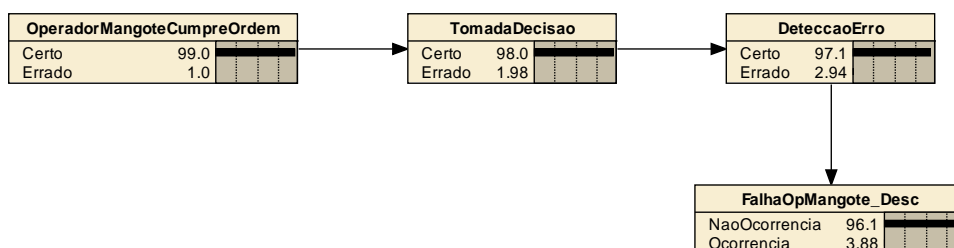


Figura 88 – Rede bayesiana do evento 21.

4.4.2.11. Evento 25 – Falha na execução da manobra de descarga devido a pressões comerciais (NT/TGL)

Uma vez conectado os sistemas navio e porto, por intermédio do mangote, ocorre a descarga do produto. Pode ocorrer do Supervisor da Cia. Transportadora, nas vinte e quatro horas de descarregamento, tomar alguma decisão errada, por pressões comerciais, que não vai ser contestada, nem pelo Gerente, nem pelo ON, que ficará a bordo para resolver qualquer questão relativa à descarga do combustível, segundo o regulamento da Cia. Transportadora. Além disso, pode haver algum equívoco do marinheiro do mangote, não detectado por ocasião da conexão do mesmo, erro que, por omissão é confirmado pelo ON. Nesta fase já não há mais a figura do Prático e os Inspetores de Amarração não estão mais presentes,

restando o Líder da Operação e o Inspetor Meteorológico, que podem confirmar a descarga, mesmo havendo erros, também por pressões comerciais. Tomada a decisão de continuar a operação pelos responsáveis, a falha acontece, sendo percebida ou pela equipe do NT, ou pela equipe do TGL, ambas responsáveis pelo evento. A rede desenvolvida está mostrada na Figura 89.

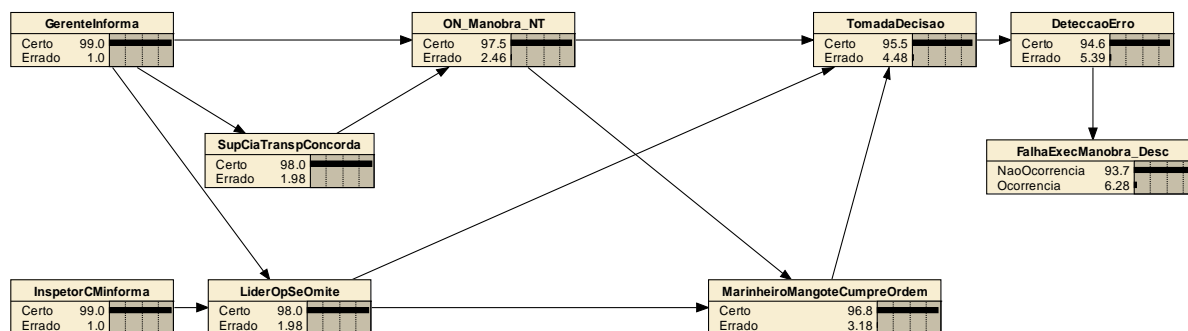


Figura 89 – Rede Bayesiana do evento 25.

4.4.2.12. Evento 26 – Falha na operação de conexão do manifold com o navio-tanque (TGL/NT)

O manifold é um conjunto de válvulas que fica no Píer, conforme mostra a figura. O marinho do mangote deve verificar o subsistema, quando da operação do mesmo. Se age de forma errada, e nem o Líder da Operação (TGL), nem o ON (NT), nada dizem, corroboram com o seu erro, e também erram. Tomada a decisão de continuar a operação pelos responsáveis, a falha ocorre, sendo percebida ou pela equipe do NT, ou pela equipe do TGL, ambas responsáveis pelo evento. A rede desenvolvida está mostrada na Figura 90.

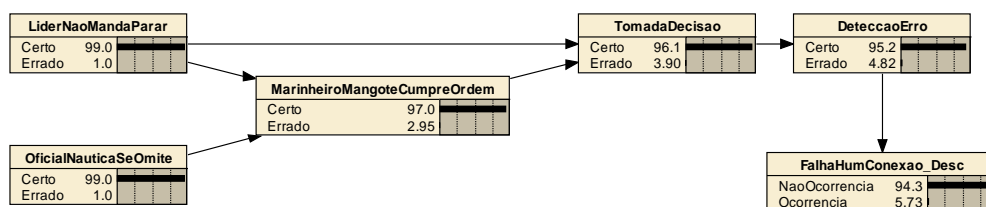


Figura 90 – Rede bayesiana do evento 26.

4.4.2.13. Evento 29 – Falha na manobra de recolhimento do mangote devido a pressões comerciais (TGL/NT)

Da mesma forma que o tópico anterior, o recolhimento de forma equivocada do mangote pelo marinheiro do mangote (moço de convés), leva ao erro humano, que pode ser corroborado pelo ON, pelo Inspetor da Desatracação (somente um), que não critica a manobra, e pelo Líder da Operação. Tomada a decisão de continuar a operação pelos responsáveis, a falha ocorre, sendo percebida ou pela equipe do NT, ou pela equipe do TGL, ambas responsáveis pelo evento. A rede desenvolvida está mostrada na Figura 91.

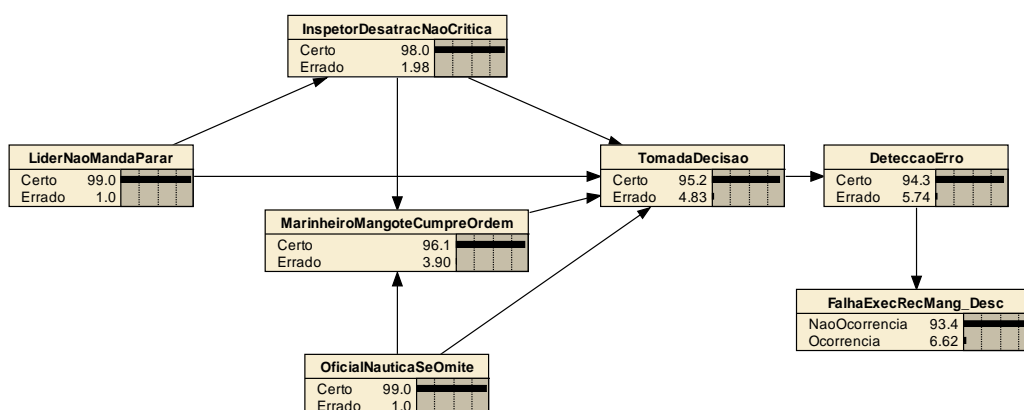


Figura 91 – Rede bayesiana do evento 29.

4.4.2.14. Evento 33 – Falha na manobra de desatracação devido a pressões comerciais (TGL/NT)

As pressões comerciais são inevitáveis, mas os operadores de uma planta industrial da complexidade aqui tratada neste estudo, precisam ter inteligência emocional, antes de tudo. Da mesma forma que o item 4.4.2.7, há um erro coletivo, desencadeando o evento em questão. Tomada a decisão de continuar a operação pelos responsáveis, a falha ocorre, sendo percebida ou pela equipe do NT, ou pela equipe do TGL, ambas responsáveis pelo evento. A rede desenvolvida está mostrada na Figura 92.

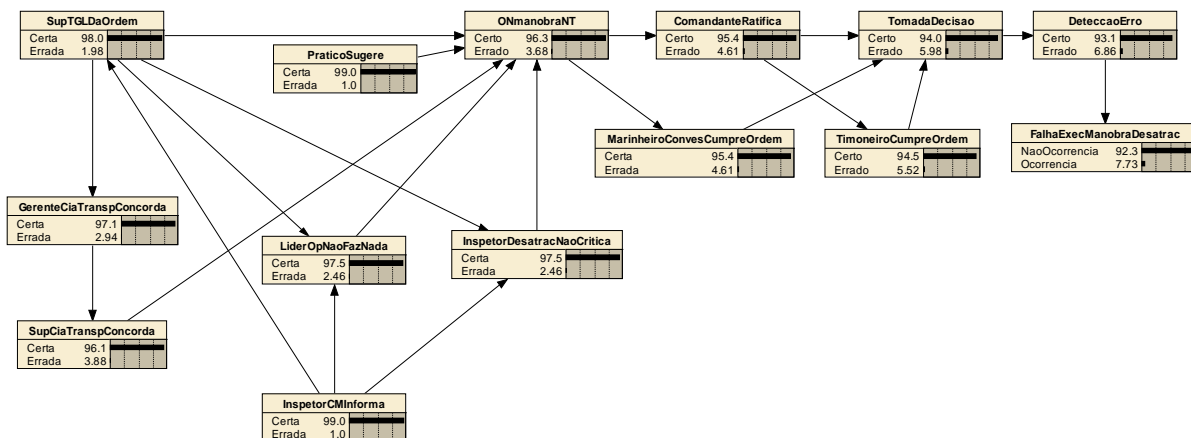


Figura 92 – Rede Bayesiana do evento 33.

4.4.2.15. Evento 38 – Falha na manobra de desatracção do navio-tanque devido a outras questões (TGL)

Da mesma forma que os itens 4.4.2.8 e 4.4.2.9, a falha na manobra de desatracção do navio-tanque devido a outras questões (greve, por exemplo), foi separada em dois itens, um levando em consideração a atuação da equipe do TGL, e outro levando em consideração a equipe do NT. Tomada a decisão de continuar a operação pelos responsáveis, a falha ocorre, sendo percebida ou pela equipe do NT, ou pela equipe do TGL, ambas responsáveis pelo evento. A rede desenvolvida está mostrada na Figura 93.

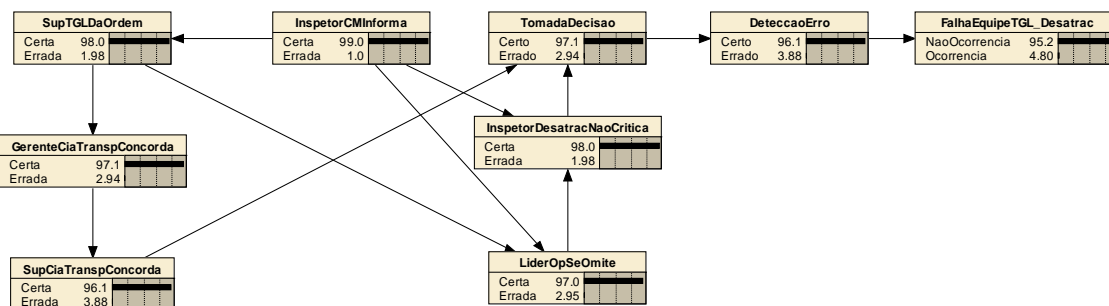


Figura 93 – Rede Bayesiana do evento 38.

4.4.2.16. Evento 39 – Falha na manobra de desatracação do navio-tanque devido a outras questões (NT)

Da mesma forma que os itens 4.4.2.8 e 4.4.2.9, a falha na manobra de desatracação do navio-tanque devido a outras questões (greve, por exemplo), foi separada em dois itens, um levando em consideração a atuação da equipe do TGL, e outro levando em consideração a equipe do NT. Tomada a decisão de continuar a operação pelos responsáveis, a falha ocorre, sendo percebida ou pela equipe do NT, ou pela equipe do TGL, ambas responsáveis pelo evento. A rede desenvolvida está mostrada na Figura 94.

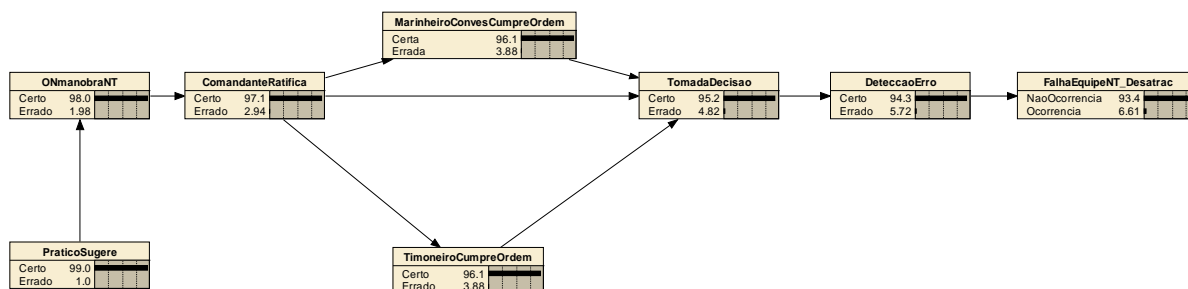


Figura 94 – Rede Bayesiana do evento 39.

4.4.3. Redes Bayesianas dos Fatores de Desempenho das Tarefas

Conforme método apresentado por MATURANA (2010), neste tópico foram levantados os fatores de desempenho (relacionados às tarefas do tópico anterior) e as redes para estes fatores. Primeiramente, as habilidades consideradas essenciais para a realização de cada atividade são relacionadas e, em seguida, a rede genérica para os fatores de desempenho, conforme apresentado na subseção 3.2 (ver Figura 42 e a Figura 43), é aplicada para a obtenção das Redes Bayesianas a fim de representar os fatores que mais influenciam a execução das atividades relacionadas ao evento não descarga dos grânéis líquidos inflamáveis.

Como se verá adiante, alguns fatores discriminados para determinada tarefa são ligados a diversas atividades desta tarefa. A razão de tal correlação é porque

um conjunto de atividades pode ser executado somente por uma pessoa ou porque tal fator está disponível para mais de uma pessoa (por exemplo, os fatores ambientais no porto ou no navio). Modelar as causalidades existentes nas ações humanas é o objetivo e as RB's proporcionam uma maior flexibilidade às variações componentes do processo considerado na interação dos dois sistemas (porto e navio).

4.4.3.1. Lista de Habilidades Relacionadas às Atividades

Na Tabela 25 é possível verificar as atividades correlacionadas aos eventos básicos da Árvore de Falhas, cuja atuação do elemento humano pode levar a erros. Com base nas habilidades listadas na Tabela 17 (identificadas por números romanos), foi possível construir a Tabela 26. Esta tabela apresenta as habilidades consideradas essenciais para a boa execução das atividades ligadas ao evento “não descarga” e foi elaborada a partir da experiência do autor e das informações obtidas junto aos operadores do TGL e do NT.

Tabela 26 – Habilidades correlacionadas às atividades.

| Evento | Descrição | Habilidades Requeridas |
|---------------|---|-------------------------------|
| 2 | 1-O Gerente da Cia. Transportadora informa (ao TGL sobre o NT) | IV, VIII |
| | 2-Entendimento (errado) do Supervisor do TGL | I, X |
| | 3- O Oficial de Náutica (ON) manobra o navio | II, IV, XII |
| | 4-Comandante do NT ratifica o erro | I, X |
| | 5-Tomada de Decisão (aproximar o NT para cumprir a programação) | I, XI |
| | 6-Detecção do Erro (pelo ON ou Comte.) | III, X |
| 3 | 1-O Gerente da Cia. Transportadora informa (ao TGL e ao NT) | IV, VIII |
| | 2-Entendimento (errado) do Supervisor do TGL | I, X |
| | 3- O ON manobra o navio | II, IV, XII |
| | 4-Comandante do NT ratifica o erro | I, X |
| | 5-Tomada de Decisão (aproximar o NT para cumprir a programação) | I, XI |
| | 6-Detecção do Erro (pelo ON ou Comte.) | III, X |
| 6 | 1-O ON entendeu (errado) (não era para manobrar) | I, VIII |
| | 2-O Comandante do NT ratifica o erro | I, X |
| | 3-O Comandante do NT não faz contato por qualquer meio | I, VII |
| | 4-O Supervisor do TGL não fez contato por qualquer meio | I, VII |
| | 5-Tomada de decisão (manobrar o NT em aproximação ao TGL) | I, XI |
| | 6-Detecção do Erro (pelo ON ou Comte.) | III, X |

| | | |
|----|---|--------------|
| 7 | 1- O Prático sugere manobra (errada) | I, V |
| | 2-Comandante ratifica o erro | I, X |
| | 3-Erro do Timoneiro | I, IX |
| | 4-Tomada de decisão (manobrar o NT em aproximação ao TGL) | I, XI |
| | 5-Detecção do Erro (pelo ON ou Comte.) | III, X |
| 10 | 1-O Supervisor do TGL não atua no conflito | XII, XIII |
| | 2-O Líder da Op. não faz nada | XII, XIV |
| | 3-O Inspetor A1 não crítica | X, XII |
| | 4-O Inspetor A2 não crítica | X, XII |
| | 5-O Inspetor CM informa (errado, as condições do tempo) ao Líder | I, X |
| | 6-Tomada de Decisão (preparar o TGL para receber o NT) | I, XI |
| | 7-Detecção do Erro (pelo Líder) | III, X |
| 11 | 1-O Supervisor do TGL mantém a equipe | X, XIV |
| | 2-O Líder da Op. concorda (com a manobra) | X, XV |
| | 3-O Inspetor A1 não crítica | X, XII |
| | 4-O Inspetor A2 não crítica | X, XII |
| | 5-O Inspetor CM informa (errado, as condições do tempo) ao Líder | I, X |
| | 6-Tomada de Decisão (preparar o TGL para receber o NT) | I, XI |
| | 7-Detecção do Erro (pelo Líder) | III, X |
| 13 | 1-O Gerente da Cia. Transportadora informa (ao Supervisor do TGL) | IV, VIII |
| | 2-O Supervisor da Cia. Transportadora concorda | X, XIII |
| | 3-O Supervisor do TGL não faz nada | I, X |
| | 4-O Líder da Op. se omite | X, XII |
| | 5-O Inspetor A1 não crítica a manobra | X, XII |
| | 6-O Inspetor A2 não crítica a manobra | X, XII |
| | 7-O Inspetor CM informa (errado, as condições do tempo) ao Líder | I, X |
| | 8- O Prático sugere manobra (errada) | I, V |
| | 9-O ON manobra o navio | II, IV, XII |
| | 10-O Comandante do NT ratifica o erro | I, X |
| | 11-Erro do Timoneiro | I, IX |
| | 12-Tomada de decisão (atracar o NT no TGL) | I, XI |
| | 13-Detecção do Erro (pelo ON ou Comte.) | III, X |
| 19 | 1- O Prático sugere manobra (errada) | I, V |
| | 2- O ON manobra o navio | II, IV, XII |
| | 3-O Comandante do NT ratifica o erro | I, X |
| | 4-Erro do Timoneiro | I, IX |
| | 5-Erro dos Marinheiros de Convés (são 2) | III, VI, VII |
| | 6-Tomada de decisão (atracar o NT no TGL) | I, XI |
| | 7-Detecção do Erro (pelo ON ou Comte.) | III, X |

| | | |
|----|---|----------------|
| 20 | 1-O Líder da Op. dá ordem (errada) | I, X |
| | 2-O Inspetor A1 não critica a manobra | X, XII |
| | 3-O Inspetor A2 não critica a manobra | X, XII |
| | 4- O Inspetor CM informa (errado, as condições do tempo) ao Líder | I, X |
| | 5-Erro dos Amarradores (são 7) | III, VII, VIII |
| | 6-Tomada de decisão (atracar o NT no TGL) | I, XI |
| | 7-Detecção do Erro (pelo Líder ou ON) | III, X |
| 21 | 1-Erro do Marinheiro do Mangote (Convés) | III, VI, VII |
| | 2-Tomada de decisão (descarregar o produto inflamável) | I, XI |
| | 3-Detecção do Erro (pelo Líder ou ON) | III, X |
| 25 | 1-O Gerente da Cia. Transportadora informa ao Supervisor do TGL | IV, VIII |
| | 2-O Supervisor da Cia. Transportadora concorda | X, XIII |
| | 3-O ON manobra o navio (não diz nada e cumpre) | I, X |
| | 4-Erro do Marinheiro do Mangote (Convés) | III, VI, VII |
| | 5-O Líder da Op. não diz nada | X, XII |
| | 6- O Inspetor CM informa (errado, as condições do tempo) ao Líder | I, X |
| | 7-Tomada de decisão (descarregar o produto inflamável) | I, XI |
| | 8-Detecção do Erro (pelo Líder ou ON) | III, X |
| 26 | 1-O Líder da Op. não manda parar a manobra | X, XIV |
| | 2-O ON se omite | X, XII |
| | 3-Erro do Marinheiro do Mangote (Convés) | III, VI, VII |
| | 4-Tomada de decisão (descarregar o produto inflamável) | I, XI |
| | 5-Detecção do Erro (pelo Líder ou ON) | III, X |
| 29 | 1-O Líder da Op. não manda parar a manobra | X, XIV |
| | 2-O Inspetor D não critica a manobra | X, XII |
| | 3- O ON se omite | X, XII |
| | 4-Erro do Marinheiro do Mangote (Convés) | III, VI, VII |
| | 5-Tomada de decisão (descarregar o líquido inflamável) | I, XI |
| | 6-Detecção do Erro (pelo Líder ou ON) | III, X |
| 33 | 1-O Supervisor do TGL dá a ordem (para desatracar) | X, XII |
| | 2-O Gerente da Cia. Transportadora concorda | VIII, XIII |
| | 3-O Supervisor da Cia. Transportadora concorda | X, XIII |
| | 4- O Prático sugere manobra (errada) | I, V |
| | 5-O ON manobra o navio | II, IV, XII |
| | 6- O Comandante do NT ratifica o erro | I, X |
| | 7-Erro do Timoneiro | I, IX |
| | 8-Erro do Marinheiro de Convés (são 2) | III, VI, VII |
| | 9-O Líder da Op. não faz nada | X, XII |
| | 10-O Inspetor D não critica a manobra | X, XII |
| | 11-O Inspetor CM informa (errado, as condições do tempo) ao Líder | I, X |
| | 12-Tomada de decisão (desatracar o NT do TGL) | I, XI |
| | 13-Detecção do Erro (pelo Líder ou ON) | III, X |

| | | |
|----|---|--------------|
| 38 | 1-O Supervisor do TGL dá a ordem (para desatracar o NT) | X, XII |
| | 2-O Gerente da Cia. Transportadora concorda | VIII, XIII |
| | 3-O Supervisor da Cia. Transportadora concorda | X, XIII |
| | 4-O Líder da Op. se omite | X, XII |
| | 5-O Inspetor D não critica a manobra | X, XII |
| | 6-O Inspetor CM informa (errado) | I, X |
| | 7-Tomada de decisão (desatracar o NT do TGL) | I, XI |
| | 8-Detecção do Erro (pelo Líder ou ON) | III, X |
| | | |
| 39 | 1-O Prático sugere manobra (errada) | I, V |
| | 2-O ON manobra o navio | II, IV, XII |
| | 3-O Comandante ratifica o erro | I, X |
| | 4-Erro do Timoneiro | I, IX |
| | 5-Erro do Marinheiro de Convés (são 2) | III, VI, VII |
| | 6-Tomada de decisão (desatracar o NT do TGL) | I, XI |
| | 7-Detecção do Erro (pelo Líder ou ON) | III, X |

Todos os eventos básicos com a possibilidade de erro humano foram associados às habilidades. A tabela foi utilizada na construção da topologia de redes para os fatores de desempenho. A título de exemplo, será apresentado o desenvolvimento da RB para o evento básico “2-Falha na Identificação do Tipo de Navio (NT/TGL)”.

4.4.3.2. Rede Bayesiana dos fatores associados ao evento “Falha na Identificação do Tipo de Navio (NT/TGL)”

A título de exemplo, será apresentada uma análise individual de uma atividade relacionada à tarefa humana que leva à “Falha na identificação do tipo de navio”. Para a atividade “2-1: Gerente da Cia. Transportadora informa”; a Tabela 27 apresenta as habilidades requeridas e os fatores de desempenho internos relacionados (escolhidos entre os apresentados na Tabela 15, conforme o julgamento deste autor, observada a opinião dos especialistas, sobre a influência dos mesmos), além dos MOF (escolhidos com o apoio da Tabela 14) e dos fatores ambientais (Tabela 16) relacionados a estes fatores de desempenho.

Tabela 27 – Fatores de Desempenho para a “atividade gerente da Cia. transportadora informa”.

| Habilidades Requeridas | PSF | | MOF |
|--|----------|---------------------------------------|---|
| IV – conhecimento dos procedimentos | Internos | 12-distrações | C-coordenação do trabalho M-attitudes da sup. e outros |
| | | 16-velocidade na realização da tarefa | C-coordenação do trabalho |
| | | 20-personalidade e inteligência | D-cultura organizacional |
| VIII – equipe e comunicação | Internos | 16-velocidade na realização da tarefa | C-coordenação do trabalho |
| | | 19-identificação com a equipe | C-coordenação do trabalho M-attitudes da sup. e outros |
| | | 20-personalidade e inteligência | D-cultura organizacional |
| Obs.: Considerou-se que os fatores ambientais, nesta tarefa, não afetam em nada. | | | |

É preciso informar que, nem todos os PSF, MOF e fatores ambientais listados na Tabela 14, na Tabela 15 e na Tabela 16, estarão nas tabelas das atividades que formam a tarefa, e levam ao evento básico com ação humana, na linha de entendimento de MARTINS (2013). Por exemplo, a informação prestada pelo Gerente da Cia. Transportadora segue procedimentos explicitados em manual; daí associar para “IV-conhecimento dos procedimentos” o fator interno “12-distrações”, tendo para MOF associado “C-coordenação do trabalho” (no caso da planta em análise, o gerente não é da mesma empresa do Supervisor do TGL) e “M-attitudes dos supervisores, sindicatos e agências reguladoras” (daí o termo “os outros”). Há ainda a dependência do fator interno “20-personalidade e inteligência” com o MOF “D-Cultura Organizacional”, pelo que se optou construir dois nós a fim de evidenciar que o PSF(20) está correlacionado a distintas habilidades requeridas, com estados distintos (<Apropriada, Inapropriada>; <Adequada, Inadequada>).

Outro ponto a ser ressaltado é a complexidade da RB final se as mínimas influências forem consideradas. Assim, cabe ao analista um estudo cuidadoso para eliminar na modelagem os fatores que são secundários, conforme informado por MATURANA (2010), bem como evitar nós redundantes. A visita à planta, por diversas vezes, foi fundamental para a determinação dos fatores a serem considerados. O mesmo pode ser concluído em relação aos fatores ambientais. Vê-se, por exemplo, que na Tabela 27 não há qualquer influência de fatores ambientais.

Nesta linha de entendimento, para as atividades “2-2-Entendimento (errado) do Supervisor do TGL”; “2-3- O Oficial de Náutica (ON) manobra o navio”; “2-4- Comandante do NT ratifica o erro”; “2-5-Tomada de Decisão” e “2-6-Detecção do Erro”, seguem a mesma sistemática do exposto para a atividade “2-1: Gerente da Cia. Transportadora informa”. Essas informações estão no Apêndice C.

Com apoio na Tabela 27 e do descrito anteriormente, foi possível desenvolver uma Rede Bayesiana para os fatores que influenciam no desempenho das atividades e do evento “Falha na Identificação do Tipo de Navio (NT/TGL)”. A rede integrada obtida está apresentada na Figura 95.

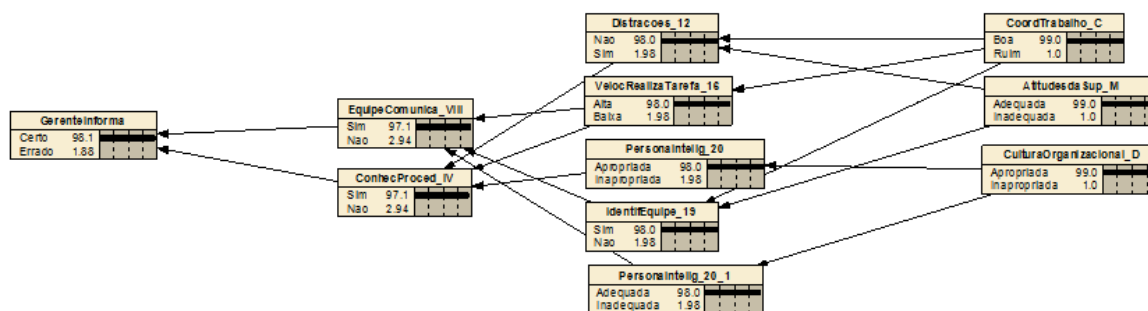


Figura 95 – Rede bayesiana dos fatores que influenciam na atividade 2-1 “atividade gerente da Cia. transportadora informa”.

Como pode ser visto na figura, os MOF atuam sobre vários fatores internos (PSF) que, por sua vez, condicionam as probabilidades das habilidades requeridas, as quais influem na atividade do Gerente da Cia. Transportadora, quando o operador informa (certo ou errado – dois estados para o nó) o tipo de navio tanqueiro que atracará no TGL, para descarga (ou não) dos produtos líquidos inflamáveis.

Observe que é possível concluir quais os MOF que devem ter a devida atenção das empresas que operam o NT e o TGL, isto é, que não podem ser ignorados, tendo em vista a possibilidade de aumento do risco. Dentre os MOF da RB completa (ver na impressão A0), os considerados mais críticos e presentes foram: (i) Carga de Trabalho, (ii) Seleção de Pessoal e (iii) Programas de Treinamento.

4.4.4. Preenchimento das Tabelas de Probabilidades Condicionais para o processo

Para concretizar o trabalho, à luz do caso sob estudo, a obtenção das TPC resultantes da construção das RB's dos eventos básicos sob ação humana, foi efetivada por intermédio das informações obtidas com os especialistas e operadores do NT e do TGL, com o critério de preenchimento que considera os estados dos nós pais, pois que, não há um banco de dados viável para o preenchimento das TPC ou aprendizado da rede global (RB obtida da árvore de falhas e RB com aplicação dos PSF). Todavia, considerou-se as informações de DROGUETT e MENÊSES (2007), de que a utilização da opinião de especialistas ou de um banco de dados exige a verificação do quão adequadas e empregáveis são as probabilidades obtidas. Também se observou as informações trazidas por MATURANA (2010) e MARTINS (2013) que sugerem a utilização de probabilidades estimadas com a aplicação da THERP, aproveitando, indiretamente, os dados obtidos de banco de dados do setor nuclear (americano), no caso da HEP, tendo em vista a escassez de dados para o caso da indústria naval e levando em consideração que a coleta de informações de especialistas não é um procedimento trivial, demandando tempo e recursos financeiros. WANG *et al.* (2005) e RAMOS *et al.* (2012) também relatam que nem sempre os dados históricos estão disponíveis e, levantar um conjunto de dados, é demorado e caro, e a empreitada depende de muitas incertezas.

Entretanto, o autor deste trabalho, como já informado, visitou por diversas vezes a planta industrial em referência, tendo contato com os especialistas e operadores do processo em análise, o que ajudou de forma substancial no preenchimento das TPC, como dito alhures. Todavia, ressalta-se que foram modelados eventos ligados à operação conjunta do navio tanqueiro e do TGL e, assim, as probabilidades dos eventos modelados seriam melhor avaliadas se fosse levado em consideração a manutenção dos equipamentos, reparos em caso de falha dos equipamentos, atuação de pessoas externas à planta, para conjugar essas informações com a informação dos especialistas. Infelizmente, este autor não conseguiu acesso às informações relativas aos mencionados fatores, de sorte que, não há tempo e recursos financeiros para o detalhamento das RBs, sob esta ótica. A

escassez de dados em HRA persiste na indústria naval e o uso de banco de dados de outras indústrias é viável conforme informa PRVAKOVA e DANG (2013).

É importante informar que, uma adequada formulação de perguntas aos especialistas e técnicos, de forma a superar a desconfiança e as dificuldades de extração das informações sobre o comportamento humano em sistemas desta complexidade, bem como o entendimento das respostas dadas, foram duas barreiras extras para a confecção final das TPCs.

A rede bayesiana correlacionada a Tabela 27 é mostrada na Figura 95. No APÊNDICE D são mostradas todas as TPC's correlacionadas.

4.4.5. Restrições da análise para o caso estudado

Tendo em vista as informações obtidas pelo autor, por ocasião das visitas feita a planta industrial em estudo, tomada como exemplo genérico, observando ainda as informações colhidas com as entidades públicas (Ministério do Trabalho, Capitania dos Portos, Tribunal Marítimo, IBAMA, etc.), considerou-se, para este trabalho, a descarga contínua de produtos líquidos inflamáveis no TGL sob estudo, em um prazo de um a dois dias (desde a aproximação do navio tanque até a sua desatracação e saída da área de manobra).

Considerou-se ainda, com base nas informações obtidas junto aos operadores e especialistas, e tendo em vista o prazo acima, uma descarga a cada dez dias. Em um ano, portanto, serão, aproximadamente, 37 descargas programadas.

Como já anteriormente informado, considerando que há um evento indesejável (não descarga devido a algum vazamento, por exemplo), em média, por qualquer motivo, ao ano, em conformidade com a Tabela 4 e com a opinião dos especialistas, tem-se, aproximadamente, $0,027 = 2,7\%$ (1 dividido por 37) de frequência anual de eventos indesejáveis, mas que não, necessariamente, se traduz em empecilho para a descarga do produto líquido inflamável do NT para o TGL. Ou seja, a probabilidade de uma não descarga do NT é menor que o percentual acima apresentado. Tal

análise vai ao encontro do afirmado por DROGUETT et al. (2005), pois sob a ótica freqüencista, erro humano é o número de erros por oportunidade para errar, em determinado intervalo de tempo. Os autores lembram que o ambiente externo não tem como ser mantido constante, daí o erro pode variar.

Com base nisso, e observada as informações dos especialistas, para os nós “pais” das RB’s criadas para a HRA, as TPC’s foram preenchidas com a probabilidade de 99% de sucesso e 1% de fracasso, exceto o MOF de Qualidade de Vida (50%, devido as condições insalubres e perigosas da planta) e o Fator Ambiental “Ruído” (λ_5 , 50%, devido as condições presenciadas pelo autor), considerando que eventos indesejáveis que levem a não descarga do NT são bem menores que 2,7%.

O índice “1” foi considerado como estado positivo e o índice “2” sempre como estado negativo. Para os nós “filhos” das RB’s criadas para a HRA, com somente um nó “pai”, as TPC’s serão preenchidas conforme a Tabela 28, onde ω_1 é complementar a ω_2 . Os valores são as probabilidades em percentuais. O nó “pai” também possui estados complementares (α_1 = estado positivo; α_2 = estado negativo), uma vez que foram considerados somente dois estados. O estado positivo leva a um evento desejável e o estado negativo leva a um estado indesejável. Considere que, em havendo um estado que leve a um evento indesejável³⁸ (neste caso, negativo), a probabilidade é de 1% de ocorrência.

Tabela 28 – TPC para Nó “filho” que possui somente um nó “pai”.

| Estado do nó “pai” | Estado do nó “filho” (ω) | |
|------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| | ω_1 (estado positivo) | ω_2 (estado negativo) |
| α_1 (estado positivo) | 99 | 1 |
| α_2 (estado negativo) | 1 | 99 |

³⁸ Trata-se, portanto, da ocorrência do evento básico da árvore de falhas que está correlacionado ao componente humano, conforme foi informado anteriormente.

Para os nós “filhos” das RB’s criadas para a HRA, com dois nós “pais”, as TPC’s serão preenchidas conforme a Tabela 29, onde ω_1 é complementar a ω_2 . Os estados nos nós “pais” também são complementares. Os valores são as probabilidades em percentuais. Quando os estados dos nós “pais” possuem índice “1”, ω_1 é igual a 99%; caso contrário, ω_1 é igual a 1%. Foi ponderado em 50% os estados dos nós “pais”, quando antagônicos em suas complementariedades (índices). Por exemplo, para a tripla (α_1 ; β_2 ; ω_1), sendo α_1 ; β_2 nós “pais” (na linha do mencionado no item 2.5), probabilidade de ocorrência de um estado positivo ω_1 é de 50%.

Tabela 29 – TPC para Nó “filho” que possui dois nós “pais”.

| Estado do nó “pai ₁ ” | Estado do nó “pai ₂ ” | Estado do nó “filho” (ω) | |
|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|------------|
| | | ω_1 | ω_2 |
| α_1 | β_1 | 99 | 1 |
| α_1 | β_2 | 50 | 50 |
| α_2 | β_1 | 50 | 50 |
| α_2 | β_2 | 1 | 99 |

Para os nós “filhos” das RB’s criadas para a HRA, com três nós “pais”, as TPC’s serão preenchidas conforme a Tabela 30, onde ω_1 é complementar a ω_2 . Os estados nos nós “pais” também são complementares. Os valores são as probabilidades em percentuais. Considerou-se que, nenhum estado dos nós “pais” que tenha índice “2”, leva ao estado ω_2 (negativo) com 1% de probabilidade de ocorrência. Para, pelo menos, um dos estados dos nós “pais” que tenha índice “1”, leva ao estado ω_2 com 50% de probabilidade de ocorrência. Para dois ou mais estados dos nós “pais” que tenham índice “2”, leva ao estado ω_2 com 99% de probabilidade de ocorrência.

Tabela 30 – TPC para Nó “filho” que possui três nós “pais”.

| Estado do “pai ₁ ” | Estado do “pai ₂ ” | Estado do “pai ₃ ” | Estado do nó “filho” (ω) | |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|------------|
| | | | ω_1 | ω_2 |
| α_1 | β_1 | ϵ_1 | 99 | 1 |
| α_1 | β_1 | ϵ_2 | 50 | 50 |
| α_1 | β_2 | ϵ_1 | 50 | 50 |
| α_1 | β_2 | ϵ_2 | 1 | 99 |
| α_2 | β_1 | ϵ_1 | 50 | 50 |
| α_2 | β_1 | ϵ_2 | 1 | 99 |
| α_2 | β_2 | ϵ_1 | 1 | 99 |
| α_2 | β_2 | ϵ_2 | 1 | 99 |

Para os nós “filhos” das RB’s criadas para a HRA, com quatro nós “pais”, as TPC’s serão preenchidas conforme a Tabela 31, onde ω_1 é complementar a ω_2 . Os estados nos nós “pais” também são complementares. Os valores são as probabilidades em percentuais. Considerou-se que, nenhum estado dos nós “pais” que tenha índice “2”, leva ao estado ω_2 com 1% de probabilidade de ocorrência. Para um estado dos nós “pais” que tenha índice “2”, leva ao estado ω_2 com 25% de probabilidade. Para dois estados dos nós “pais” com índice “2”, leva ao estado ω_2 com 50% de probabilidade. Para três estados dos nós “pais” com índice “2”, leva ao estado ω_2 com 75% de probabilidade de ocorrência. Acima de três estados dos nós “pais” que tenha índice “2”, leva ao estado ω_2 com 99% de probabilidade de ocorrência.

Tabela 31 – TPC para Nó “filho” que possui quatro nós “pais”.

| Estado do “pai ₁ ” | Estado do “pai ₂ ” | Estado do “pai ₃ ” | Estado do “pai ₄ ” | Estado do nó “filho” (ω) | |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|------------|
| | | | | ω_1 | ω_2 |
| α_1 | β_1 | ε_1 | ζ_1 | 99 | 1 |
| α_1 | β_1 | ε_1 | ζ_2 | 75 | 25 |
| α_1 | β_1 | ε_2 | ζ_1 | 75 | 25 |
| α_1 | β_1 | ε_2 | ζ_2 | 50 | 50 |
| α_1 | β_2 | ε_1 | ζ_1 | 75 | 25 |
| α_1 | β_2 | ε_1 | ζ_2 | 50 | 50 |
| α_1 | β_2 | ε_2 | ζ_1 | 50 | 50 |
| α_1 | β_2 | ε_2 | ζ_2 | 25 | 75 |
| α_2 | β_1 | ε_1 | ζ_1 | 75 | 25 |
| α_2 | β_1 | ε_1 | ζ_2 | 50 | 50 |
| α_2 | β_1 | ε_2 | ζ_1 | 50 | 50 |
| α_2 | β_1 | ε_2 | ζ_2 | 25 | 75 |
| α_2 | β_2 | ε_1 | ζ_1 | 50 | 50 |
| α_2 | β_2 | ε_1 | ζ_2 | 1 | 99 |
| α_2 | β_2 | ε_2 | ζ_1 | 1 | 99 |
| α_2 | β_2 | ε_2 | ζ_2 | 1 | 99 |

Para os nós “filhos” das RB’s criadas para a HRA, com cinco nós “pais”, as TPC’s serão preenchidas conforme a Tabela 32, onde ω_1 é complementar a ω_2 . Os estados nos nós “pais” também são complementares. Os valores são as probabilidades em percentuais. Considerou-se que, nenhum estado dos nós “pais” que tenha índice “2”, leva ao estado ω_2 com 1% de probabilidade de ocorrência. Para um estado dos nós “pais” que tenha índice “2”, leva ao estado ω_2 com 25% de probabilidade de ocorrência. Para dois ou três estados dos nós “pais” que tenham índice “2”, leva ao estado ω_2 com 50% de probabilidade. Para quatro estados dos nós “pais” que tenha índice “2”, leva ao estado ω_2 com 75% de probabilidade de ocorrência. Acima de quatro estados dos nós “pais” que tenham índice “2”, leva ao estado ω_2 com 99% de probabilidade de ocorrência.

Tabela 32 – TPC para Nó “filho” que possui cinco nós “pais”.

| Estado do “pai ₁ ” | Estado do “pai ₂ ” | Estado do “pai ₃ ” | Estado do “pai ₄ ” | Estado do “pai ₅ ” | Estado do nó “filho” (ω) | |
|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|------------|
| | | | | | ω_1 | ω_2 |
| α_1 | β_1 | ϵ_1 | ζ_1 | μ_1 | 99 | 1 |
| α_1 | β_1 | ϵ_1 | ζ_1 | μ_2 | 75 | 25 |
| α_1 | β_1 | ϵ_1 | ζ_2 | μ_1 | 75 | 25 |
| α_1 | β_1 | ϵ_1 | ζ_2 | μ_2 | 50 | 50 |
| α_1 | β_1 | ϵ_2 | ζ_1 | μ_1 | 75 | 25 |
| α_1 | β_1 | ϵ_2 | ζ_1 | μ_2 | 50 | 50 |
| α_1 | β_1 | ϵ_2 | ζ_2 | μ_1 | 50 | 50 |
| α_1 | β_1 | ϵ_2 | ζ_2 | μ_2 | 50 | 50 |
| α_1 | β_2 | ϵ_1 | ζ_1 | μ_1 | 75 | 25 |
| α_1 | β_2 | ϵ_1 | ζ_1 | μ_2 | 50 | 50 |
| α_1 | β_2 | ϵ_1 | ζ_2 | μ_1 | 50 | 50 |
| α_1 | β_2 | ϵ_1 | ζ_2 | μ_2 | 50 | 50 |
| α_1 | β_2 | ϵ_2 | ζ_1 | μ_1 | 50 | 50 |
| α_1 | β_2 | ϵ_2 | ζ_1 | μ_2 | 50 | 50 |
| α_1 | β_2 | ϵ_2 | ζ_2 | μ_1 | 50 | 50 |
| α_1 | β_2 | ϵ_2 | ζ_2 | μ_2 | 25 | 75 |
| α_2 | β_1 | ϵ_1 | ζ_1 | μ_1 | 75 | 25 |
| α_2 | β_1 | ϵ_1 | ζ_1 | μ_2 | 50 | 50 |
| α_2 | β_1 | ϵ_1 | ζ_2 | μ_1 | 50 | 50 |
| α_2 | β_1 | ϵ_1 | ζ_2 | μ_2 | 50 | 50 |
| α_2 | β_1 | ϵ_2 | ζ_1 | μ_1 | 50 | 50 |
| α_2 | β_1 | ϵ_2 | ζ_1 | μ_2 | 50 | 50 |
| α_2 | β_1 | ϵ_2 | ζ_2 | μ_1 | 50 | 50 |
| α_2 | β_1 | ϵ_2 | ζ_2 | μ_2 | 25 | 75 |
| α_2 | β_2 | ϵ_1 | ζ_1 | μ_1 | 50 | 50 |
| α_2 | β_2 | ϵ_1 | ζ_1 | μ_2 | 50 | 50 |
| α_2 | β_2 | ϵ_1 | ζ_2 | μ_1 | 50 | 50 |
| α_2 | β_2 | ϵ_1 | ζ_2 | μ_2 | 25 | 75 |
| α_2 | β_2 | ϵ_2 | ζ_1 | μ_1 | 50 | 50 |
| α_2 | β_2 | ϵ_2 | ζ_1 | μ_2 | 25 | 75 |
| α_2 | β_2 | ϵ_2 | ζ_2 | μ_1 | 25 | 75 |
| α_2 | β_2 | ϵ_2 | ζ_2 | μ_2 | 1 | 99 |

E assim por diante, com seis, sete e até oito nós “pais”, que em verdade, somente aparecem uma vez na Rede Bayesiana para a HRA de todas as atividades com o elemento humano (conforme foi informado anteriormente, por ocasião da modelagem dos eventos básicos – ver item 4.4.2). A representação tabelar aqui fica inviável, dado que, o número de linhas para representar os estados do nó “filho” em conjugação com os nós “pais” cresce em uma Progressão Geométrica de razão 2 (já que há dois estados para cada nó), isto é, 2^q , onde q é o número de nós “pais”.

As informações obtidas com os operadores e especialistas facilitaram o preenchimento das TPCs, inclusive da Rede Bayesiana convertida a partir da árvore de falhas, mostrada no tópico 4.4.1, com a inclusão das incertezas conforme avaliação dos especialistas.

As Redes Bayesianas e suas TPCs para os eventos básicos compostos pelos elementos humanos, a fim de aferir a HRA, estão mostradas nos APÊNDICES C e D, para onde se remete o leitor. Na sequência, é apresentada a RB completa para o caso em estudo.

4.4.6. Avaliação do método proposto – análise preliminar

Até aqui foi aplicado o método exposto no Capítulo 3. Em uma análise preliminar, à luz das limitações já mencionadas, e expostas por WANG *et al.* (2005) e RAMOS *et al.* (2012), em relação ao uso das informações obtidas com os especialistas, a Rede Bayesiana completa é mostrada na Figura 97.

A Rede possui uma dimensão considerável, de sorte que, a imagem da mencionada figura em A4 fica ilegível, apesar dos esforços do autor para obter uma imagem mais acurada. Por esta razão a impressão foi feita em folha A0.

Pela configuração, a situação do nó “filho” do “evento de descarga do NT no TGL”, que consagra o evento topo da FTA, se apresenta na RB conforme a Figura 96.

| Falha_na_Descarga | |
|-------------------|------|
| Ocorrencia | 1.80 |
| NaoOcorrencia | 98.2 |

Figura 96 – Probabilidade de ocorrência e não ocorrência da falha na descarga, tendo em vista a RB completa.

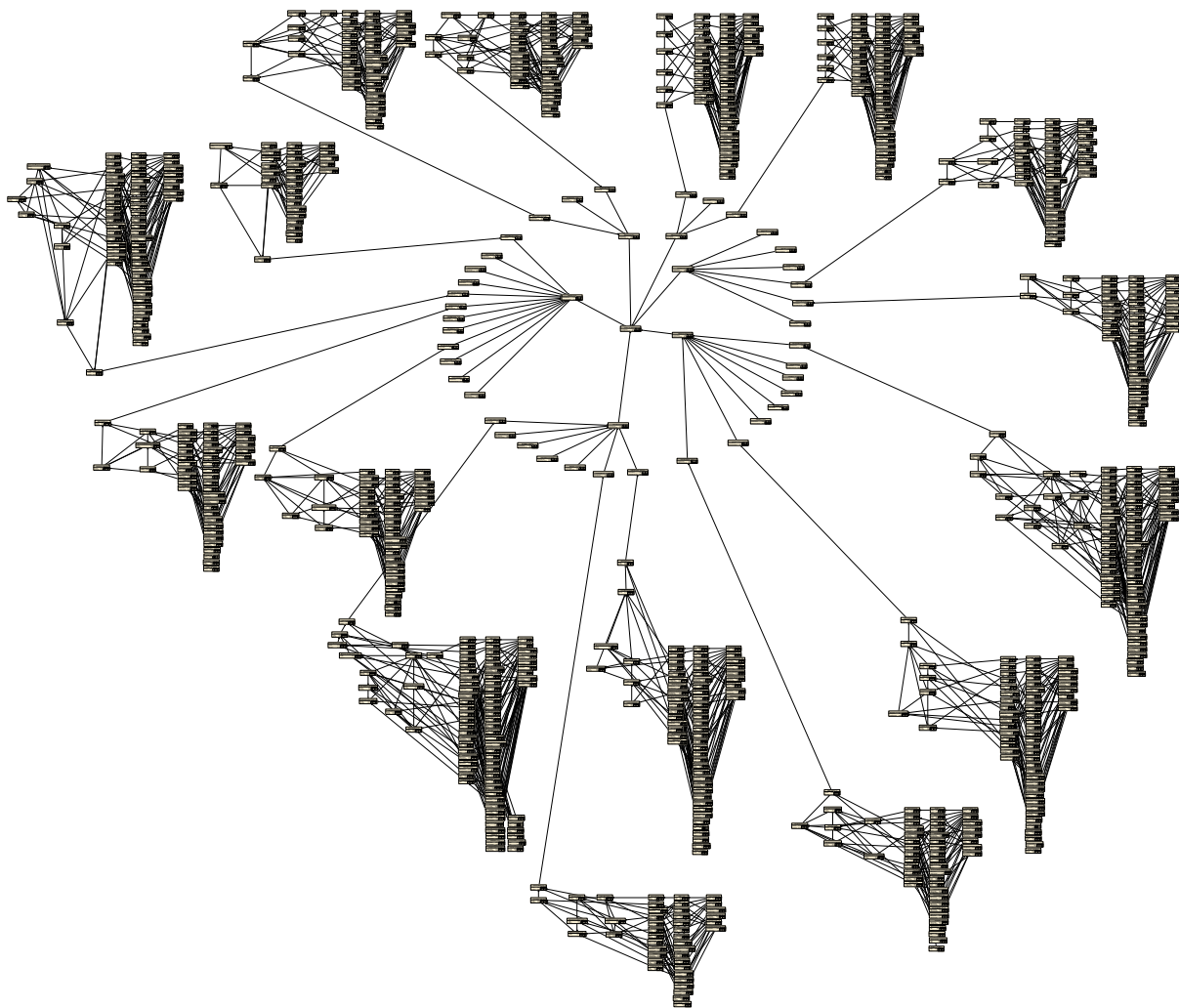


Figura 97 – Rede Bayesiana Completa do Processo sob estudo (NT-TGL) com a HRA.

Vê-se, portanto, que o resultado obtido para a probabilidade de falha na descarga (1,80%) é próximo do estimado inicialmente de 2,70%, obtido da Tabela 4, segundo o item 4.4.5. A partir do modelo, com uma análise de sensibilidade dos PSF e dos MOF, poder-se-á aferir quais os fatores que deverão ou ser mantidos ou ser alterados, em seus níveis de aplicação no sistema sob estudo, a fim de evitar um aumento da probabilidade de falha, ou, se for o caso, levar a uma diminuição deste valor. O trabalho, portanto, abre essa possibilidade, para estudos futuros.

4.4.7. Análise de consequências do vazamento de granel líquido inflamável

Como visto no tópico 2.7, foi feita a avaliação das consequências relativas ao vazamento do produto líquido inflamável transportado pelo NT, de possível ocorrência por ocasião da descarga do material no TGL, para os tanques de

armazenamento, via tubulações do complexo sob estudo. Neste contexto e na sequência, têm-se os possíveis cenários e suas características.

4.4.7.1. Possíveis cenários

O fluxograma da Figura 98³⁹ ilustra de forma simplificada o critério de definição dos possíveis cenários acidentais para o caso em estudo.

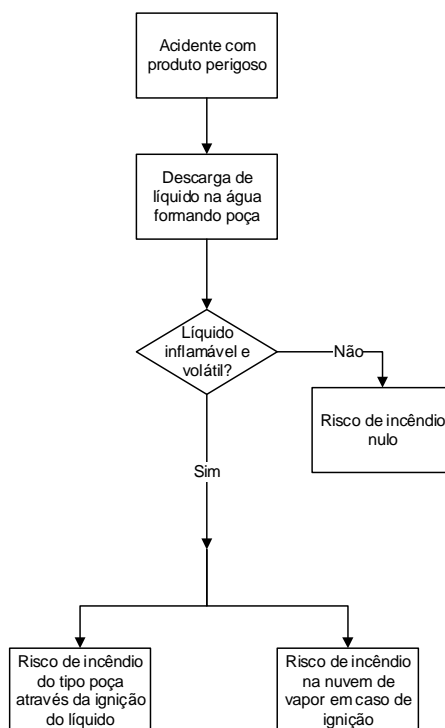


Figura 98 – Riscos resultantes do vazamento de substância líquida inflamável na área do TGL e do NT.

No fluxograma acima não foi considerado o risco de explosão por confinamento de vapor, liberado para a atmosfera, em caso de ignição, tendo em vista a inexistência de obstruções físicas, para o caso sob estudo, com exceção do próprio navio-tanque, que causem a contenção do deslocamento de ar. Diante de tal

³⁹ Ressalta-se que **risco de incêndio do tipo poça** é um fenômeno que ocorre quando há a combustão do produto evaporado da camada de líquido inflamável junto à base do fogo (*pool fire*), e **risco de incêndio na nuvem de vapor**, é um tipo de incêndio de uma nuvem de vapor onde a massa envolvida e o seu grau de confinamento, não é suficiente para atingir o estado de explosão (*flashfire*), segundo MARTINS (2013).

contexto, na análise das consequências, os possíveis cenários, que foram considerados, são relacionados abaixo:

- 1) Vazamento (descarga de líquido na água);
- 2) Formação da poça;
- 3) Dispersão da poça;
- 4) Incêndio da poça (*early pool fire – EPF e late pool fire – LPF*); e
- 5) Incêndio da nuvem de vapor (*flashfire – 100% de fatalidade*).

No caso da poça de álcool anidro (etanol – devido as suas propriedades físico-químicas), transportada pelo navio-tanque, o encontro com uma fonte de ignição ensejará um incêndio de poça. Como a mistura do etanol com o ar é rica, a chama tende a ser pouco visível e relativamente de alta temperatura. A posição do envelope da chama é afetada pela velocidade e direção do vento (IBAMA, 2013). A descarga não controlada dessa substância representa um perigo a indivíduos, tantos internos, quanto externos à planta (efeito dominó), uma vez que, além da formação de uma poça, uma nuvem de vapor poderá ser formada e dispersa para a atmosfera.

Caso a poça de etanol não encontre uma fonte de ignição, devido à volatilidade da substância, ocorrerá à formação de uma nuvem de vapor ou gás que se moverá na direção do vento, e a instabilidade atmosférica é grande na região de análise. É mais provável ter incêndio *flashfire* de noite do que durante o dia, apesar de, durante o dia, existirem mais pontos de ignição, tendo em vista o funcionamento do complexo industrial onde está inserido o TGL, além do processo de descarga, de regra, acontecer no período diurno. Se esta nuvem encontrar uma fonte de ignição em determinado local onde a sua concentração esteja entre os limites máximo e mínimo de inflamabilidade, resultará em um incêndio da nuvem (*flashfire*), no qual as chamas serão formadas na direção da fonte do vapor (IBAMA, 2013).

4.4.7.2. Hipótese do acidente adotada – considerações

A hipótese acidental assumida nesta análise considerou o vazamento instantâneo de todo inventário de um dos tanques do NT, seguindo, por analogia, as

prescrições da CETESB (2003) para acidentes com tanques, conforme MARTINS *et al.* (2011a). Na sequência, são apresentadas as considerações relativas à hipótese adotada.

4.4.7.2.1. Tipo e quantidade da substância envolvida

O TGL é utilizado para descarga de graneis líquidos (óleo diesel, óleo diesel marítimo, óleo MF380, gasolina e álcool anidro combustível), dos quais foi analisado neste trabalho o álcool anidro combustível (etanol), tendo em vista o fato deste combustível líquido apresentar o maior nível de inflamabilidade, como pode ser observado na Tabela 33 e na Tabela 34, em consonância com as informações no Estudo de Impacto Ambiental da Base Portuária do E&P no Espírito Santo (IBAMA, 2013).

Tabela 33 – Ponto de fulgor e de ebulição dos produtos descarregados no TGL – extraído de IBAMA, 2013 e BR Distribuidora (2014).

| Substância | Ponto de Fulgor (PF), método vaso fechado, em °C | Ponto de Ebulição (PE), em °C | Inflamabilidade |
|------------------------------------|--|-------------------------------|----------------------|
| Óleo diesel (S500) | 38 | > 288 | Inflamável |
| Óleo diesel marítimo (Bunker C) | 60 | Não aplicável | Inflamável |
| Óleo MF380 | 60 | Não aplicável | Inflamável |
| Gasolina (Comum) | < -43 | > 35 | Inflamável |
| Álcool Anidro combustível (etanol) | 13 | 78,5 | Altamente inflamável |

Tabela 34 – Classificação de substâncias inflamáveis – CETESB, 2003.

| Nível de inflamabilidade | Ponto de fulgor (PF) e/ou Ponto de ebulição (PE) (°C) |
|---|---|
| 4 – Gás ou líquido altamente inflamável | $PF \leq 37,8$ e $PE \leq 37,8$ |
| 3 – Líquido facilmente inflamável | $PF \leq 37,8$ e $PE > 37,8$ |
| 2 – Líquido inflamável | $37,8 < PF \leq 60$ |
| 1 – Líquido pouco inflamável | $PF > 60$ |

Adicionalmente, aos riscos de incêndio e explosão, a presença de um gás tóxico pode ocasionar efeitos toxicológicos no ser humano, devido a uma concentração letal na nuvem formada. Os dados toxicológicos e as propriedades

físico-químicas do etanol, necessários para a análise de consequências, são apresentados na Tabela 35⁴⁰.

Tabela 35 – Dados toxicológicos e propriedades físico-químicas do álcool anidro, IBAMA (2013).

| | |
|--|-------------|
| Número CAS | 64-17-5 |
| Densidade do líquido à 20 °C | 0,79 a 0,81 |
| Peso Molecular (g/mol) | 46,07 |
| pH | 6,0 a 8,0 |
| Calor latente de vaporização (Kcal/kg) | 200 |
| Calor de combustão (Kcal/kg) | 6425,00 |
| Ponto de ebulição (°C) | 78,32 |
| Ponto de fulgor | 13 °C |
| Ponto de Fusão (°C) | -185 |
| Pressão de Vapor a 20 °C | 7.1 atm |
| Temperatura de auto-ignição (°C) | 423 |
| Ponto de fulgor (°C) | 12,78 |
| Limites de Inflamabilidade (% em volume) | 3,3 a 19,00 |
| TLV – TWA (ppm) | 1000 |
| TLV – STEL (PPM – 15 minutos) | 5000 |
| IDLH | - |
| Oral (LD-50 Rato – mg/kg) | 21.000 |
| Skin (LD-50 Coelho – mg/kg) | 20.000 |
| Inhal (LD-50 Rato – mg/kg) | 20.000 |

Como os vapores de etanol não são considerados tóxicos (IBAMA, 2013), tendo em vista que os limites de exposição são extremamente altos (1000ppm), estes efeitos não serão avaliados neste trabalho. Para se estabelecer a quantidade de substância vazada, foi adotado um navio típico de transportes de produtos claros, operado pela TRANSPETRO, com as características apresentadas na Tabela 36⁴¹.

⁴⁰ “O limite por média ponderada no tempo (TLV-TWA) é a concentração média dos valores encontrados ao longo da jornada de trabalho (8 horas diárias, 40 horas semanais) e geralmente varia em função de inúmeras variáveis dos ciclos produtivos e ambientais. O limite de exposição por média ponderada de 15 minutos (TLV-STEL) não deve ocorrer mais de quatro vezes ao dia e é suplementar ao TLV-TWA.” (BUSCHINELLI e KATO, 2011)

⁴¹ Legenda: LOA – comprimento total; L_{pp} – comprimento entre perpendiculares; B = boca; T = calado; D = pontal; Desl. = deslocamento; V = velocidade.

Tabela 36 – Características do navio tanqueiro referência – extraído de PETROBRAS (2013), UFRJ (2013).

| Nome | LOA [m] | L _{pp} [m] | B [m] | T [m] | D [m] | Desl. [t] | Carga [t] | Carga [m ³] | Nº de tanques | V [nós] |
|----------|---------|---------------------|-------|-------|-------|-----------|-----------|-------------------------|---------------|---------|
| Itamonte | 186,60 | 176,00 | 31,03 | 11,81 | 16,20 | 54.345,00 | 44.200,00 | 46.800 | 9 | 13,00 |

Desta forma, na análise foi assumido um vazamento total do inventário de um dos tanques, considerados de mesma capacidade, ou seja, 5.200 m³. A altura do tanque foi considerada de 14,20m (duplo fundo de 2,00m).

4.4.7.2.2. Características do cenário adotado

No cenário foi assumido o pior caso (*worst case scenario*), que corresponde a pior catástrofe que poderia ocorrer, um furo no casco e em um dos tanques de carga, com 5 metros de diâmetro (MARTINS, 2013), promovendo a liberação contínua de todo inventário do tanque. A ruptura será no fundo do casco, ou seja, a 11,81m (calado) abaixo da linha d'água. Não há contenção (dique) que limite o espalhamento do líquido liberado. A superfície onde há possível liberação de material é aquosa (aproximadamente 20 metros de profundidade).

4.4.7.2.3. Características climáticas e meteorológicas do caso sob estudo

As características climáticas e meteorológicas assumidas, observado o item 4.1, são apresentadas Tabela 37 e na Tabela 38.

Tabela 37 – Características climáticas e meteorológicas de Vitória – ES – Brasil, IBAMA (2013), INPE (2013).

| Temperatura, em °C | Umidade Relativa, em % | Direção e intensidade do vento | Pressão atmosférica, em kPa |
|--------------------|------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 22 | 57 | SE-14km/h | 101,3 |

Tabela 38 – Condições dos ventos em Vitória – ES – Brasil, IBAMA (2013).

| Período | Velocidade | Classe de Estabilidade Pasquill ⁴² |
|---------|------------|---|
| Diurno | 3,0 m/s | C – moderadamente instável |
| Noturno | 2,0 m/s | E – levemente estável |

4.4.7.2.4. Resultados obtidos nas ferramentas PHAST e PHAST RISK

O caso estudado é complexo. Por esta razão há necessidade de programas de computadores especializados. Com o uso dos *softwares* PHAST (ou PHAST RISK), ambos da DNV, foi realizada a análise de consequências do processo em questão.

O PHAST é um programa de computador desenvolvido pela DNV usado como ferramenta computacional de análise dos perigos ou eventos indesejáveis dos sistemas ou processos industriais, tanto na fase de projeto, quanto na fase de operação. O PHAST examina o progresso de um potencial incidente originado, em regra, da liberação de produtos tóxicos e/ou inflamáveis, à sua dispersão, evaporação ou propagação na área, incluindo a modelagem em piscina, radiação térmica, e os efeitos da inflamabilidade e da toxicidade.

Quando se analisa os riscos na operação de produtos líquidos ou gasosos inflamáveis, é necessário prever o comportamento do produto (nuvem de gás ou líquido derramado), a sua interação com a instalação industrial, a probabilidade dos produtos inflamarem, a sobre pressão e as radiações térmicas geradas em caso de explosão sobre a população, as instalações e o meio ambiente.

Os resultados da simulação para o perigo de incêndio em nuvem (*flashfire*) demonstram uma variação da distância (raio) entre o dia e a noite, resultante das condições ambientais, relacionadas com as condições de estabilidade (Classe de Estabilidade PASQUILL). Como durante a noite se verifica maior estabilidade

⁴² Medida do grau de turbulência da atmosfera, normalmente definida em termos de gradiente vertical de temperatura. A atmosfera é classificada, segundo Pasquill, em seis categorias de estabilidade, de A a F, sendo A a mais instável, F a mais estável e D a neutra. A classificação é realizada a partir da velocidade do vento, radiação solar e percentagem de cobertura de nuvem; a condição neutra corresponde a um gradiente vertical de temperatura da ordem de 1° C para cada 100 m de altitude.

(Classe E – levemente estável) que durante o dia (Classe C – moderadamente instável), no período noturno a nuvem se dispersa vagarosamente, percorrendo maiores distâncias, resultando em uma maior área sujeita à ocorrência de um *flashfire*. A Figura 99 ilustra os resultados de *flashfire* para o dia e noite, para o limite inferior de inflamabilidade (LFL) e, também, para 50% desta concentração, utilizado pelo programa para efeito de aplicação de uma margem de segurança. Os resultados para o LFL indicam as distâncias de 52,31 metros e 496,90 metros, para o dia e para a noite, respectivamente. A Tabela 39 apresenta um resumo das distâncias observadas⁴³.

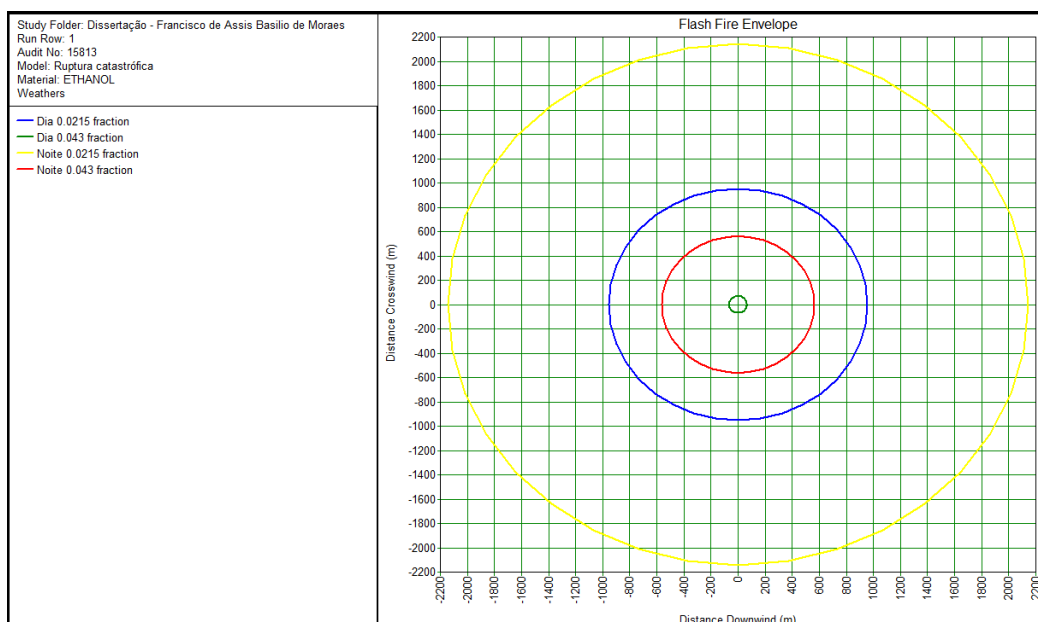


Figura 99 – Distâncias de interesse para o evento de *flashfire* – ajustado do PHAST RISK 6.5.4, DNV.

A liberação acidental de um líquido inflamável pode ocasionar a formação de poça, que seguida de ignição do material, dá lugar à ocorrência de incêndio em poça, com parte da energia liberada na combustão sendo emitida na forma de radiação térmica. A combustão pode ocorrer logo após o espalhamento da poça.

Os efeitos de um incêndio de poça, com ignição tardia (LPF), denominado de *late pool fire*, para o dia e para a noite, podem ser visualizados na Figura 100, os

⁴³ Quando se tem os efeitos flashfire não há preocupação com os efeitos externos; quando se tem sobrepressão, há preocupação quanto aos efeitos externos, o que não é o caso.

quais estão sumarizados na Tabela 39 para os níveis de radiação térmica de interesse (12,5 kW/m² e 37,5 kW/m² – de acordo com a CETESB, 2013⁴⁴).

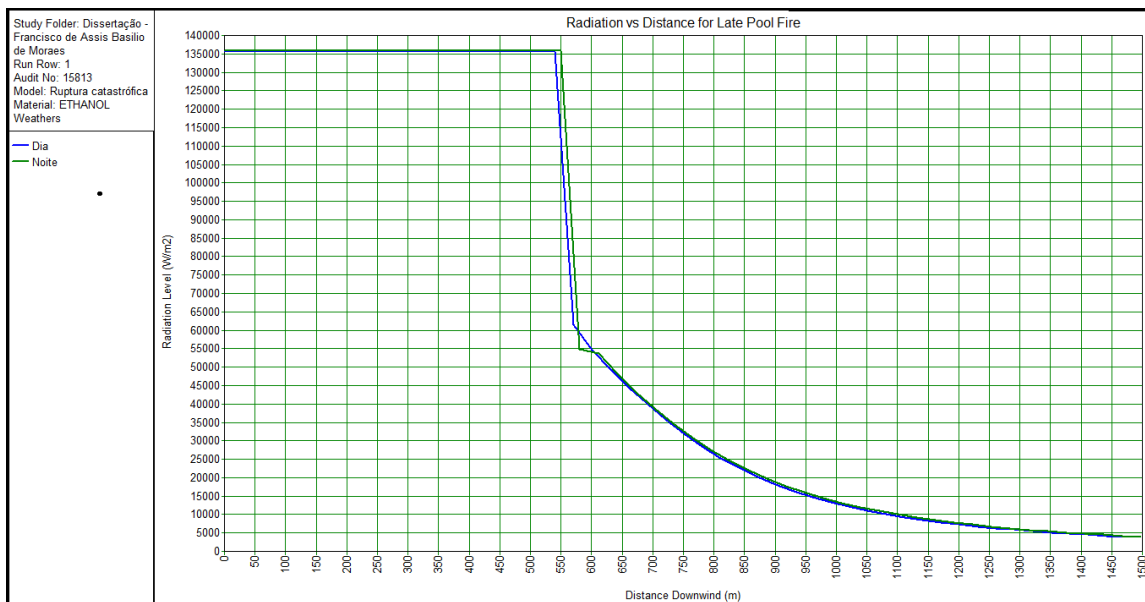


Figura 100 – Efeitos de incêndio de poça (*late pool fire*) – extraído do PHAST RISK 6.5.4, DNV.

| Evento | Referência | Dia | Noite |
|--------|------------------------|---------------|---------------|
| | | Distância (m) | Distância (m) |
| FF | LFL | 52,31 | 581,05 |
| LPF | 12,5 kW/m ² | 1011,62 | 1024,88 |
| | 37,5 kW/m ² | 708,69 | 711,99 |

Tabela 39 – Resultados da análise de consequências para *flashfire* e *late pool fire*⁴⁵ – ajustado do PHAST, DNV.

As condições de vento (intensidade e direção) e a estabilidade atmosférica (medida a partir da escala de PASQUILL) influenciam diretamente nas áreas de interesse. No caso analisado, tais efeitos foram mais evidentes para a condição noite, como pode ser observado na Figura 101, que apresenta as regiões com concentração de 2,15% em volume (50% LFL).

O ponto de liberação considerado para os dois períodos (noite e dia) é o mesmo (navio). As linhas não são concêntricas porque representam o instante para o qual os limites de concentração são $2,15 \cdot 10^4$ ppm, que representa 50% do LFL

⁴⁴ Intensidade de 12,5kW/m², 1% de fatalidade; intensidade de 37,5kW/m², 50% de fatalidade.

⁴⁵ Legenda: FF – *flashfire*; LFL – *lower flammability level* (limite inferior de inflamabilidade); LPF – *late pool fire* (incêndio em poça com ignição tardia).

sugerido pelo PHAST como $4,3 \cdot 10^4$ ppm. Durante o período noturno, como a Classe de Estabilidade Pasquill é levemente estável (E), a nuvem demora mais tempo para dissipar (1432,87 segundos), sendo deslocada pelo vento, considerado de SW, com velocidade de 14km/h. As informações de Classe de Estabilidade e vento foram dados de entrada do programa, resultado no mapa da mencionada figura. A Figura 102, construída a partir da Figura 47, em escala, busca comparar as duas condições e sanar a falta de concentricidade da Figura 101.



Figura 101 – Regiões de interesse para concentração de 50% do LFL – ajustado do PHAST RISK 6.5.4., DNV.



Figura 102 – Comparação com as regiões de interesse da figura anterior, incluindo as áreas críticas (Adaptado em escala do Google Earth e do PHAST RISK).

5. ANÁLISE DO MÉTODO À LUZ DO MODELO E DOS RESULTADOS

A análise probabilística de risco (PRA), como afirmado, visa quantificar o risco de um sistema ou processo, e pode ser considerado medida de perda econômica (expressão (2.18)). Em sistemas ou processos em que a interação homem-máquina está presente, a PRA deve ser feita considerando o elemento humano. Para tanto, a área nuclear, desde a década de 80 do século passado tem utilizado métodos que visam aferir o erro humano (HRA) (MARTINS, 2013; HOLLGANEL, 2005). Essas técnicas migraram para outras áreas industriais, com as devidas adaptações, conforme visto. Na área marítima ou naval, a IMO, tem orientado seus Estados participantes a adotar o FSA para a quantificação do risco, com enfoque na tomada de decisão. E, a análise de decisão, como expõe RODRIGUEZ (2012) usa como entrada fundamental julgamentos do tomador de decisão através de suas preferências ou utilidades (expressão (2.2)) e crenças. Tanto a distribuição *a priori* quanto a função de perda ou utilidade impactam na solução final do problema de decisão. Neste sentido, a validação de resultados é uma etapa importante para a análise de decisão, já que permite avaliar variações destes elementos de análise nos resultados finais, mas que não será visto neste trabalho. E na área naval, seguir a FSA, conforme a Figura 17, é o procedimento mais adequado (IMO, 2002).

O emprego de Redes Bayesianas para modelar ações humanas, como dito anteriormente, proporciona maior flexibilidade às variáveis componentes do processo estudado, observado os seus possíveis e múltiplos estados, fruto da interação de dois sistemas complexos e híbridos – porto e navio –, pois além de permitir uma representação mais realista da natureza dinâmica da interface homem-sistema e homem-homem em eventos normais ou anormais do processo, também representa a relação de dependência entre os eventos e entre os fatores de desempenho, o que não é possível com as técnicas ETA e FTA, que consideram as variáveis independentes e em situação binária. Além disto, existem redundâncias consideradas no refinamento e que foram conservadoramente descartadas num primeiro momento (na aplicação da FTA e da ETA). Os métodos que empregam a árvore de falhas e a árvore de eventos são sabidamente conservadores e, por esta razão, aceitos por agências reguladoras mundo afora no estudo de acidentes

nucleares, quando o objetivo é demonstrar que a planta industrial apresenta frequência esperada de vazamento radioativo menor que um limite pré-fixado. Sob esta ótica, para o caso estudado, com os resultados da ETA e da FTA, seria uma “ótima planta”, tendo em vista o histórico da Tabela 4.

Neste ínterim, o emprego de Redes Bayesianas, como verificado durante o desenvolvimento desta dissertação, para o caso em estudo, qual seja, o processo de descarga, se mostrou a técnica mais adequada para a PRA, em relação à FTA e à ETA, se a análise de risco deve ser feita com enfoque na HRA, mesmo que o caso sob estudo seja dinâmico⁴⁶. Veja-se, portanto, a Tabela 40. Neste ponto, seguindo as orientações da IMO (2002) na FSA, para sistemas navais e portuários, foi feito, neste trabalho, uma abordagem hierárquica, iniciando o estudo com o uso de ferramenta mais simples, em uma abordagem qualitativa, até a quantificação do risco, se for o caso, com ferramentas mais complexas e, de que quando não houver disponibilidade de dados ou informações necessárias, emprega-se o julgamento de especialistas para obtenção da informação desejada.

No que tange à análise final do modelo proposto, será feita no próximo tópico.

5.1. Análise final do modelo

A causalidade determinística é, de fato, como informa DROGUETT et al. (2010), a mola regente dos métodos tradicionalmente adotados para a HRA: árvore de falhas e árvore de eventos. Em tais métodos, um evento que é o efeito de dado conjunto de causadores certamente ocorrerá caso tal conjunto de causas ocorra, anulando qualquer incerteza na relação causal. Já relações causais não-determinísticas são características marcantes do formalismo das RB's. É preciso ter o conhecimento para tanto, em especial para operar os softwares. Note-se, além disso, a necessidade do desenvolvimento de uma linguagem que permita ao analista, uma vez munido das competências requeridas para a adoção das RB's, obter os requisitos de informações necessárias à modelagem (DROGUETT et al.

⁴⁶ O sistema sob análise é complexo, híbrido e dinâmico. O uso de RB's, ainda que estáticas, não inviabiliza a análise, dada a topologia dos eventos que são desenvolvidos na operação de descarga sob estudo.

2010). É preciso, como ocorreu neste trabalho, saber perguntar e entender as respostas dos especialistas.

O modelo em Redes Bayesianas, nesta linha de raciocínio, se mostrou como a técnica mais adequada para o complexo processo de descarga de um NT para um TGL. A modelagem da HRA, utilizando RB, para aferir a contribuição do fator humano na operação dos sistemas (NT e TGL), como se verá no tópico a seguir, foi fundamental para uma quantificação das probabilidades dos eventos indesejáveis do processo sob estudo. O uso de uma planta industrial como a do caso estudado, com a sua devida e detalhada identificação, bem como dos parâmetros associados, contribuiu, significativamente, para uma boa finalização do trabalho. Também, sem as visitas e as entrevistas com os especialistas e os operadores dos sistemas envolvidos, não se lograria êxito no preenchimento das TPC's das RB's, de forma coerente.

5.2. Resultados

No que tange a não ocorrência da descarga do produto líquido inflamável transportado pelo navio-tanque no terminal portuário especializado, a Tabela 40 mostra os valores em cada uma das técnicas utilizadas neste trabalho.

Tabela 40 – Probabilidades de não descarga, de acordo com as técnicas de PRA.

| Técnica | Probabilidade de não descarga (com erro de aproximação de 10^{-3}) |
|--|--|
| FTA | 0,562 |
| ETA | 0,562 |
| RB sem a HRA (opinião dos especialistas), antes da TPC's ajustadas | 0,562 |
| RB com a HRA (opinião dos especialistas), com as TPC's ajustadas | 0,018 |

Segundo DROGUETT et al. (2010), a HRA não é tão usada quanto à Análise de Confiabilidade e uma justificativa para tal constatação seria o uso das primeiras

gerações da HRA (THERP e ATHEANA), não adequadas para o comportamento humano. As técnicas de 1ª e 2ª gerações, que usam ferramentas como árvore de falhas e de eventos não são capazes de formular modelos mais realísticos, pois possuem suposições irreais de independência, realizadas por métodos como ETA e FTA, que apresentam muitas dificuldades na modelagem de ações do homem e suas interações com o ambiente. Todavia, ressalta-se, a RB requer um nível de refinamento técnico bem mais apurado, o que foi o caso aqui estudado. A necessidade de uso de probabilidade condicional é um exemplo disso.

As discrepâncias podem ser explicadas pelas limitações das técnicas de ETA e FTA e os erros nas aproximações, ante as multiplicações efetuadas. As simplificações efetivadas nos métodos ETA e FTA foram prejudiciais para explicar a realidade. A desconsideração das probabilidades condicionais, nos métodos ETA e FTA, presente no método com RB, também explicam a discrepância entre os valores probabilísticos nos métodos, conforme a Tabela 40. Antes de ser realizada a HRA, o autor não tinha a exata noção da opinião dos especialistas e dos operadores em relação aos fatores humanos (Habilidades, Fatores Internos, Ambientais e MOF). A RB com a HRA está próximo da realidade (como visto de 2,7% – ver 4.4.5) relativa as falhas de não descarga (cerca de uma em 37 realizadas, por ano), em conformidade com o exposto por DANG e STEMPEL (2012), HÄNNINEN e KUJALA (2012), HANEA *et al.* (2012), HE e NES (2012), DOLEŽAL (2013), LIU e WANG (2013) sobre a influência das aproximações numéricas nos métodos para a HRA, dadas as incertezas.

Na análise de consequências, o que se verificou foram resultados factíveis e de acordo com a literatura (NATACCI *et al.*, 2010b, MARTINS *et al.*, 2011a, BURGHERR *et al.*, 2012, CHU e CHANG, 2013), como se vê na Tabela 39. Não será feito neste trabalho, tendo em vista a extensão, a análise de sensibilidade detalhada dos resultados.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho, o processo sob análise foi identificado e descrito, com o intuito de, inicialmente, realizar uma Análise Preliminar de Perigos (PHA) objetivando determinar quais são as causas e seus efeitos que fazem com que os produtos transportados pelos navios-tanques (classe 3 pelo *IMDG Code*) não sejam descarregados no terminal portuário especializado. Esta técnica permite visualizar o evento de perigo e é recomendada pela IMO, de acordo com a FSA. Trata-se da primeira etapa para a avaliação do risco, no que tange ao seu aspecto qualitativo.

Na sequência, foram construídas as árvores de falhas (FTA) e as árvores de eventos (ETA), do processo em consideração, cujas probabilidades de ocorrência dos eventos básicos foram estimadas com base no ranqueamento das opiniões dos especialistas e operadores de uma planta industrial, na Tabela 23, tomada como caso a ser estudado, dentro de uma perspectiva generalista. Os valores obtidos no ranqueamento dispostos nas tabelas de ocorrência, indetectabilidade e severidade, observada a matriz de risco, e as tabelas de frequência e de consequência, serviram de base para a determinação da quantificação dos riscos associados ao processo sob análise, e, então, a probabilidade do evento-topo “não descarga” foi obtida. Buscou-se, em uma segunda etapa, a probabilidade de ocorrência do evento não descarga de granéis líquidos inflamáveis de um navio-tanque para um terminal portuário construído para tal finalidade, bem como a consequência de outro evento, qual seja, a liberação de material inflamável.

Todavia, como, tipicamente, os fatores humanos são a origem da maior parte das incertezas ao se aplicar a FSA, buscou-se uma técnica mais adequada a quantificação do erro humano, interagindo com as falhas dos equipamentos, uma vez que, a FTA e a ETA são limitadas, porque elas não permitem, de forma direta, a representação das dependências entre os elementos humanos incorporados aos sistemas que realizam o funcionamento dos processos, observados os fatores de desempenho do ser humano (as habilidades, os fatores internos, ambientais e os MOF). Além disso, as mencionadas técnicas não possibilitam a representação

dinâmica do processo, nem a construção de eventos fora da condição binária, isto é, de sucesso ou de fracasso.

Ressalta-se que, no caso sob estudo, há uma elevada interação entre o fator não humano e humano, e, neste contexto, remete-se para a leitura da explicação dada na apresentação do trabalho de HOLLGANEL, 2007, de acordo com a Figura 44; portanto, o modelo exposto neste trabalho se propõe a uma representação mais adequada desta interação para fins de análise do risco.

Desta forma, as Redes Bayesianas, como visto ao longo do texto, com foco na Tabela 40, se mostrou a técnica mais promissora na quantificação do risco, a fim de superar as mencionadas limitações da FTA e da ETA, considerando as ações humanas, interagindo entre si, e com outros fatores (*software* e *hardware*), como afirmam DROGUETT e MENÊZES (2007). Concorda-se com DROGUETT et al. (2005) quando afirmam que os modelos de 1ª e de 2ª gerações, que usam os métodos ETA e FTA apresentam deficiências, dentre elas se destacam, como já enfatizado, suposições irrealistas de independência e simples representação binária de eventos.

Por esta razão, foram construídas redes bayesianas a partir da árvore de falhas, em um primeiro momento, e na sequência, foram construídas redes bayesianas dinâmicas dos eventos básicos da árvore de falhas correlacionados ao elemento humano, observando a proposta de MATURANA (2010) e MARTINS (2013) para sistemas navais e oceânicos, com aplicação extensiva da técnica aos sistemas portuários (RIAH et al., 2013). Utilizou-se para tanto, a ferramenta computacional NETICA™ da NORSYS, licenciada para o LabRisco do Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da USP.

Após a estimação da probabilidade de ocorrência do evento de não descarga, que se traduz em um risco econômico para o Espírito Santo, com o uso das RB, foi realizada a Análise de Consequências do processo, levando em consideração que há necessidade da quantificação das consequências, em caso de ocorrência de eventos indesejáveis, em especial os catastróficos, com a utilização da ferramenta

PHASt RISK, versão 6.5.4, desenvolvida pela DNV, para a avaliação dos possíveis impactos da ocorrência de tais eventos, na dependência ou não, da distância em relação ao ponto de ocorrência dos mencionados eventos indesejáveis e perigosos. Para tanto, foi considerado o vazamento, no pior cenário, de álcool etílico, etanol, devido a sua inflamabilidade, por ocasião da descarga do produto em questão, do navio-tanque para os tanques de armazenamento associados ao TGL. Os valores são mostrados na Tabela 39.

No próximo tópico, são feitas as considerações e conclusões sobre a metodologia utilizada, nesta dissertação, para a qualificação e a quantificação do risco do processo de descarga de granéis líquidos inflamáveis do NT para o TGL, segundo passo do FSA (IMO, 2002).

6.1. Conclusões extraídas a partir do Método utilizado e Análise de Risco

A técnica utilizada nesta dissertação apresenta uma análise proativa para prevenir eventos indesejáveis, na pior das hipóteses, catastróficos, através da avaliação de risco. Com o estudo do caso, foi possível validar o uso das Redes Bayesianas, tanto na conversão da árvore de falhas, com auxílio da árvore de eventos, quanto no desenvolvimento de diversas redes, em relação aos eventos básicos, nos quais o fator humano interage com fatores não humanos. O uso das RB's permite uma representação mais realista da natureza dinâmica da interface homem-sistema e também representa a relação de dependência entre os eventos e entre os fatores de desempenho (DROGUETT et al., 2005). Conclui-se, portanto, que o método utilizado com o uso das RB's é que melhor se aplica ao caso estudado.

O estudo do caso, como informado, foi realizado em oito etapas: (i) identificação do processo e dos sistemas que o realizam (navio e porto), com todos os seus elementos humanos e não humanos (software e hardware); (ii) a identificação dos eventos de perigos associados ao processo, as suas consequências e os seus efeitos, qualificando-os; (iii) a quantificação dos eventos básicos associados, estimando as suas probabilidades de falha (não confiabilidade),

através da técnica de composição probabilística; (iv) a construção das árvores de falhas e de eventos, quantificando a frequência ou a probabilidade de ocorrência dos eventos, como um primeiro passo para a quantificação do risco, observado o sucesso e o fracasso do evento final ou topo do processo; (v) a conversão da árvore de falhas, com o auxílio da árvore de eventos, para demonstrar os cenários, em uma rede bayesiana; (vi) a construção e o desenvolvimento de redes bayesianas associadas aos eventos básicos da árvore de falhas, cujo o fator humano interage, a fim de realizar a HRA; (vii) a conjugação ou a junção das redes bayesianas em uma grande rede integrada obtida na etapa de modelagem, cujos estados foram estabelecidos com base na opinião dos especialistas e operadores dos sistemas porto e navio, o que minimizou o uso de suposições, resultando no levantamento dos fatores que devem receber maior atenção para melhorar a aplicação dos recursos da Cia. Transportadora, proprietária do NT e da Cia. Concessionária do TGL, conforme se infere da Tabela 22 e da Tabela 23, em uma cultura de redução de risco; (viii) A análise de consequências, no pior cenário (caso), de liberação de produto líquido mais inflamável transportado pelo NT.

Durante a modelagem, concluiu-se que as redes bayesianas permitem um grande detalhamento dos fatores envolvidos no processo, tanto humanos, que influenciam na execução das tarefas, quando não humanos, relativos aos equipamentos e programas utilizados pelas duas companhias atuantes no processo. Para a boa aplicação da RB, entretanto, é necessário um conhecimento prévio e detalhado do processo (e dos sistemas associados), a fim de permitir determinar, com segurança, o que pode e o que não pode ser ignorado. Para este trabalho, as dependências entre os PSFs e as atividades seguiram o método combinado de MARTINS (2013) e MATURANA (2010).

A modelagem dos desencadeamentos dos eventos de perigo (que podem levar a não descarga do produto do NT ou algo pior, como colisão, incêndio ou explosão), foi feita com base na árvore de falhas, construída a partir da Tabela 49. Com a rede bayesiana completa e integrada, foi possível identificar os eventos mais relevantes e de alto risco, conforme as redes associadas (ver a Figura 109 e a Figura 212), quais sejam: (i) falha da equipe do TGL por ocasião da atracação, seja por conflito, seja

por inexperiência (14,5%); (ii) falha no Sistema de Posicionamento Dinâmico (SPD) na atracação (10,1%) e (iii) falha do Sistema de Governo do NT na atracação (10,1%).

Além disso, foi possível concluir quais os MOF que devem ter a devida atenção das empresas que operam o NT e o TGL, isto é, que não podem ser ignorados, tendo em vista a possibilidade de aumento do risco. Dentre os MOF da RB completa (ver na página 208 a Figura 97 e a folha A0), os considerados mais críticos e presentes foram: (i) Carga de Trabalho, (ii) Seleção de Pessoal e (iii) Programas de Treinamento.

O trabalho também mostrou que uma análise de sensibilidade dos fatores é recomendável na busca da redução das falhas no sistema NT-TGL. Não se ignora o questionamento que, o modelo, mostrou um sistema que, na atualidade, opera com um baixo valor de falha ao ano, dando a falsa percepção de que está tudo bem. Mas isso não é o que parece: a realidade mostra que os operadores e as Cias. têm atuado no sistema NT-TGL, mantendo uma falha por ano; mas o modelo mostra, ainda que preliminarmente, que eles podem atuar nos PSF's ou/e MOF's para evitar um aumento da probabilidade de falha, ou, em uma situação otimista, levar a uma diminuição deste valor. Essa análise, todavia, é deixada para trabalhos futuros.

Ao analisar cada uma das etapas do complexo processo de descarga de produtos líquidos inflamáveis, comprovou-se a efetividade da análise em encontrar os pontos vulneráveis e estabelecer as causas dos eventos de perigo, do mesmo modo que contribuiu para aferir as consequências associadas. Com a análise quantitativa das consequências, concluiu-se que, a área afetada pelo evento *flashfire*, no pior cenário de vazamento de álcool anidro etílico, por ocasião da descarga, tem um diâmetro de mais de 1Km (Figura 99), considerando a distância associada a concentração de 50% do LFL (ver Tabela 39) e um alcance da radiação térmica de mais de 1Km, dado pela Figura 100, e, portanto, extramuros, com grande perda de vidas humanas e de instalações, dada a configuração da planta industrial analisada.

6.2. Recomendações para trabalhos futuros

Verificou-se que a modelagem em RB, considerados os fatores humanos (habilidades, fatores internos e ambientais e MOF's) levou a construção de uma grande rede, haja vista que o processo analisado é, de fato, complexo, pois que interage com dois sistemas bastante complexos: o navio e o porto. Confirma ainda que, nem todos os fatores humanos foram considerados na modelagem e que os nós “pais” e “filhos” foram construídos para dois estados, um negativo e outro positivo, para fins de determinação da probabilidade de ocorrência. Também a modelagem das falhas de *software* e *hardware* considerou tão-somente a opinião dos especialistas, sem que fossem acessados os manuais relativos aos equipamentos e ferramentas, suas condições de reparo e manutenção, conforme informa ARENIUS et al. (2013). Nesta toada, dentre as propostas de continuação desta pesquisa, poderia ser examinada a análise de sensibilidade das atividades, dos fatores internos, habilidades e dos MOF's na linha desenvolvida por MARTINS e MATURANA (2010), a expansão da modelagem do processo, considerando todos os fatores humanos, os períodos de manutenção e reparo dos equipamentos, mais de dois estados para cada nó, etc.

Outro ponto que poderia ser considerado para o incremento desta pesquisa é a forma como foram preenchidas as TPCs. O treinamento da RB desenvolvida a partir de um banco de dados (a qual o autor não teve acesso), levaria a obtenção de probabilidades mais próximas da realidade.

Por fim, em trabalhos futuros, poderia ser feito uma nova análise de risco, a partir da técnica denominada “redes neurais”, a qual vem sendo desenvolvida e aplicada em várias áreas, em especial na pesquisa tecnológica, haja vista que o processo lida com o elemento humano e, possivelmente, com eventos associados a mais de dois estados, sob uma lógica Fuzzy, a fim de investigar se, a utilização da teoria Fuzzy, em redes neurais com multiestados, quando há elevado grau de incerteza, é a melhor alternativa às redes bayesianas. Então, os resultados da mencionada técnica poderiam ser comparados com os resultados aqui obtidos.

7. REFERÊNCIAS

ABS. American Bureau of Shipping. **Guidance notes on Risk Assessment Applications for the Marine and Offshore Oil and Gas Industries**. June 2000.

ABS. **Guide for Risk Evaluations for the Classification of marine-related facilities**. June 2003.

Agência Nacional de Transportes Aquaviários – ANTAQ. **Panorama da Navegação Marítima e de Apoio**.

<http://www.antaq.gov.br/Portal/pdf/BoletimPortuario/PanoramaNavegacaoMaritimaApoio2012.pdf> . Acesso em: 19.12.2013.

ALFREDINI, P.; ARASAKI, E. **Obras e Gestão de Portos e Costas**. 2. Ed. São Paulo: Edgard Blucher. 2009.

ARENIUS, M.; STRÄTER, O.; JENERICH, M.. **Status and needs on human reliability assessment of complex systems**. 22th European Safety and Reliability Conference 2013 (ESREL2013), Amsterdam, Holand, Set-Out, 2013.

AZARKHIL, M.; MOSLEH, A. **Impact of team characteristics on crew performance: An object based modeling and simulation approach**. 22th European Safety and Reliability Conference 2013 (ESREL2013), Amsterdam, Holand, Set-Out, 2013.

BALTALDEN, B.M.. **Integration of Operation Management and Risk Assessment using Hierarchical Task Analysis**. 11th International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference & European Safety and Reliability Conference 2012 (PSAM11 & ESREL2012), Helsinki, Finland, 2012.

_____.; SYDNES, A.K.. **Risk assessments, key ship board operations and soft barriers on offshore operations**. 22th European Safety and Reliability Conference 2013 (ESREL2013), Amsterdam, Holand, Set-Out, 2013.

BR Distribuidora, **Fichas de Informação de Segurança de Produtos Químicos**. Álcool Etílico Anidro, Gasolina Comum, Óleo Combustível Marítimo – MF 380, Óleo Diesel Marítimo. Brasil, 2014.

BURGHERR P.; ECKLE, P.; MICHAUX, E. **Oil Tanker transportation risk: driving factors and consequence assessment**. 11th International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference & European Safety and Reliability Conference 2012 (PSAM11 & ESREL2012), Helsinki, Finland, 2012.

BUSCHINELLI, J. T.; KATO, M. **Manual para interpretação de informações sobre substâncias químicas**. São Paulo: FUNDACENTRO, 2011.

CASTRO, L. I.; J. H. FARO. **Introdução a Teoria das Escolhas**. 25^o Colóquio Brasileiro de Matemática. Instituto de Matemática Pura e Aplicada – IMPA. Rio de

Janeiro. 2005. http://www.impa.br/opencms/pt/biblioteca/cbm/25CBM/25CBM_08.pdf
Acesso em: 06.01.2014.

CCPS-AIChE. Center For Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers. **Guidelines for Hazard Evaluation Procedures**. 3rd ed. New York: USA, 2008.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, **Manual de Orientação para Elaboração de Estudos de Análise de Risco**, P4.261, 2014.

POFFO, I.R.F.; HADDAD, E.; MINNITI, V.M.M.. **Gerenciamento de Riscos em Terminais e a minimização de acidentes ambientais envolvendo produtos químicos**. CETESB. <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/gerenciamento-riscos/sobena.pdf>. Acesso em 10.12.2013.

CHU, B.; CHANG, D.. **A study of the treatment of uncertainty in the Quantitative Fire Risk Assessment of Offshore Installations**. 22th European Safety and Reliability Conference 2013 (ESREL2013), Amsterdam, Holand, Set-Out, 2013.

COZMAN, F. G. **An Introduction to the Theory Set of Probability Distributions**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2009.

_____. **Apostila da disciplina PMR 5228 – Teoria das Probabilidades aplicada à Inteligência Artificial e à Robótica**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.
<http://sites.poli.usp.br/p/fabio.cozman/Didatico/pmr5228.html> Acesso em: 10.10.2013.

DANG, V.N.; STEMPFEL, Y.. **Evaluating the Bayesian Belief Network as a Human Reliability Model – the effect unreliable data**. 11th International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference & European Safety and Reliability Conference 2012 (PSAM11 & ESREL2012), Helsinki, Finland, 2012.

DEACON, T.; AMYOTTE; KHAN, F. I. **Human error risk analysis in offshore emergencies**. Reliability Engineering and System Safety, Jul/2010, Vol. 48, pp.603-818. ELSEVIER.

DOLEŽAL, R.. **Different way of looking at the HRA process**. 22th European Safety and Reliability Conference 2013 (ESREL2013), Amsterdam, Holand, Set-Out, 2013.

DROGUETT, E.L.; MENÊZES; R.C.S.; FIRMINO, P. R. A. **Análise da confiabilidade humana via Redes Bayesianas**. XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – SPBO, Gramado, RS, 27 a 30.09.2005.

_____; MENÊZES; R.C.S. **Análise da confiabilidade humana via Redes Bayesianas: uma aplicação à manutenção de linhas de transmissão**. Revista do Departamento de Engenharia de Produção – UFPE. v. 17, n. 1, p. 162-185, Jan./Abr. 2007.

_____ ; DE SOUZA, F. P. S.; FIRMINO, P. R. A. **A Análise Confiabilidade Humana: uma revisão comentada da literatura.** XLII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – SPBO, Bento Gonçalves, RS, 30.08 a 03.09.2010.

MEMÓRIA, J. M. P. **Breve História da Estatística.** Textos para discussão nº 21. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, 2004.
http://www.im.ufrj.br/~lpbraga/prob1/historia_estadistica.pdf Acesso em: 19.12.2013

EMBREY, A. **SHERPA – A systematic human error reduction and prediction approach to modelling and assessing human reliability in complex tasks.** 22th European Safety and Reliability Conference 2013 (ESREL2013), Amsterdam, Holand, Set-Out, 2013.

ERICSON, C. A. **Hazard Analysis Techniques for System Safety.** New Jersey: John Wiley & Sons, 2005.

EVANS, M.; HASTINGS, N.; PEACOCK, B. **Statistical Distributions.** 3. Ed. New York: Wiley. 2000.

FELLER, W. **An Introduction to Probability Theory and Its Applications.** Volume I and II. 3. Ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 1970.

FIGUEIRÔA, C.L.S.; ASSIS, E.M.; LIMA, G.C.; FLEMING, P.V; FREITAS, I. GARCIA, A.C.. **Human reliability – an analysis of proportional success X fail scenarios for adjusting assessment and management risk for reality – applied to hydroelectrical energy generation.** 22th European Safety and Reliability Conference 2013 (ESREL2013), Amsterdam, Holand, Set-Out, 2013.

FLAGE, R.; RØED, W.. **A reflection on some practices in the use of Risk Matrices.** 11th International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference & European Safety and Reliability Conference 2012 (PSAM11 & ESREL2012), Helsinki, Finland, 2012.

FOULLIARON, J.; BOUILLAUT, L; AKNIN, P. BARROS, A. ROZAS, R.. **A prognostic algorithm based on probabilistic graphical models for a periodically observable system.** 22th European Safety and Reliability Conference 2013 (ESREL2013), Amsterdam, Holand, Set-Out, 2013.

FRANCIS R.A.; GUIKEMA, S.D.; HENNEMAN, L.. **Bayesian Belief Networks for predicting drinking water distribution system pipe breaks.** 11th International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference & European Safety and Reliability Conference 2012 (PSAM11 & ESREL2012), Helsinki, Finland, 2012.

FRIEDMAN, N.; MURPHY, K.; RUSSELL, S. J. **Learning the structure of dynamic probabilistic networks.** Proceedings of the Fourteenth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence, 1998.

GEIGER, D.; VERMA, T.; PEARL, J.. **Identifying Independence in Bayesian Networks**, NETWORKS, Vol. 20., p. 507-534, John Wiley & Son Inc., 1990.

GHAHRAMANI, Z. **Learning Dynamic Bayesian Networks**. In C. L. Giles & M. Gori (eds.), Adaptive Processing of Sequences and Data Structures, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Berlin, Springer-Verlag, 1998.

HÄNNINEN, M.; KUJALA, P. **Influences of variables on ship collision probability in a Bayesian belief network model**. Reliability Engineering and System Safety, Jun/2012, Vol.102, pp.27-40. ELSEVIER.

HANEA, D.; HANEA, A.; ALE, B.; SILLEM, S.; LIN, P.H.; GULIJK, C.V.; HUDSON, P.. **Using Dynamic Bayesian Networks to implement feedback in a management Risk Model for the Oil Industry**. 11th International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference & European Safety and Reliability Conference 2012 (PSAM11 & ESREL2012), Helsinki, Finland, 2012.

HAUGEN, S.; STELJEUD, J.; NYHEIM, O.M.; SKET, S.; JAHNSEN, E.. **A generic method for identifying major accident risk indicators**. 11th International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference & European Safety and Reliability Conference 2012 (PSAM11 & ESREL2012), Helsinki, Finland, 2012.

HE, X.; NES, F.V.. **Experiences from adapting structured HRA Methods to the Oil and Gas Industry**. 11th International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference & European Safety and Reliability Conference 2012 (PSAM11 & ESREL2012), Helsinki, Finland, 2012.

HOLLGANEL, E. **Understanding Accidents – From Root Causes to Performance Variability**. Human Factors and Power Plants, 2002. Proceedings of the 2002 IEEE 7th Conference on - IEEE2002, p. 1 – 1-6, Set/2002.

_____. **Barriers analysis and accidents prevention**. Proceedings of the 2005 IEEE 10th Conference on - IEEE2005, Set/2005.

_____. **The Functional Resonance Analysis Method. Slides**. Congresso IBP HRA – Parte 2 – I Conferência Internacional de Confiabilidade Humana, IBP, Rio de Janeiro, RJ, março, 2007.

IBAMA. **Apresenta o Estudo de Impacto Ambiental da Base Portuária do E&P no Espírito Santo**.

<[http://licenciamento.ibama.gov.br/Porto/Base%20Portuaria%20do%20E&P%20no%20Espirito%20Santo/EIA%20BPES/Volume%205/6%20ESTUDO%20DE%20AN%20LISE%20DE%20RISCO/6%20%20Estudo%20de%20An%20lise%20de%20Risco.p](http://licenciamento.ibama.gov.br/Porto/Base%20Portuaria%20do%20E&P%20no%20Espirito%20Santo/EIA%20BPES/Volume%205/6%20ESTUDO%20DE%20AN%20LISE%20DE%20RISCO/6%20%20Estudo%20de%20An%20lise%20de%20Risco.pdf)
df>. Acesso em: 31.08.2013.

ICS. **Bridge Procedures Guide**. 3ªEd. London. 1998.

IKEDA, N. H.; MARTINS, M. R.. **Análise de Risco aplicado a navios transportador de Gás Natural Liquefeito (GNL)**. Rio Oil Gas Conference. Rio de Janeiro. 2012.

IMO, **Guidelines for Formal Safety Assessment for use in the IMO rule-making process**, Maritime Safety Committee and Marine Environment Protection Committee, London. 2002.

IMO, **International Safety Management Code (ISM Code)**, London. 2002b.

IMO, **International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals (ISGOTT)**, London. 2002c.

IMO, **International Maritime Dangerous Goods Code (IMDG Code)**, London. 2002d.

INPE. **Apresenta a previsão de tempo para as cidades**.

<<http://www.cptec.inpe.br/cidades/previsao.do?parameter=tempo&id=246>>. Acesso em: 31.08.2013.

ISO /IEC 31010 Ed. 1.0. **Risk Management – Risk Assessment Techniques**. p.54, 2008.

KONGSVIK, T.O.; STØRKERSEN, K.V.. **The relationship between regulation, safety, management systems and safety culture in the maritime industry**. 22th European Safety and Reliability Conference 2013 (ESREL2013), Amsterdam, Holand, Set-Out, 2013.

KRÜGER, C. M. **Análise de Confiabilidade Estrutural aplicada às barragens de concreto**. Curitiba. 2008. 146p. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Exatas. Métodos Numéricos em Engenharia. 2008.

KUMAMOTO, H.; HENLEY, E. J. **Probabilistic risk assessment and management for engineers and scientists**. 2. Ed. New Jersey. U.S.A.: IEEE Reliability Society. 1996.

LIN, P.H.; HANEA, D.; ALE, B.; SILLEM, S.; GULIJK, C.; HUDSON, P.. **Integrating Organizational factor into a BBN model of risk**. 11th International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference & European Safety and Reliability Conference 2012 (PSAM11 & ESREL2012), Helsinki, Finland, 2012.

LIU, F.H.; WANG, J.G.. **Method to determine uncertainty in system reliability estimate based on Bayesian Networks**. 22th European Safety and Reliability Conference 2013 (ESREL2013), Amsterdam, Holand, Set-Out, 2013.

MAHBOOB, Q.; SCHÖNE, E.; KUNZE, M.; TRINCKAUF, J.; MASCHEK, U.. **Representing advanced aspects of Fault Trees into Bayesian Networks – modeling safety in Complex Railway Systems**. 11th International Probabilistic

Safety Assessment and Management Conference & European Safety and Reliability Conference 2012 (PSAM11 & ESREL2012), Helsinki, Finland, 2012.

MARTINS, M. R.; SOUZA, G. F. M.; IKEDA, N. H. **Consequence analysis of a liquefied natural gas floating production storage offloading (LNG)**. International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering – OMAE2011, Rotterdam, 2011a.

_____; RAMOS, M. A., DROGUETT, E. L., HENRIQUE, P. S. **Quantitative Risk Analysis and Comparison For Onshore and Offshore LNG Terminals: The Porto f Suape – Brazil Case**. OMAE2011, Rotterdam, Netherlands, Jun/2011b.

_____. **Considerações sobre Análise de Confiabilidade e Risco**. São Paulo. 2013. 900p. Livre Docência. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. 2013.

_____; MATURANA, M. C. **The Application of the Bayesian Networks in the Human Reliability Analysis**. ASME – International Mechanical Engineering Congress and Exposition, IMECE2009, Lake Buena Vista, Florida, USA, November 13-19, 2009.

_____; MATURANA, M. C. **Metodologia para Análise de Confiabilidade Humana nas Redes Bayesianas**. 23º Congresso Nacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore, Rio de Janeiro, RJ, 25-29/Out, 2010.

_____; MATURANA, M. C. **Application of Bayesian Belief networks to the Human Reliability Analysis of an oil tanker operation focusing on collision accidents**. Reliability Engineering and System Safety, Fev/2013, Vol.110, pp.89-109. ELSEVIER.

_____. GOYANO, F. H. T. C. Preliminary Hazard Analysis of Fire Systems of Tankers, **International Society of Offshore and Polar Engineers (ISOPE)**, Jul 1-6, p. 3669-3676, 2007.

_____; DE MORAES, F. A. B. **Análise Preliminar de Perigos das etapas para a descarga de Granéis Líquidos de um Navio-Tanque em um Terminal Portuário Especializado – Composição Probabilística**. I Congresso da ABRISCO, Nov – 2013a.

_____; DE MORAES, F. A. B. **Análise Preliminar de Perigos das etapas para a descarga de Granéis Líquidos de um Navio-Tanque em um Terminal Portuário Especializado**. XXIII COPINAVAL, Set/Out – 2013b.

MATURANA, M. C. **Aplicação das Redes Bayesianas na análise da contribuição do erro humano em acidentes de colisão**. São Paulo. 2009. 161p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. 2009.

MATUZAS, V; CONTINI, S.. **Event Trees Analysis based on functional decomposition**. 22th European Safety and Reliability Conference 2013 (ESREL2013), Amsterdam, Holand, Set-Out, 2013.

MELO, P.F.F.F.; ALVARENGA, M.A.B.. **Modeling and Quantifying Human Reliability in Nuclear Power Plants: First and Second Generation Methods – Part II. Slides**. Congresso IBP HRA – Parte 2 – I Conferência Internacional de Confiabilidade Humana, IBP, Rio de Janeiro, RJ, março, 2007.

MILIUS, T.L.; LEMMER, K.; SCHWENCKE, D.. **Influential factors on human performance in railways and their interrelations**. 22th European Safety and Reliability Conference 2013 (ESREL2013), Amsterdam, Holand, Set-Out, 2013.

MITOMO, N.; YOSHIMURA, K.; ITOH, H.. **Development of a Method for Maritime Accident Analysis with ET**. 22th European Safety and Reliability Conference 2013 (ESREL2013), Amsterdam, Holand, Set-Out, 2013.

MODARRES, M. **Risk Analysis in Engineering: Techniques, Tools and Trends**. 1. Ed. London: Taylor & Francis. 2006.

_____. KAMINSKIY, M.; KRIVTSOV, V. **Reliability Engineering and Risk Analysis: a practical guide**. 2. Ed. U.S.A.: CRC Press. 2010.

MOSLEH, A.; EKANEM, N.J.. **Human failure event dependency modeling and quantification: A Bayesian network approach**. 22th European Safety and Reliability Conference 2013 (ESREL2013), Amsterdam, Holand, Set-Out, 2013.

MURPHY, P. K. A Brief Introduction to Graphical Models and Bayesian Networks. 1998. Em <http://www.cs.ubc.ca/~murphyk/Bayes/bnintro.html> Acesso em: 14.01.2014.

NATACCI, F. B., SOUZA, G. F. M., MARTINS, M. R. **Proposta de Método de Análise de Confiabilidade de Navios**. COPINAVAL – Congresso Pan-Americano de Engenharia Naval, Transporte Marítimo e Engenharia Portuária, São Paulo, SP, 2007.

_____, SOUZA, G. F. M., MARTINS, M. R. **Metodologia para Análise Preliminar de Riscos de um navio de transporte de gás natural comprimido**. XXI COPINAVAL, Montevideo, Abril/2010a.

_____, IKEDA, N. H., MARTINS, M. R. **Consequence Analysis of a Liquefied Natural Gas Leakage**. OMAE, Shanghai, China, Jun/2010b.

NEAPOLITAN, R. E. **Learning Bayesian Networks**. 1. Ed. U.S.A.: Prentice Hall Series in Artificial Intelligence, 2003.

NOGUEIRA A.C.; PERES, A. P. Comparação entre duas matrizes FMEA aplicadas em Laticínios de Lavras – MG. **Engenharia Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 178-189, 2010.

NORSYS Software Corporation. **NETICA-J Reference Manual**. Version 4.18 and Higher. 2010.

NUREG-0492. U.S. Nuclear Regulatory Commission. **Fault Tree Handbook**. Washington. Jan/1981

PETROBRAS NBR 2782. **Critérios para Aplicação de Técnicas de Avaliação de Riscos**. Rio de Janeiro, 2004.

PETROBRAS NBR 2784. **Confiabilidade e Análise de Riscos**. Rio de Janeiro, 2005.

PETROBRAS TRANSPORTES S.A. – TRANSPETRO. **Informações Portuárias. Terminal Vitória/ Norte Capixaba/ Barra do Riacho**. 2. Ed. Rio de Janeiro: 2012.

PETROBRAS. **Apresenta as características dos navios**.
<<http://relacionamento.petrobras.com.br/memoria/minisites/memoria/embarcado/>>.
Acessado em 31.08.2013.

PONTE JUNIOR, G.P.. **Gerenciamento de Riscos baseado em Fatores Humanos e Cultura da Segurança – estudo de caso de simulação computacional do comportamento humano durante a operação de escape e abandono de instalações offshore**. Rio de Janeiro: Elsevier. 2014.

PRVAKOVA, S.; DANG, V.N.. **A review of the current status of HRA data**. 22th European Safety and Reliability Conference 2013 (ESREL2013), Amsterdam, Holand, Set-Out, 2013.

QUIGLEY, J.; WILSON, K.; BEDFORD, T.; WALLS, L.. **Bayes Linear adjustments to improve empirical Bayes Inference for correlated events rates**. 11th International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference & European Safety and Reliability Conference 2012 (PSAM11 & ESREL2012), Helsinki, Finland, 2012.

RAMOS, M.A.; DROGUETT, E.A.L.; MARTINS, M.R.; BARBOSA, C.. **Desenvolvimento de Metodologia Bayesiana de Análise Quantitativa de Risco para Terminais de GNL e Aplicação para um Terminal Offshore**. Congresso Latino-Americano de Investigação Operativa – SBPO, 24-28/set. Rio de Janeiro. 2012.

REITZ, A.; LEVRAT, E.; PÉTIN, J.F.. **Quantitative Risk Analysis in radiotherapy using Bayesian Networks**. 22th European Safety and Reliability Conference 2013 (ESREL2013), Amsterdam, Holand, Set-Out, 2013.

RIAHI, R.; ROBERTSON, I.; JENKINSON, I.; BONSALE, S.; WANG, J.. **A model for evaluating the security level of a port**. 22th European Safety and Reliability Conference 2013 (ESREL2013), Amsterdam, Holand, Set-Out, 2013.

RODRÍGUEZ, C. E. P. **Análise de Risco em Operações de “Offloading” – um modelo de avaliação probabilística dinâmica para a tomada de decisão.** São Paulo. 2012. 265p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos.

ROSA, L. C.; GARRAFA, M. Análise dos modos de falha e efeitos na otimização dos fatores de produção no cultivo agrícola: subprocesso colheita de canola. **Gestão & Produção**, v. 16, n. 1, p. 63-73, 2009.

RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. **Artificial Intelligence: A Modern Approach.** USA: Prentice Hall, 1995. 2nd edition, 2000.

RYCHLINK, I.; RYDÉN, J. **Probability and Risk Analysis: An Introduction for Engineers.** USA: Springer-Verlag. 2010.

SALDANHA, P.L.C.; SOUZA, A.L.; MARTINS, V.B.. **A preliminary hazard analysis improving the analytical hierarchy process consistency in decision-making process for site selection.** 22th European Safety and Reliability Conference 2013 (ESREL2013), Amsterdam, Holand, Set-Out, 2013.

SÁNCHEZ, T.R.; NELSON, P.F.; FRANCOIS, J.L.; CRUZ-GOMÉZ, M.J.. **PSA applied to the design of non-nuclear plants.** 22th European Safety and Reliability Conference 2013 (ESREL2013), Amsterdam, Holand, Set-Out, 2013.

SANTANA, A. L.; REGO, L.P., FRANCÊS, C.R.; CARVALHO, S.V.; VIJAYKUMAR, N.L.. **Aplicação de Modelos Markovianos para Análise Temporal e melhoria da interpretabilidade de Redes Bayesianas.** XXIX SBPO – Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Fortaleza, Anais do XXIX SBPO, vol. 1, 2007.

SANT'ANNA, A. P.; PINTO JR., R. P. S. Composição Probabilística no cálculo das prioridades na FMEA. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, v. 5, n. 3, p. 179-191. Set-Dez/2010.

SARSHAR, S.; GRAN, B.A.; HAUGEN, S.; SKJERVE, A.B.. **Visualization of risk for hydrocarbon leakages in the planning of maintenance and modification activities on offshore petroleum instalations.** 11th International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference & European Safety and Reliability Conference 2012 (PSAM11 & ESREL2012), Helsinki, Finland, 2012.

SCHLEDER, A. M. **Aplicação das Redes Bayesianas para Análise de Confiabilidade do sistema de Regaseificação de uma unidade tipo FSRU.** São Paulo. 2012. 114p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. 2012.

SILVA, D. W. R. **Análise de Falhas e suas Consequências na operação de Navios Transportadores de Gás Natural Liquefeito (GNL).** São Paulo. 2013. 206p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos II.

SINGPURWALLA, N. D. **Reliability and Risk: A Bayesian Perspective (Wiley Series in Probability and Statistics)**. 1. Ed. USA: John Wiley & Sons. 2006.

SHEVCHENKO, P. V. **Modelling Operational Risk Using Bayesian Inference**. London: Springer-Verlag. 2011.

SMITH, D. J. **Reliability, Maintainability and Risk**. 6° ed. Oxford: Butterwoth Heinemann, 2001.

SMITH, C.; KELLY, D. **Bayesian Inference for Probabilistic Risk Assessment**. USA: Springer-Verlag. 2011.

SUN, L. SUN, H.. **Risk Management of Key Issues of FPSO**, 23rd International Society of Offshore and Polar Engineers 2013 (ISOPE2013, Anchorage Conference – J. Marine Science Appli. Vol1. 402-409), 2013.

TSINKER, G. P. **Port Engineering: Planning, Construction, Maintenance, and Security**. USA. 2004.

UFRJ. **Apresenta os relatórios de projetos de navios**.

<http://www.oceanica.ufrj.br/deno/prod_academic/relatorios/atuais/Fernando_Mariana/relat1/>. Acessado em 31.08.2013.

WAGNER, S. A. L. **Novas e Velhas abordagens da Teoria da Escolha e da Utilidade**. Porto Alegre/RS. 2009. 179p. Dissertação (Mestrado). Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Faculdade de Economia.

WANG, J. Z.L.; YANG, Z. L.; BONSALL, S.; YANG, J.B.; FANG, Q.G.. **A Subjective Risk Analysis Approach of Container Supply Chains**. International Journal of Automation and Computing 1. p. 85-92. London. 2005.

WINTHER, R; MARSH, W.. **Hazards, accidents and events – a land of confusing terms**. 22th European Safety and Reliability Conference 2013 (ESREL2013), Amsterdam, Holand, Set-Out, 2013.

APÊNDICE A. – Exemplos do Referencial Teórico

Os exemplos a seguir, em ordem de apresentação do Capítulo 2, elucidam aspectos teóricos utilizados nesta dissertação.

(1) Exemplo do cliente doente, extraído de COZMAN (2009), sobre a aplicação da Teoria de Probabilidades baseada na regra de Bayes (Teoria Bayesiana de Probabilidades), a fim de elucidar o que foi exposto.

Um doutor tem um cliente que pode ter uma doença d . O doutor realiza um teste t que pode ser positivo (t_+) ou negativo (t_-). O teste tem sensibilidade de 90% (isto é, $P(t_+|d) = 0.9$) e especificidade de 90% (isto é, $P(t_-|d^c) = 0.9$), onde d^c é complementar de d . A partir dos jornais médicos, o doutor assume que 20% da população tem a doença d . Determine $P(d|t_+)$, ou seja, dado que o teste foi positivo, qual a probabilidade do cliente ter a doença d . **E mais:** Suponha que o doutor não tem estatística sobre a população, mas acredita que $P(d)$ precisa ser maior que 0.01 e menor que 0.30. Determine o intervalo de valores de $P(d|t_+)$. Pode o doutor estabelecer um estado para o seu cliente? Suponha que o doutor usa o intervalo de $[0.15, 0.25]$ para $P(d)$. Pode ele dizer alguma coisa em definitivo sobre o cliente?

Ora, a sensibilidade do teste é: $P(t_+|d) = 0,90$, e a especificidade do teste é: $P(t_-|d^c) = 0,90$.

A seguinte propriedade é conhecida a partir da regra de Bayes:

$$P(d|t_+) = \frac{P(t_+|d) \cdot P(d)}{P(t_+|d) \cdot P(d) + P(t_+|d^c) \cdot P(d^c)}$$

Com $P(t_+|d^c) = 1 - P(t_-|d^c)$.

Para $P(d) = 0,20$:

$$P(d|t_+) = \frac{0,90 \cdot 0,20}{0,90 \cdot 0,20 + 0,10 \cdot 0,80} = 0,69$$

Para $P(d) \in [0,01;0,30]$:

$$\begin{cases} P(d|t_+)_{P(d)=0,01} = \frac{0,90 \cdot 0,01}{0,90 \cdot 0,01 + 0,10 \cdot 0,99} = 0,08 \\ P(d|t_+)_{P(d)=0,30} = \frac{0,90 \cdot 0,30}{0,90 \cdot 0,30 + 0,10 \cdot 0,70} = 0,79 \end{cases}$$

Logo, o doutor não pode estabelecer um estado para o cliente com acurácia.

Para $P(d) \in [0,15;0,25]$:

$$\begin{cases} P(d|t_+)_{P(d)=0,15} = \frac{0,90 \cdot 0,15}{0,90 \cdot 0,15 + 0,10 \cdot 0,85} = 0,61 \\ P(d|t_+)_{P(d)=0,25} = \frac{0,90 \cdot 0,25}{0,90 \cdot 0,25 + 0,10 \cdot 0,75} = 0,75 \end{cases}$$

Então, o doutor não pode dizer algo em definitivo sobre o seu cliente.

O cálculo efetuado acima, com as probabilidades condicionadas, traz à baila a denominada **Inferência Bayesiana**, que é visto com mais detalhes no item 2.5.4.

(2) Exemplo de aplicação do ETA.

Apresenta-se, na sequência, um exemplo prático, sob a forma de exercício, de aplicação da ETA.

Suponha que em um sistema de combate a incêndio, a explosão como evento inicializador tenha a probabilidade de 10^{-2} de ocorrência. Para o evento de inicialização de fogo, a probabilidade de ocorrência seja de 0,8. O Sprinkler tem 0,99 de funcionar perfeitamente e a probabilidade do alarme de fogo ser ativado é de 0,999. Pergunta-se: qual a probabilidade de não ocorrer qualquer incêndio? A árvore de eventos da Figura 103 ilustra a solução de interesse, onde a probabilidade de não ocorrer qualquer incêndio é de $2,0 \cdot 10^{-3}$ (em um ano) (ISO, 2008).

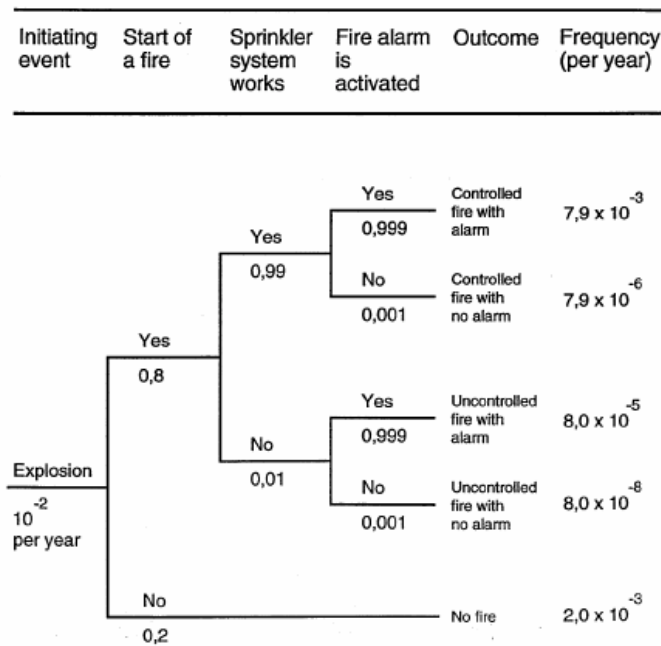


Figura 103 – Árvore de eventos – extraído da norma ISO 31010, p. 59, com adaptações.

(3) The Dog Problem. Exemplo de Rede Bayesiana extraído de CHARNIAK (1991) *apud* COZMAN (2013) e que pode ser de grande auxílio para compreender a importância do emprego das RB's. No exemplo que se segue, as variáveis são booleanas.

Suponha que, quando *Joe* voltar para casa à noite, ele queira saber se a sua família está em casa antes dele tentar abrir as portas (talvez a porta mais conveniente seja a de bloqueio duplo quando ninguém está em casa). Agora, muitas vezes, quando a esposa de *Joe* sai para trabalhar ou passear (sai de casa), ela deixa uma lâmpada acesa no exterior da residência. Também, às vezes, a esposa de *Joe* acende a luz quando está esperando algum convidado para visitá-los. *Joe* também tem um cachorro, o *Spike*. Quando ninguém está em casa, o cão é colocado no quintal. O mesmo acontece quando o cachorro tem problemas intestinais, senão ele sujará a mobília toda. Por fim, se o cão está no quintal, é provável que *Joe* ouça o seu latido (ou pensa que ouve o latido do *Spike*), mas, às vezes, confunde o latido do cachorro com dos outros cães da vizinhança. Uma Rede Bayesiana para este caso está apresentada na Figura 104.

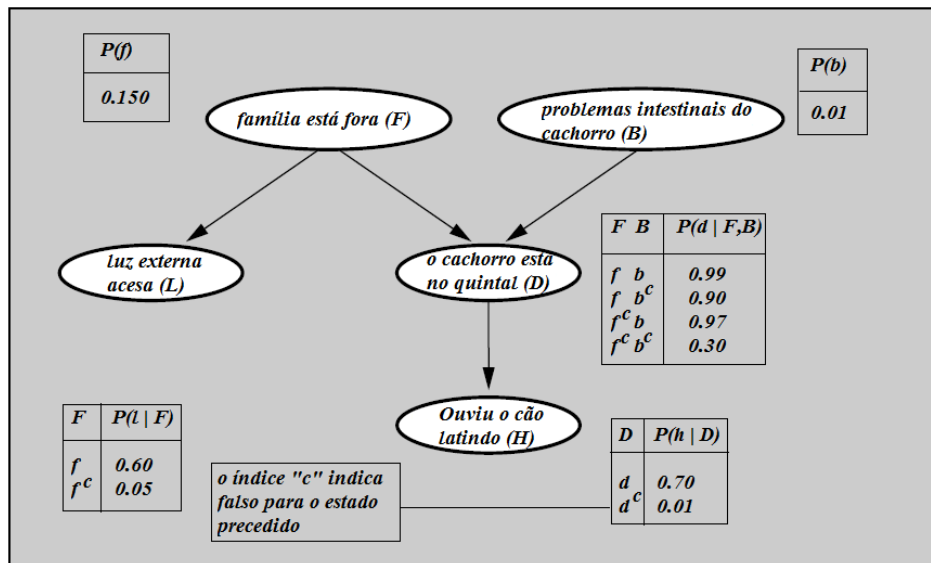


Figura 104 – Rede Bayesiana do “the dog problem” demonstrando a topologia e as TPC – extraído de CHARNIAK (1991) *apud* COZMAN (2013).

Observa-se nesta figura a presença das TPC. Cada linha destas tabelas representa a probabilidade relacionada ao nó, dados os estados dos nós pais. Um nó (considerando variáveis booleanas) com r pais deverá apresentar 2^r linhas em sua tabela de probabilidades condicionais. Um nó que não possui pais apresenta apenas as probabilidades iniciais relacionadas a cada valor da variável aleatória. Ainda em relação

à Figura 104, nota-se que, para exemplo do “problema do cachorro”, são apresentadas apenas as probabilidades relacionadas aos eventos positivos associados ao nó.

Conforme pode ser observado, a topologia da rede diz muito sobre o assumido em termos de dependência entre as variáveis do problema. Desta topologia pode-se concluir que tanto a família estando fora de casa quanto os problemas intestinais do cachorro afetam a probabilidade do cachorro estar no quintal. Pode-se verificar ainda que, a possibilidade de *Joe* ouvir o latido do *Spike* dependem apenas da possibilidade dele estar no quintal da casa. Verifica-se também que foi assumido que *Joe* não percebe a presença de sua família ou que o cachorro está com problemas intestinais, caso o cachorro esteja no quintal. Por fim, verifica-se que a luz externa da casa estar acesa, pode ou não ser devido à ausência da família de *Joe* na casa. A luz externa acesa e a família não esperando ninguém, é certo do cão estar no quintal.

Ao olhar para a proposição do problema e para a rede desenvolvida, alguns óbices poderiam ser levantados. Por exemplo: (1) não apresenta o nó correspondente a possibilidade da chegada de um convidado ou não; (2) não se representou a hipótese dos outros cachorros estarem latindo; (3) as possíveis falhas da lâmpada externa não foram especificadas; (4) não se considerou que a esposa de *Joe* poderia ter se equivocado e não ligou a lâmpada externa; (5) não se considerou que o cachorro não foi colocado no quintal, apesar da família estar ausente ou o animal estar com problemas intestinais. CHARNIAK (1991) *apud* COZMAN (2013) justificam as indagações, informando que as incertezas já foram consideradas nos arcos ligando o nó F ao nó D e o nó B ao nó D, bem como nos arcos ligando o nó F ao nó L e o nó D ao nó H.

Do parágrafo anterior, conclui-se que as probabilidades tentam sintetizar infinitas possibilidades para os eventos relacionados. De outra forma, a representação se tornaria muito complexa ou mesmo inviável. Sendo assim, verifica-se que com simplificações é possível enfrentar problemas complexos, pelo menos aproximadamente.

(4) Exemplo da Conjunção de Probabilidades.

Nesta ordem de ideias, a fim de enfatizar o que foi dito, em um outro exemplo de RB, considere somente duas variáveis, quais sejam, A e B . A conjunção de probabilidades para as variáveis A e B pode ser representada em uma tabela $n \times m$, sendo n o número de estados de A e m o número de estados de B ⁴⁷ (nas RB's, cada estado pode ser um evento). Desta forma, seja X uma variável aleatória com n estados, x_1, x_2, \dots, x_n , e $P(X)$ a distribuição de probabilidades para estes estados, onde $P(X) = (a_1, a_2, \dots, a_n)$; $a_i \geq 0$; $\sum_{i=1}^n a_i = 1$, onde $P(X) \geq 0$ é a probabilidade de X estar no estado a_i , $P(X = a_i) \geq 0$. Se a variável Y possui os estados b_1, b_2, \dots, b_m , então $P(X|Y) \geq 0$ representa uma tabela $n \times m$ contendo os valores $P(a_i|b_j) \geq 0$, de acordo com a Tabela 41.

Tabela 41 – Valores de $P(X|Y) \geq 0$.

| | b_1 | b_2 | b_3 |
|-------|-------|-------|-------|
| a_1 | 0,4 | 0,3 | 0,6 |
| a_2 | 0,6 | 0,7 | 0,4 |

A conjunção de probabilidades para as variáveis A e B , ou $P(A|B) \geq 0$, é também uma tabela $n \times m$, como mencionado, representada pela probabilidade de cada configuração (a_i, b_j) . Aplicando a regra de Bayes⁴⁸, para as variáveis X e Y e a Tabela 41, tem-se a Tabela 42, considerando $P(Y) = \langle 0,4; 0,4; 0,2 \rangle$ ⁴⁹.

⁴⁷ Observe que nada foi mencionado sobre a dependência ou não das variáveis em análise.

⁴⁸ $P(A|B) = \frac{P(A, B)}{P(B)}$.

⁴⁹ Cada valor representa a probabilidade de um possível estado da variável Y .

Tabela 42 – Conjunção de probabilidades das variáveis X e Y.

| | b_1 | b_2 | b_3 |
|-------|-------|-------|-------|
| a_1 | 0,16 | 0,12 | 0,12 |
| a_2 | 0,24 | 0,28 | 0,08 |

A probabilidade de $P(X)$ pode ser então calculada a partir da Tabela 42, calculando-se $P(a_i) = \sum_{i=1}^m a_i b_i$ (variando somente b). Este cálculo é chamado de marginalização de B em $P(A, B)$. O resultado para a Tabela 42 será $P(X) = \langle 0,4; 0,6 \rangle$.

E ainda, aplicando a Regra de Bayes (expressão (2.16)) sob a Tabela 41, obtém-se $P(Y|X) \geq 0$, na Tabela 43.

Tabela 43 – Valores de $P(Y|X) \geq 0$.

| | a_1 | a_2 |
|-------|-------|-------|
| b_1 | 0,40 | 0,40 |
| b_2 | 0,30 | 0,47 |
| b_3 | 0,30 | 0,13 |

Em uma situação real, pode-se imaginar um problema contendo centenas ou milhares de variáveis. Considerando o uso apenas de variáveis que assumam valores booleanos, ter-se-ia a necessidade do cálculo de 2^n entradas para a tabela de conjunção de probabilidades do sistema. Ou seja, um crescimento exponencial em relação ao número de variáveis. O que pode se tornar algo ineficaz de se computar. Entretanto, sendo possível a computação de todos os valores, o sistema será capaz de obter qualquer probabilidade que se esteja interessado. Há necessidade, portanto, de buscar uma representação mais simples para domínios complexos com um grande número de variáveis. A representação por RB's pode ser usada para suprir esta

necessidade, através da Condição de Markov (MATURANA, 2010). Essa proposição matemática é de grande auxílio na representação de variáveis.

(5) Exemplo das relações estabelecidas por RUSSEL e NORVIG (2003).

Em lógica proposicional pode-se dizer que o estado Febre é verdadeiro, se e somente se, Gripe, Resfriado ou Malária é verdadeiro. A relação ruído-OU adiciona um nível de incerteza à relação OU, considerando três suposições: (a) Cada causa possui uma chance independente de causar o efeito, (b) todas as possibilidades estão listadas, (c) a inibição de uma causa é independente da inibição das demais. Considere o exemplo, $P(\text{Febre}|\text{Gripe}) = 0,4$; $P(\text{Febre}|\text{Resfriado}) = 0,8$; e $P(\text{Febre}|\text{Malária}) = 0,9$. Para estes valores os parâmetros de ruído serão, respectivamente, 0,6; 0,2; 0,1. Se nenhum nó pai é verdadeiro, então o nó filho é falso com 100% de chance. Se apenas um pai é verdadeiro, então a probabilidade do nó filho ser falso é igual ao ruído do nó pai verdadeiro (ou o produto do ruído dos pais, caso exista mais de um verdadeiro). A Tabela 44 abaixo apresenta o resultado para o exemplo.

Tabela 44 – Tabela de Probabilidades Condicionais do exemplo.

| Gripe | Resfriado | Malária | $P(\text{Febre})$ | $P(\text{Febre}^c)$ |
|-------|-----------|---------|-------------------|---|
| F | F | F | 0,000 | 1,000 |
| F | F | V | 0,900 | 0,100 |
| F | V | F | 0,800 | 0,200 |
| F | V | V | 0,980 | $0,020 = 0,200 \times 0,100$ |
| V | F | F | 0,400 | 0,600 |
| V | F | V | 0,940 | $0,060 = 0,600 \times 0,100$ |
| V | V | F | 0,880 | $0,120 = 0,600 \times 0,200$ |
| V | V | V | 0,988 | $0,012 = 0,600 \times 0,200 \times 0,100$ |

(6) Exemplo do uso de Redes Bayesianas na Medicina.

Um clássico exemplo do uso das Redes Bayesianas para inferência com o software NETICA™, é mostrado na Figura 105, trazido pela NORSYS (2010), que pode ser adequado ao exemplo do diagnóstico médico do item 2.1.

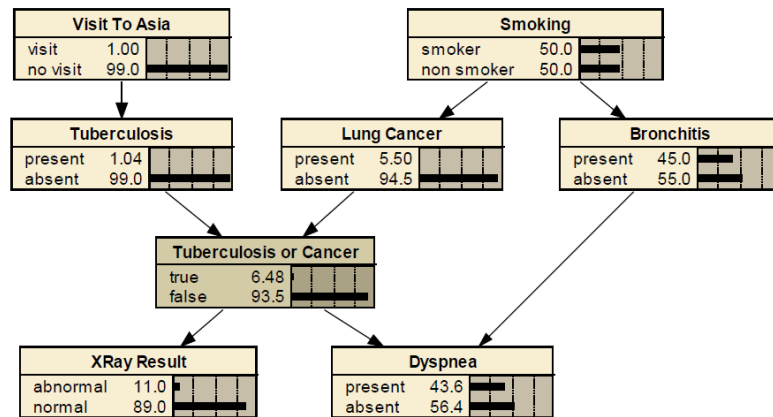


Figura 105 – Exemplo de diagnóstico médico – extraído de NORSYS, 2010.

Na Figura 105, cada novo paciente, em geral, corresponde a um novo caso, e o problema é diagnosticar o paciente (ou seja, encontrar crenças para as variáveis doenças indetectáveis), ou prever o que vai acontecer com o paciente, ou encontrar uma receita ideal, dado os valores das variáveis observáveis (sintomas da doença). Um médico especializado pode ser o perito a ser usado para definir a estrutura da rede e fornecer as probabilidades condicionais iniciais (distribuição *a priori*), com base em sua formação médica (e técnica) e experiência com os casos anteriores. Em seguida, as probabilidades *a priori* (da rede) podem ser aperfeiçoadas por meio das informações relativas aos casos anteriores (banco de dados), e de novos casos que chegam.

(7) Exemplo de Inferência em Rede Bayesiana.

Uma rede Bayesiana é formada pelas seguintes variáveis *Cloudy* (TempoNublado), *Sprinklet* (Regador), *Rain* (Chuva) e *WetGrass* (GramaMolhada), conforme a Figura 106 (MURPHY, 1998). Uma inferência possível seria: Dado que se tem a evidência de que a grama está molhada, qual a probabilidade de ter chovido, ou do regador estar ligado?

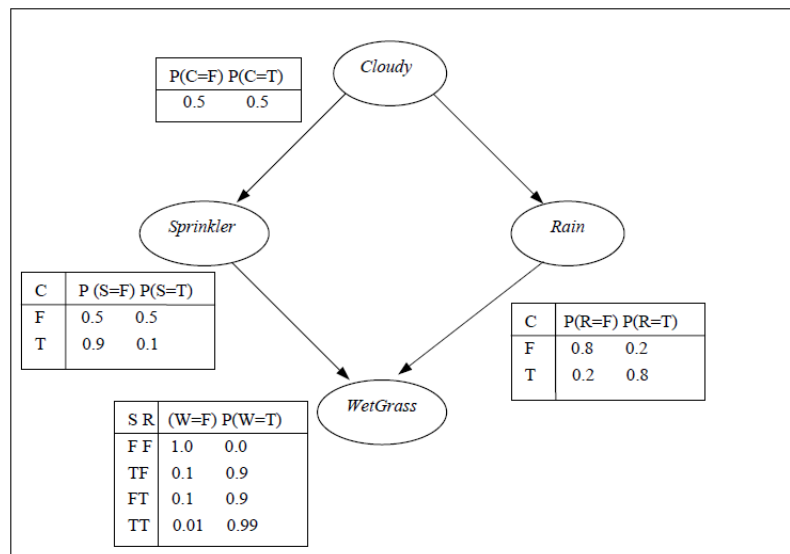


Figura 106 – Exemplo de inferência em Rede Bayesiana – extraído de MURPHY (1998).

Neste caso, apesar de S e R serem independentes, tornam-se dependentes dado uma evidência a respeito do estado de W , que é filho de ambos, ou seja, S e R não são d-separados. Assim, para o cálculo de $P(S|W)$ deve-se considerar $P(R)$ e vice-versa. A equação seria ($1 = T - True$ e $0 = F - False$):

$$P(S = 1|W = 1) = \frac{P(S = 1, W = 1)}{P(W = 1)} = \sum_c \sum_r \frac{P(C = c_i, S = 1, R = r_i, W = 1)}{P(W = 1)} = \frac{0,2781}{0,6471}$$

$$E, P(R = 1|W = 1) = \frac{P(R = 1, W = 1)}{P(W = 1)} = \sum_c \sum_s \frac{P(C = c_i, S = s_i, R = 1, W = 1)}{P(W = 1)} = \frac{0,4581}{0,6471}$$

Onde, para $W=1$:

$$P(W = 1) = \sum_c \sum_r \sum_s P(C = c, S = s, R = r, W = 1) = 0,6471$$

Repare que para o cálculo de $P(S = 1|W = 1)$, considera-se os estados possíveis de C e R (somatório). Assim, pode-se concluir que, dado que a grama está molhada, $W = 1$, a probabilidade de ter chovido, $P(R = 1|W = 1) = \frac{0,4581}{0,6471} = 0,7079$ é maior que a probabilidade de o regador ter sido ligado $P(S = 1|W = 1) = \frac{0,2781}{0,6471} = 0,4297$.

(8) Exemplo de utilização do método *Clustering*.

Considere o exemplo do item (7), onde será utilizado o método *Clustering* a fim de exemplificar o que foi dito, não se adentrando nos outros dois métodos, por fugir ao escopo deste trabalho. Uma forma de transformar esta rede em uma rede simplesmente conexa seria a combinação das variáveis *Sprinkler* e *Rain*, em um único nó chamado *Sprinkler+Rain*, conforme mostra a Figura 107. Repare que duas variáveis booleanas são substituídas por um nó que possui as quatro probabilidades, TT, TF, FT e FF (a probabilidade dos demais nós da rede permanecem inalteradas). O mega nó obtido possui apenas um pai, a variável booleana *Cloudy*. Uma vez que a rede foi convertida para uma rede simplesmente conexa, o algoritmo apresentado anteriormente pode ser aplicado.

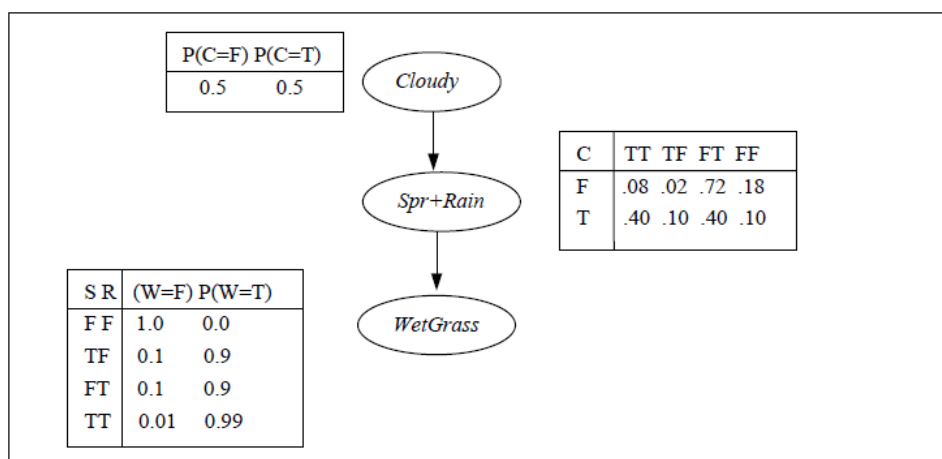


Figura 107 – *Clustering* de nós em RB – extraído de MURPHY (1998).

(9) Exemplo de inferência aproximada.

A partir dos itens (7) e (8) deste Apêndice, segue o procedimento, para fins de inferência aproximada.

1º) Atribui-se um valor aleatório ao nó raiz Cloudy (TempoNublado) da rede (ponderado pela probabilidade da variável, isto é, $P(C)$);

2º) Dependendo do valor obtido na etapa anterior, atribui-se um valor aleatório para as variáveis representadas pelos nós filhos *Sprinklet* (Regador) e *Rain* (Chuva) do nó raiz (esta atribuição deve ponderar as probabilidades das TPC que consideram o estado obtido na etapa anterior para o nó raiz);

3º) Os passos anteriores devem ser repetidos, considerando que os nós pais passam a ser *Sprinklet* (Regador) e *Rain* (Chuva), e o nó filho passa a ser *WetGrass* (Gramamolhada). E as considerações anteriores continuam válidas.

Da Figura 106 e da Figura 107, tem-se que $P(C=1)=0,5$ e $P(C=0)=0,5$, assim se o procedimento for repetido N vezes (sendo N um número grande), espera-se que Cloudy seja verdadeiro em 50% (cinquenta por cento) das observações.

Para a obtenção da probabilidade posterior $P(R=1|C=1)$, por exemplo, deve-se repetir o procedimento descrito acima N vezes. Então, utilizando o princípio contido na relação (2.15), contabiliza-se o número de vezes que a combinação $(C=1) \cup (R=1)$ apareceu (MARTINS, 2013). Este resultado deve ser dividido pelo número de vezes que $(C=1)$ ocorreu independentemente de $(R=1)$. O quociente obtido nesta operação tende a se aproximar do valor exato da inferência conforme N aumenta, segundo MATURANA (2010) citando MARQUES e DUTRA (2006).

(10) Exemplo de análise sobre inferência exata. A partir do caso da rede do item (3) do citado Apêndice (*The Problem Dog*), apresenta-se a referida análise.

Tome-se como exemplo o caso da rede do item (3) do Apêndice A, Figura 104. Considere que Joe ouviu o latido do cão *Spike* seja verdadeiro e que a lâmpada no exterior da casa acesa seja verdadeiro também. Neste caso, a probabilidade da família de Joe estar fora de casa, isto é, verdadeiro, é igual a **0,532696**. As probabilidades condicionais como esta podem ser obtidas pela soma das entradas da conjunção de probabilidades (RUSSELL e NORVIG, 2003). Esta afirmação pode ser justificada partindo-se da relação (2.15), denominada regra do produto, e levando em consideração todos os possíveis estados para os nós pertencentes a $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_m\}$, m número natural. Desta forma, se obtém das relações apresentadas em (2.47) e (2.48).

$$P(X|Y) = \alpha \cdot P(X, Y) = \alpha \cdot \sum_z P(X, Y, Z) \quad (2.47)$$

Sendo que:

$$\alpha = \frac{1}{P(Y)} \quad (2.48)$$

O termo $P(X, Y, Z)$ pode ser obtido diretamente das tabelas de probabilidades condicionais pela utilização da relação (2.38). Retornando ao exemplo do “the dog problem”, a distribuição de probabilidade da variável “Família está fora” (F), dada a evidência da lâmpada externa acesa (l) e do dono da casa ouvir latido do *Spike* (h), pode ser obtida das equações (2.49) e (2.50).

$$P(\text{Família fora} | \text{Spike late} = \text{verdadeiro}, \text{Lâmpada acesa} = \text{verdadeiro}) = \alpha \cdot P(F, h, l) \quad (2.49)$$

$$\alpha \cdot P(F, h, l) = \alpha \cdot \sum_b \sum_d P(F, B, D, h, l) \quad (2.50)$$

Observe que L e D são d-separados (GEIGER *et al.* 1990; COZMAN, 2013). Sendo assim, para determinar a probabilidade da família de Joe estar ausente (verdadeira), dada a evidência citada, utiliza-se a relação (2.51).

$$P(f|h, l) = \alpha \cdot P(f) \cdot \underbrace{\sum_b P(B) \sum_d P(D|f, B) \cdot P(h|D) \cdot P(l|D)}_{\beta} \quad (2.51)$$

O cálculo de β pode ser visualizado pela Tabela 45. Com se verifica, o valor de $P(f|h, l)$ é dado pela relação (2.52), em analogia ao que diz MARTINS (2013) e MATURANA (2010).

$$P(f|h, l) = \frac{P(f) \cdot \sum_b P(B) \sum_d P(D|f, B) \cdot P(h|D) \cdot P(l|D)}{\sum_f \sum_b \sum_d (F, B, D, h, l)} \quad (2.52)$$

Tabela 45 – Cálculo de β .

| $P(B)$ | $P(D F, B)$ | $P(h D)$ | $P(l D)$ | Total |
|---------|-------------|----------|----------|-------------------|
| 0,01000 | 0,99000 | 0,70000 | 1,00000 | 0,00693 |
| 0,01000 | 0,90000 | 0,01000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 0,01000 | 0,97000 | 0,30000 | 1,00000 | 0,00291 |
| 0,01000 | 0,30000 | 0,99000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 0,99000 | 0,99000 | 0,70000 | 1,00000 | 0,68607 |
| 0,99000 | 0,90000 | 0,01000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 0,99000 | 0,97000 | 0,30000 | 1,00000 | 0,28809 |
| 0,99000 | 0,30000 | 0,99000 | 0,00000 | 0,00000 |
| | | | | 0,98400 |
| | | | | $\beta =$ 0,14760 |

A estrutura desta expressão (2.51) pode ser visualizada na Figura 108, onde as setas indicam as multiplicações a serem feitas. Os resultados finais de cada caminho devem ser multiplicados por α e somados.

Obtém-se, da maneira indicada, o resultado abaixo.

$$P(f|h,l) = \alpha \cdot 0,147600 \quad (2.53)$$

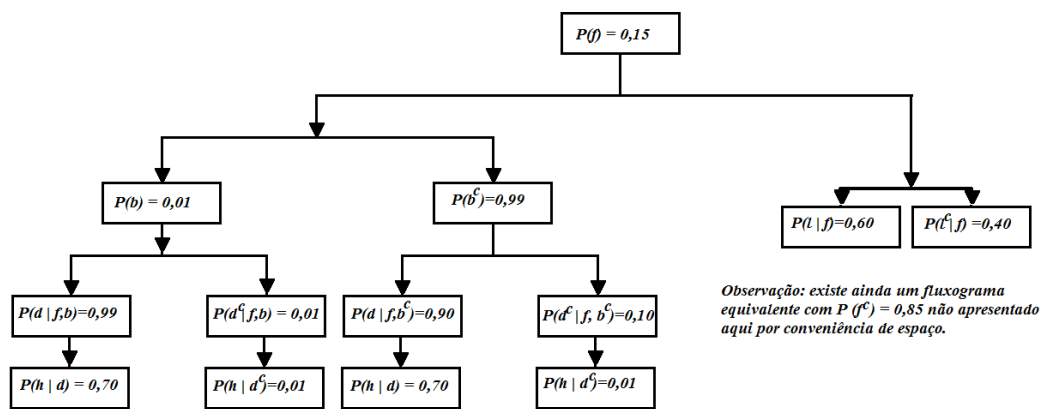


Figura 108 – Verificação do cálculo para o valor de α .

Falta agora a obtenção de α . As relações (2.54) e (2.55) auxiliam no cálculo de α .

$$\alpha = \frac{1}{P(h,l)} = \frac{1}{\sum_f \sum_b \sum_d (F, B, D, h, l)} \quad (2.54)$$

$$P(h,l) = \sum_f \sum_b \sum_d P(F) \cdot P(B) \cdot P(D|F, B) \cdot P(h|D) \cdot P(l|D) \quad (2.55)$$

Aplicando os dados do exemplo à relação (2.55), na sistemática de MATURANA (2010), obtém-se os resultados da Tabela 46.

Tabela 46 – Cálculo de $P(h,l)$.

| Estado do Sistema | P(F) | P(B) | P(D F,B) | P(h D) | P(I D) ⁵⁰ | Total |
|--|--------|--------|----------|--------|----------------------|-------------------|
| P(f,b,d,h,l) | 0,1500 | 0,0100 | 0,9900 | 0,7000 | 1,0000 | 0,00103950 |
| P(f,b,d ^c ,h,l) | 0,1500 | 0,0100 | 0,0100 | 0,0100 | 0,0000 | 0,00000000 |
| P(f,b ^c ,d,h,l) | 0,1500 | 0,9900 | 0,9000 | 0,7000 | 1,0000 | 0,09355500 |
| P(f,b ^c ,d ^c ,h,l) | 0,8500 | 0,9900 | 0,1000 | 0,0100 | 0,0000 | 0,00000000 |
| P(f ^c ,b,d,h,l) | 0,8500 | 0,0100 | 0,9700 | 0,7000 | 1,0000 | 0,00577150 |
| P(f ^c ,b,d ^c ,h,l) | 0,8500 | 0,0100 | 0,0300 | 0,0100 | 0,0000 | 0,00000000 |
| P(f ^c ,b ^c ,d,h,l) | 0,8500 | 0,9900 | 0,3000 | 0,7000 | 1,0000 | 0,17671500 |
| P(f ^c ,b ^c ,d ^c ,h,l) | 0,8500 | 0,9900 | 0,7000 | 0,0100 | 0,0000 | 0,00000000 |
| $P(h,l)=$ | | | | | | 0,27708100 |

Com o apoio da Tabela 46, obtém-se a relação (2.56) para α e o seu valor.

$$\alpha = \frac{1}{P(Z)} = \frac{1}{P(h,l)} \cong 3,609053 \quad (2.56)$$

Como apresentado, obtém-se a distribuição de probabilidade da variável *Família está fora* (da casa), dada a evidência da lâmpada externa acesa e do dono da casa ouvir latido do *Spike*, dada por $P(F|h,l) = \langle 0,532696; 0,467304 \rangle$, que era a ideia inicial. O primeiro valor indica probabilidade de a família estar fora da casa e o segundo de estar na casa.

Vê-se que a probabilidade da família não estar em casa é elevada, dada as evidências, e comparado a $P(f) = \langle 0,150000; 0,850000 \rangle$, é um valor quase quatro vezes maior (3,551308) do que o correspondente valor de $P(f)$, sem evidências. Se $P(f)$ fosse igual a 0,01 (um valor quinze vezes menor), $P(F|h,l)$ seria igual a 0,044962, recalculando, tudo isso considerando inalteradas as evidências em questão, o que é

⁵⁰ Dado que o Spike está no quintal, é 100% provável que a lâmpada (luz) externa estará acesa, levando em consideração que a esposa de Joe não se equivocará. Em sentido contrário, dado que Spike não está no quintal, é 0 (zero)% provável que a lâmpada (luz) externa não estará acesa.

bastante razoável, por analogia, dada as informações apresentadas por MATURANA (2010) e MARTINS (2013).

APÊNDICE B. – Análise Preliminar de Perigos (APP) do processo de descarga dos granéis líquidos inflamáveis, transportados pelo Navio-Tanque, no Terminal Portuário Especializado – TGL (Extraído de MORAES e MARTINS, 2013)

A Tabela 49 apresenta os resultados obtidos da análise preliminar de perigos. Cada uma das colunas desta tabela apresenta-se descrita a seguir:

- **A – OPER:** Designa a etapa específica associada à descarga de combustíveis que se está realizando: Programação do navio-tanque, Aproximação do navio-tanque ao píer (TGL), Preparação do pessoal do TGL para a atracação do navio-tanque, Atracação do navio-tanque no píer (TGL), Movimento dos equipamentos para conexão, Descarga do produto (combustível), Desatracação do navio-tanque.
- **B – IDENTIFICAÇÃO DO EVENTO:** Numeração consecutiva que identifica o evento.
- **C – EVENTO DE PERIGO:** Corresponde a uma ou mais condições físicas com potencial para causar danos às pessoas, aos bens móveis e imóveis, ao meio ambiente ou à combinação desses.
- **D – DESCRIÇÃO DO EVENTO:** Explica como se manifesta o evento de perigo e define algumas características específicas.
- **CAUSA:** Identifica por que ocorre o evento de perigo. Inclui a descrição, a frequência e a ação de mitigação:
 - **E – DESCRIÇÃO DA CAUSA:** Corresponde a uma ou mais condições físicas que originam o evento de perigo.
 - **F – FREQUÊNCIA:** Apresenta de forma qualitativa qual é a possibilidade de ocorrência do evento indesejável (falha), sendo definidas 5 categorias: Extremamente Remota (ER), Remota (RE), Pouco Provável (PP), Provável (PR), Frequente (FR), definidas conforme.

- **G – AÇÃO DE MITIGAÇÃO:** Descreve o conjunto de atividades que podem ser efetuadas para manter os sistemas cumprindo as suas funções e reduzir a possibilidade de que o evento de perigo ocorra.
- **CONSEQUÊNCIA:** Define os efeitos que teria o evento de perigo sobre o sistema, definindo-se como efeito de uma condição de operação fora da especificação inicial da missão.
 - **H – LOCAL:** Explica como seria afetado os sistemas navio-tanque e porto, bem como a interface (conexão), no caso de acontecer o evento de perigo.
 - **I – DESCARGA DO NAVIO-TANQUE:** Explica como seria afetada a operação de descarga de combustível (produto) no caso de acontecer o evento de perigo.
 - **J – AÇÃO DE CONTINGÊNCIA:** São listadas recomendações de ações de emergência visando evitar ou minimizar a propagação de consequência ou a redução de gravidade das mesmas.
- **SEVERIDADE:** Escala numérica que define a gravidade dos efeitos que teria o evento de perigo, caso aconteça. Está definida para três ativos e é apresentada na **Tabela 47**.
 - **K – SEGURANÇA PESSOAL:** Relacionados com os danos ou lesões que podem ser causadas a empregados e terceiros.
 - **L – EQUIPAMENTOS:** Relacionados aos danos que podem ser causados a equipamentos ou instalações no navio-tanque e no porto.
 - **M – AMBIENTAL:** Relacionados aos danos causados ao meio ambiente.
- **N – CLASSIFICAÇÃO DE RISCO:** Medida resultante da combinação entre as frequências de ocorrência e a magnitude da severidade das consequências, conforme apresentado na **Tabela 48**.

Tabela 47 – Tabela de Classificação de consequências (extraída de CORREA, *et al.*, 2006).

| | | Segurança Pessoal (perigo para a saúde humana) | Instalação | Ambiental (Danos à flora e à fauna) |
|------------|-----------------|--|--|--|
| I | Muito reduzidas | Nenhum dano visível ou máximo de primeiros socorros | Sem danos ou danos insignificantes a equipamentos | Invisíveis ou mínimos |
| II | Reduzidas | Ferimentos leves em empregados e sem lesões extramuros | Danos leves controláveis ou com reparação de baixo custo | Poluição desprezível, danos considerados toleráveis entre nível mínimo e médio |
| III | Médias | Ferimentos graves ou múltiplos empregados e ferimentos leves em pessoas extramuros | Danos severos | Poluição localizada, curto período, danos considerados toleráveis de nível médio |
| IV | Graves | Lesões graves ou fatalidade em empregados e em pessoas extramuros | Danos irreparáveis, com reparação lenta ou impossível | Poluição de grande área, longo período. Níveis acima dos máximos toleráveis |

Tabela 48 – Matriz de Risco (adaptada de RODRIGUEZ *apud* SOUZA e MARTINS, 2012).

| | | CATEGORIAS DE FREQUÊNCIA | | | | |
|-------------------|---|---------------------------------|-----------|---------------|---------------|---------------|
| | | ER | RE | PP | PR | FR |
| SEVERIDADE | ≥ | MÉDIO | MÉDIO | NÃO TOLERÁVEL | NÃO TOLERÁVEL | NÃO TOLERÁVEL |
| | ≡ | MÉDIO | MÉDIO | MÉDIO | NÃO TOLERÁVEL | NÃO TOLERÁVEL |
| | = | TOLERÁVEL | TOLERÁVEL | MÉDIO | MÉDIO | MÉDIO |
| | - | TOLERÁVEL | TOLERÁVEL | TOLERÁVEL | TOLERÁVEL | MÉDIO |

Tabela 49 – Análise Preliminar de Perigos (APP) – etapas relativas ao processo de descarga do sistema navio-tanque para o sistema porto (TGL).

| OPER | # | EVENTO DE PERIGO | DESCRIÇÃO DO EVENTO | DESCRIÇÃO DA CAUSA | FREQUÊNCIA DA CAUSA | AÇÃO DE MITIGAÇÃO DA CAUSA | CONSEQUÊNCIA LOCAL (navio-tanque, conexão e pier – TGL) | CONSEQUÊNCIA NA DESCARGA DO NAVIO-TANQUE | AÇÃO DE CONTINGÊNCIA DA CONSEQUÊNCIA | SEGURANÇA PESSOAL | EQUIPAMENTO | AMBIENTAL | CLASSIFICAÇÃO DE RISCO | | | |
|-------------|---|---|--|--|---------------------|--|---|--|---|-------------------|-------------|-----------|------------------------|---|---|-----------|
| | | | | | | | | | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | # |
| PROGRAMAÇÃO | 1 | Mudanças das condições ambientais | Mudança de favorável para desfavorável | Erro na avaliação das condições meteorológicas | PROVÁVEL (PR) | Observar as condições meteorológicas e de mar antes de programar a vinda do navio-tanque | O navio-tanque não poderá realizar o descarregamento. | Não ocorrerá, prejudicando os consumidores locais. | Realizar o abastecimento local de granéis líquidos combustíveis de outra forma. | I | I | I | T | T | T | TOLERÁVEL |
| | | | | Mudança inesperada das condições ambientais | | | | | | I | I | I | T | T | T | TOLERÁVEL |
| | 2 | Falha na identificação do tipo de navio | O produto não pode ser descarregado no TGL | Falha na comunicação entre a VALE e a TRANSPETRO | POUCO PROVÁVEL (PP) | Checar a comunicação 24 horas antes da atracação e confirmar a informação | Não é possível conectar o mangote no navio | Não ocorrerá a descarga, prejudicando os consumidores locais | Abortar a operação e solicitar rebocador para retirar o navio | I | I | I | T | T | T | TOLERÁVEL |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|---|---|--|--|---------------------|--|--|---|---|----|----|----|---|---|---|-----------|
| | 3 | Falha na informação sobre o deslocamento do navio | O navio-tanque não pode atracar no TGL | Falha na comunicação entre a VALE e a TRANSPETRO | POUCO PROVÁVEL (PP) | Checar a comunicação 24 horas antes da atracação e confirmar a informação | O navio não pode atracar | Não ocorrerá, prejudicando os consumidores locais | Abortar a operação e solicitar rebocador para retirar o navio | I | I | I | T | T | T | TOLERÁVEL |
| APROXIMAÇÃO | 4 | Falha do M.C.A. do navio-tanque | Parada no sistema Diesel- Gerador | Falha na manutenção | PROVÁVEL (PR) | Utilizar rotinas de manutenção rígidas com a utilização de roteiros (<i>check list</i> de atividades) | Falha das Bombas hidráulicas do navio-tanque | Não ocorrerá, prejudicando os consumidores locais | Abortar a operação e solicitar rebocador para retirar o navio | II | II | II | M | M | M | MÉDIO |
| | | | | Falha de lubrificação | | | Falha dos equipamentos de bordo | | | | | | | | | |
| | | | | Falha do equipamento | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|-----------------------------|--|---------------------|---------------------|--|---|---|---|----|----|----|---|---|---|-------|
| | 5 | Perda do Sistema de Governo | Incapacidade de Operar o Sistema de Governo do navio | Falha da manutenção | POUCO PROVÁVEL (PP) | Utilizar rotinas de manutenção rígidas com a utilização de roteiros (<i>check list</i> de atividades) | Navio-tanque sem governo. Possibilidade de colisão com o píer (TGL) | Não ocorrerá, prejudicando os consumidores locais | Abortar a operação e solicitar rebocador para retirar o navio | II | II | II | M | M | M | MÉDIO |
|--|---|-----------------------------|--|---------------------|---------------------|--|---|---|---|----|----|----|---|---|---|-------|

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|-----------------|---|---------------------|--|--|--|---|--|--|---|---|---|---|---|---|-----------|
| | | | Falha de VHF, portátil, bateria | | Substituir equipamento ou bateria | | | Abortar operação até a realização da manutenção | | | | | | | | | |
| | | | Interferência com outras instalações | REMOTA (RE) | Mudar de frequência | | | | | | | | | | | | |
| | 6 | Sem Comunicação | Incapacidade de transmitir informações entre o navio-tanque e o porto | | | Incapacidade de comunicação entre o porto e o navio-tanque | | Atraso de pequena monta na operação de descarga | | Executar procedimento de afastamento do navio-tanque em relação ao píer, se não se reestabelecer comunicação com o TGL | I | I | I | T | T | T | TOLERÁVEL |
| | | | Problemas de compreensão do idioma | POUCO PROVÁVEL (PP) | Utilizar o CIS (código internacional de sinais) ou vocabulário marítimo padrão | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|-----------------------|---------------|---|--|---|--|-----|-----|-----|---|---|---|-------|
| 7 | Falha do Sistema de Posicionamento Dinâmico | Perda de posição | Problema Thruster | PROVÁVEL (PR) | Utilizar rotinas rígidas de manutenção, com a utilização de roteiros | Incapacidade de manutenção da posição do navio-tanque | Possibilidade de colisão com impacto médio, seguido de incêndio. Não ocorrerá a descarga. | Abortar operação de aproximação | III | III | III | M | M | M | MÉDIO |
| | | | Falha na manutenção | | Utilizar rotinas de manutenção dos geradores | | | Executar procedimento de afastamento do navio-tanque em relação ao TGL utilizando o MCP ou o rebocador | | | | | | | |
| 8 | Falha humana na manobra de aproximação do navio-tanque | Navio-tanque é operado de forma equivocada | Problemas de geração | PROVÁVEL (PR) | Verificar avisos aos navegantes sobre informações de satélites | O Navio-tanque encalha. Possível colisão com outros navios ou estruturas | Possibilidade de colisão com impacto médio, seguido de incêndio. Não ocorrerá a descarga. | Abortar operação de aproximação | III | III | III | M | M | M | MÉDIO |
| | | | Problema Satélite GPS | | Utilizar rotinas rígidas de treinamento, com a utilização de roteiros (manuais) e simuladores | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|----|----------------------------------|---|---|---------------------|--|--|---|--|-----|-----|-----|----|----|----|---------------|
| | 9 | Mudança das condições ambientais | Mudança de favorável para desfavorável | Erro na avaliação das condições meteorológicas Mudança inesperada das condições ambientais | PROVÁVEL (PR) | Observar as condições meteorológicas e de mar antes de adentrar na área de manobra | O navio-tanque não poderá continuar o descarregamento. Poderá haver rompimento do mangote | Não ocorrerá, prejudicando os consumidores locais. Risco de incêndio e explosões | Executar procedimento de afastamento do navio-tanque em relação ao TGL utilizando o MCP. Acionar brigada de incêndio | IV | IV | IV | NT | NT | NT | NÃO TOLERÁVEL |
| PREPARAÇÃO | 10 | A equipe está em conflito | Os integrantes da equipe não se entendem e brigam | Conflitos internos | POUCO PROVÁVEL (PP) | Troca de componentes da equipe | O navio-tanque se aproxima do TGL de forma irregular. Equipamentos do pier não disponíveis | Não ocorre a descarga, prejudicando os consumidores. Risco de derramamento do produto. | Executar procedimento de afastamento do navio-tanque em relação ao TGL utilizando o MCP. Equipe de contenção | II | II | II | M | M | M | MÉDIO |
| | 11 | A equipe é inexperiente | Os componentes da equipe realizaram poucas operações deste porte e tipo | Problemas de treinamento ou trabalhistas | POUCO PROVÁVEL (PP) | Troca de componentes da equipe. Treinamento exaustivo. | O navio-tanque se aproxima do TGL de forma irregular. Equipamentos do pier não disponíveis | Não ocorre a descarga, prejudicando os consumidores. Risco de derramamento do produto e incêndio. | Executar procedimento de afastamento do navio-tanque em relação ao TGL utilizando o MCP. Equipe de contenção ou de combate ao incêndio | III | III | III | M | M | M | MÉDIO |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|----|----------------------------------|--|---|----------------|--|--|--|--|-----|-----|-----|----|----|----|---------------|
| | 12 | Mudança das condições ambientais | Mudança de favorável para desfavorável | Erro na avaliação das condições meteorológicas | PROVÁVEL (PR) | Observar as condições meteorológicas e de mar antes de adentrar na área de manobra | O navio-tanque não poderá continuar o descarregamento ou descarregar. Poderá haver rompimento do mangote | Não ocorrerá, prejudicando os consumidores locais. Risco de incêndio e explosões | Executar procedimento de afastamento do navio-tanque em relação ao TGL utilizando o MCP. Acionar brigada de incêndio | III | III | III | NT | NT | NT | NÃO TOLERÁVEL |
| ATRACAÇÃO | 13 | Execução de manobras arriscadas | Devido a pressões comerciais para atracação do navio-tanque e seu rápido descarregamento | Falha da programação em relação ao navio Erro de julgamento da manobra | FREQUENTE (FR) | Programar o navio com antecedência de 48 horas antes da operação de descarga | Sobrecarga no MCP do navio-tanque. Possibilidade de colisão com impacto alto, seguida de incêndio em condição ambiental desfavorável | Não ocorrerá a descarga, prejudicando os consumidores locais. Risco de derramamento do produto e incêndio. | Solicitar auxílio de rebocador. Deixar a brigada de incêndio de prontidão | II | II | II | M | M | M | MÉDIO |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----------------------------------|--|--|---------------|--|---|--|--|----|----|----|---|---|---|-----------|
| 14 | Mudança das condições ambientais | Mudança de favorável para desfavorável | Erro na avaliação das condições meteorológicas | PROVÁVEL (PR) | Observar as condições meteorológicas e de mar antes de adentrar na área de manobra | O navio-tanque não poderá continuar o descarregamento. Poderá haver rompimento do mangote | Não ocorrerá, prejudicando os consumidores locais. Risco de incêndio e explosões | Executar procedimento de afastamento do navio-tanque em relação ao TGL utilizando o MCP. Acionar brigada de incêndio | II | II | II | M | M | M | MÉDIO |
| | | | Mudança inesperada das condições ambientais | | | | | | | | | | | | |
| 15 | Falha do M.C.A. do navio-tanque | Parada no sistema Diesel- Gerador | Falha na manutenção | PROVÁVEL (PR) | Utilizar rotinas de manutenção rígidas com a utilização de roteiros (<i>check list</i> de atividades) | Falha das Bombas hidráulicas do navio-tanque | Não ocorrerá, prejudicando os consumidores locais | Abortar a operação e solicitar rebocador para retirar o navio | I | I | I | T | T | T | TOLERÁVEL |
| | | | Falha de lubrificação | | | Falha dos equipamentos de bordo | | | | | | | | | |
| | | | Falha do equipamento | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--|--|---|---------------------|---|---|---|--|-----|-----|-----|---|---|---|-------|
| 16 | Perda do Sistema de Governo | Incapacidade de Operar o Sistema de Governo do navio | Falha da manutenção | POUCO PROVÁVEL (PP) | Utilizar rotinas de manutenção rígidas com a utilização de roteiros (<i>check list</i> de atividades) | Navio-tanque sem governo. Possibilidade de colisão com o píer (TGL) | Não ocorrerá, prejudicando os consumidores locais | Abortar a operação e solicitar rebocador para retirar o navio | II | II | II | M | M | M | MÉDIO |
| 17 | Falha do posicionamento dinâmico | Perda de Posição | Problema do Thruster | PROVÁVEL (PR) | Utilizar rotinas rígidas de manutenção, com a utilização de roteiros (<i>check list</i> de atividades) | Incapacidade de manutenção da posição do navio-tanque | Possibilidade de colisão com impacto médio, seguido de incêndio | Abortar operação de atracação | II | II | II | M | M | M | MÉDIO |
| | | | Falha da manutenção | | Utilização de rotinas de manutenção de geradores | | | Executar procedimento de afastamento do navio-tanque em relação ao TGL utilizando o MCP ou o rebocador | | | | | | | |
| | | | Problemas de geração | | Verificar aviso aos navegantes sobre informações de satélite | | | | | | | | | | |
| | | | Problemas com o Satélite GPS | | | | | | | | | | | | |
| 18 | Falha da equipe de atracação do navio-tanque | A equipe erra na manobra de atracação | Negligência, imprudência ou imperícia da equipe | POUCO PROVÁVEL (PP) | Utilizar rotinas de treinamento rígidas com a utilização de roteiros (<i>check list</i> de atividades) | O navio-tanque não atraca e não ocorre a descarga. A insistência leva a colisão | Não ocorrerá a descarga, prejudicando os consumidores locais | Trocar a equipe. Se for necessário, solicitar rebocar para a retirada do navio-tanque | III | III | III | M | M | M | MÉDIO |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|----|------------------------------------|---------------------------------------|---|---------------------|---|---|---|---|-----|-----|-----|---|---|---|-------|
| | 19 | Falha da equipe e atracação do TGL | A equipe erra na manobra de atracação | Negligência, imprudência ou imperícia da equipe | POUCO PROVÁVEL (PP) | Utilizar rotinas de treinamento rígidas com a utilização de roteiros (<i>check list</i> de atividades) | O navio-tanque não atraca e não ocorre a descarga. A insistência leva a colisão | Não ocorrerá a descarga, prejudicando os consumidores locais | Trocar a equipe. Se for necessário, solicitar rebocar para a retirada do navio-tanque | III | III | III | M | M | M | MÉDIO |
| | 20 | Falha do M.C.P. do navio-tanque | Parada do Motor de combustão | Falha na bomba injetora Falha do cilindro | POUCO PROVÁVEL (PP) | Utilizar rotinas rígidas de manutenção, com a utilização de roteiros (<i>check list</i> de atividades) | Perda de propulsão do navio-tanque | Atraso na operação de descarga, com possibilidade de incêndio se o problema persistir | Abortar a operação de descarga Solicitar embarcação de apoio Executar procedimento de afastamento do navio-tanque em relação ao TGL com rebocadores | II | II | II | M | M | M | MÉDIO |
| DESCARGA | 21 | Falha do operador do mangote | Ruptura e desconexão | Operador enrolado no mangote Tração acima da permitida Falha no conector Envelhecimento do mangote | PROVÁVEL (PR) | Inspeção visual antes da manobra de conexão para descarga | O navio-tanque é incapaz de receber o mangote | Atraso moderado na operação, com possibilidade de lesões no operador | Abortar a operação de descarga Trocar o mangote | II | II | II | M | M | M | MÉDIO |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|--|--|--|---|---|---|---|---|-------------------------------|---|---|---|---|---|-----------|
| 22 | Falha na válvula de acoplamento (flange) com o mangote | Não abre | Problemas no anel de vedação | PROVÁVEL (PR) | Utilizar rotinas rígidas de manutenção, com a utilização de roteiros (check list de atividades) | Incapacidade de realizar a conexão | Atraso leve na operação de descarga | Abortar a operação de conexão | I | I | I | T | T | T | TOLERÁVEL |
| | | | Erro na conexão navio-tanque – mangote | | | | | Aguardar a realização de manutenção corretiva | | | | | | | |
| | 23 | Falha na válvula de acoplamento do mangote com o manifold | Não abre | Problemas no anel de vedação | PROVÁVEL (PR) | Utilizar rotinas rígidas de manutenção, com a utilização de roteiros (check list de atividades) | Incapacidade de realizar a conexão | Atraso leve na operação de descarga | Abortar a operação de conexão | I | I | I | T | T | T |
| Erro na conexão manifold – mangote | | | | Aguardar a realização de manutenção corretiva | | | | | | | | | | | |
| 24 | Falha do Teste de Pressão | Diferença entre a pressão do navio-tanque e o manifold (TGL) | Vazamento do mangote ou na válvula de acoplamento (flange) | PROVÁVEL (PR) | Utilizar rotinas rígidas de manutenção, com a utilização de roteiros (check list de atividades) | Incapacidade de realizar a operação de descarga | Atraso leve na operação de descarga, com possibilidade de vazamento, caso a operação prossiga | Refazer o teste | I | I | I | T | T | T | TOLERÁVEL |
| | | | | | | | | Abortar a operação de conexão | | | | | | | |
| | | | | | | | | Chamar a manutenção | | | | | | | |
| | | | | | | | | Trocar o mangote, se for o caso | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--|--|--|----------------|--|--|--|---|-----|-----|-----|----|----|----|---------------|
| 25 | Execução de manobras arriscadas | Devido a pressões comerciais para atracação do navio-tanque e seu rápido descarregamento | Falha da programação em relação ao navio | FREQUENTE (FR) | Programar o navio com antecedência de 48 horas antes da operação de descarga | Sobrecarga no MCP do navio-tanque. Possibilidade de colisão com impacto alto, seguida de incêndio em condição ambiental desfavorável | Não ocorrerá a descarga, prejudicando os consumidores locais. Risco de derramamento do produto e incêndio. | Solicitar auxílio de rebocador. Deixar a brigada de incêndio de prontidão | III | III | III | NT | NT | NT | NÃO TOLERÁVEL |
| | | Erro no julgamento da manobra | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | Falha humana na operação de conexão manifold (pier) e navio-tanque | Inexperiência do operador | O operador não conhece os procedimentos | PROVÁVEL (PR) | Treinamento dos operadores da conexão | O navio-tanque não realizar a descarga. Possível vazamento nos sistemas | Não ocorrerá a descarga do produto, prejudicando os consumidores. Risco de derramamento do produto e de incêndio | Deixar a brigada de incêndio e o pessoal da contenção de prontidão | III | III | III | NT | NT | NT | NÃO TOLERÁVEL |
| | | Cansaço do operador | Baixa concentração na realização da atividade de conexão | | Estabelecer horário de descanso e regular hora de trabalho | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|--|--|---------------------|---------------|---|---|--|--|-----|-----|-----|----|----|----|---------------|
| 27 | Falha da bomba do sistema de descarga (píer – TGL) | A bomba não realiza o bombeamento do navio-tanque para o TGL | Falta de manutenção | PROVÁVEL (PR) | Realizar a manutenção corretiva da bomba | Incapacidade de realizar a operação de descarga | Não ocorrerá a descarga, prejudicando os consumidores locais. Risco de derramamento do produto e incêndio. | Chamar o pessoal do reparo. Deixar a brigada de incêndio e o pessoal da contenção de prontidão | III | III | III | NT | NT | NT | NÃO TOLERÁVEL |
| | | A bomba está operando irregularmente | | | Trocar a bomba | | | | | | | | | | |
| A bomba está vazando | | | | | | | | | | | | | | | |
| 28 | Falha do manifold | O manifold não recebe o produto do navio-tanque para o TGL | Falta de manutenção | PROVÁVEL (PR) | Realizar a manutenção corretiva do manifold | Incapacidade de realizar a operação de descarga | Não ocorrerá a descarga, prejudicando os consumidores locais. Risco de derramamento do produto e incêndio. | Chamar o pessoal do reparo. Deixar a brigada de incêndio e o pessoal da contenção de prontidão | III | III | III | NT | NT | NT | NÃO TOLERÁVEL |
| | | O manifold está operando irregularmente | | | Trocar o manifold | | | | | | | | | | |
| | | O manifold está vazando | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--|---|--|---------------------|--|---|--|--|----|----|----|----|----|----|---------------|
| 29 | Mudança das condições ambientais | Mudança de favorável para desfavorável | Erro na avaliação das condições meteorológicas | PROVÁVEL (PR) | Observar as condições meteorológicas e de mar antes de adentrar na área de manobra | O navio-tanque não poderá continuar o descarregamento. Poderá haver rompimento do mangote | Não ocorrerá, prejudicando os consumidores locais. Risco de incêndio e explosões | Executar procedimento de afastamento do navio-tanque em relação ao TGL utilizando o MCP. Acionar brigada de incêndio | IV | IV | IV | NT | NT | NT | NÃO TOLERÁVEL |
| | | | Mudança inesperada das condições ambientais | | | | | | | | | | | | |
| 30 | Falha da tubulação de conexão entre os tanques de armazenamento e o TGL (píer) | Os tanques não estão recebendo o produto | Falta de manutenção | POUCO PROVÁVEL (PP) | Realizar manutenção preventiva | O navio-tanque não descarrega. Possível incêndio | Não ocorrerá, prejudicando os consumidores locais. Risco de incêndio e explosões | Executar procedimento de afastamento do navio-tanque em relação ao TGL utilizando o MCP. Acionar brigada de incêndio | IV | IV | IV | NT | NT | NT | NÃO TOLERÁVEL |
| | | Há vazamento de produto no TGL | | | | | | | | | | | | | |
| | | Os tanques de armazenamento estão vazando | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|----|--|---|---|----------------|---|--|--|---|-----|-----|-----|----|----|----|---------------|
| | 31 | Falha humana na operação recolhimento do mangote | Inexperiência do operador | O operador não conhece os procedimentos | PROVÁVEL (PR) | Treinamento dos operadores do mangote | O navio-tanque não realiza desatracação. Possível vazamento nos sistemas | Não ocorrerá desatracação do navio-tanque, prejudicando os consumidores. Risco de derramamento do produto e de incêndio | Deixar a brigada de incêndio e o pessoal da contenção de prontidão | III | III | III | NT | NT | NT | NÃO TOLERÁVEL |
| | | | Cansaço do operador | Baixa concentração na realização da atividade de operar o mangote | | Estabelecer horário de descanso e regular hora de trabalho | | | | | | | | | | |
| DESATRACAÇÃO | 32 | Execução de manobras arriscadas | Devido a pressões comerciais para desatracação do navio-tanque e seu rápido retorno à atividade | Falha da programação em relação ao navio | FREQUENTE (FR) | Programar o navio com antecedência de 48 horas após da operação de descarga | Sobrecarga no MCP do navio-tanque. Possibilidade de colisão com impacto alto, seguida de incêndio em condição ambiental desfavorável | Não ocorrerá a liberação do píer, prejudicando os consumidores locais. Risco de derramamento do produto residual e incêndio. | Solicitar auxílio de rebocador. Deixar a brigada de incêndio de prontidão | IV | IV | IV | NT | NT | NT | NÃO TOLERÁVEL |
| | | | | Erro de julgamento da manobra | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----------------------------------|--|--|---------------|--|--|---|---|-----|-----|-----|----|----|----|---------------|
| 33 | Mudança das condições ambientais | Mudança de favorável para desfavorável | Erro na avaliação das condições meteorológicas | PROVÁVEL (PR) | Observar as condições meteorológicas e de mar antes de retornar para a área de manobra | O navio-tanque deverá continuar atracado. | Não ocorrerá outra descarga com outro navio, prejudicando os consumidores locais. Risco de incêndio e explosões | Executar procedimento de amarração reforçada do navio-tanque em relação ao TGL. Acionar brigada de incêndio | III | III | III | NT | NT | NT | NÃO TOLERÁVEL |
| | | | Mudança inesperada das condições ambientais | | | | | | | | | | | | |
| 34 | Falha do M.C.A. do navio-tanque | Parada no sistema Diesel- Gerador | Falha na manutenção | PROVÁVEL (PR) | Utilizar rotinas de manutenção rígidas com a utilização de roteiros (<i>check list</i> de atividades) | Falha das Bombas hidráulicas do navio-tanque | Não ocorrerá outra descarga com outro navio, prejudicando os consumidores locais | Solicitar rebocador para retirar o navio | I | I | I | T | T | T | TOLERÁVEL |
| | | | Falha de lubrificação | | | | | | | | | | | | |
| | | | Falha do equipamento | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----|----------------------------------|--|---|---------------------|---|---|--|--|----|----|----|---|---|---|-------|
| | 35 | Perda do Sistema de Governo | Incapacidade de Operar o Sistema de Governo do navio | Falha da manutenção | POUCO PROVÁVEL (PP) | Utilizar rotinas de manutenção rígidas com a utilização de roteiros (<i>check list</i> de atividades) | Navio-tanque sem governo. Possibilidade de colisão com o píer (TGL) | Não ocorrerá outra descarga com outro navio, prejudicando os consumidores locais | Solicitar rebocador para retirar o navio | II | II | II | M | M | M | MÉDIO |
| | 36 | Falha do posicionamento dinâmico | Perda de Posição | Problema do Thruster Falha da manutenção Problemas de geração Problemas com o Satélite GPS | PROVÁVEL (PR) | Utilizar rotinas rígidas de manutenção, com a utilização de roteiros (<i>check list</i> de atividades) Utilização de rotinas de manutenção de geradores Verificar aviso aos navegantes sobre informações de satélite | Incapacidade de manutenção da posição do navio-tanque | Possibilidade de colisão com impacto médio, seguido de incêndio | Abortar operação de desatracação Executar procedimento de afastamento do navio-tanque em relação ao TGL utilizando o MCP com auxílio do rebocador | II | II | II | M | M | M | MÉDIO |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---|--|---|---------------------|---|--|---|---|-----|-----|-----|---|---|---|-------|
| 37 | Falha do M.C.P. do navio-tanque | Parada do Motor de combustão | Falha na bomba injetora | POUCO PROVÁVEL (PP) | Utilizar rotinas rígidas de manutenção, com a utilização de roteiros (<i>check list</i> de atividades) | Perda de propulsão do navio-tanque | Atraso na operação de desatracação, com possibilidade de incêndio se o problema persistir | Chamar o rebocador para auxiliar a saída do navio-tanque | II | II | II | M | M | M | MÉDIO |
| 38 | Falha da equipe de desatracação do TGL | A equipe erra na manobra de desatracação | Negligência, imprudência ou imperícia da equipe | POUCO PROVÁVEL (PP) | Utilizar rotinas de treinamento rígidas com a utilização de roteiros (<i>check list</i> de atividades) | O navio-tanque não desatraca. Descargas futuras prejudicadas. A insistência leva a colisão | Não ocorrerá a descarga futuras, prejudicando os consumidores locais | Trocar a equipe. Se for necessário, solicitar rebocar para a retirada do navio-tanque | III | III | III | M | M | M | MÉDIO |
| 39 | Falha da equipe de desatracação do navio-tanque | A equipe erra na manobra de desatracação | Negligência, imprudência ou imperícia da equipe | POUCO PROVÁVEL (PP) | Utilizar rotinas de treinamento rígidas com a utilização de roteiros (<i>check list</i> de atividades) | O navio-tanque não desatraca. Descargas futuras prejudicadas. A insistência leva a colisão | Não ocorrerá a descarga futuras, prejudicando os consumidores locais | Trocar a equipe. Se for necessário, solicitar rebocar para a retirada do navio-tanque | III | III | III | M | M | M | MÉDIO |

APÊNDICE C. – Tabelas Complementares Para os Fatores de Desempenho (PSF)

Neste Apêndice são mostradas as tabelas utilizadas para a geração das redes bayesianas dos fatores de desempenho (PSF). As atividades com as quais se correlacionam os fatores de desempenho são indicadas pelo número do evento básico e pelo número da atividade (ver Tabela 27).

Considerou-se que as seguintes atividades para os eventos básicos são equivalentes:

| | |
|-------------------------------------|--|
| A tabela para 2-1 será usada para: | 3-1; 13-1; 25-1 |
| A tabela para 2-2 será usada para: | 3-2 |
| A tabela para 2-3 será usada para: | 3-3; 13-9; 19-2; 33-5; 39-2 |
| A tabela para 2-4 será usada para: | 3-4; 6-2; 7-2; 13-10; 19-3; 20-1; 25-3; 33-6; 39-3 |
| A tabela para 2-5 será usada para: | 3-5; 6-5; 7-4; 10-6; 11-6; 13-12; 19-6; 20-6; 21-2; 25-7; 26-4; 29-5; 33-12; 38-7; 39-6 |
| A tabela para 2-6 será usada para: | 3-6; 6-6; 7-5; 10-7; 11-7; 13-13; 19-7; 20-7; 21-3; 25-8; 26-5; 29-6; 33-13; 38-8; 39-7 |
| A tabela para 6-3 será usada para: | 6-4 |
| A tabela para 7-1 será usada para: | 13-8; 19-1; 33-4; 39-1 |
| A tabela para 7-3 será usada para: | 13-11; 19-4; 33-7; 39-4 |
| A tabela para 10-3 será usada para: | 10-4; 11-3; 11-4; 13-4; 13-5; 13-6; 20-2; 20-3; 25- 5; 26-2; 29-2; 29-3; 33-1; 33-9; 33-10; 38-1; 38-4; 38-5 |
| A tabela para 10-5 será usada para: | 11-5; 13-3; 13-7; 20-4; 25-6; 33-11; 38-6 |
| A tabela para 11-1 será usada para: | 26-1; 29-1 |
| A tabela para 13-2 será usada para: | 25-2; 33-3; 38-3 |
| A tabela para 19-4 será usada para: | 21-1; 25-4; 26-3; 29-4; 33-8; 39-5 |
| A tabela para 33-2 será usada para: | 38-2 |

Tabela 50 – 2-2 – Entendimento (errado) do Supervisor do TGL.

| Habilidades Requeridas | PSF | | MOF |
|------------------------|------------|------------------------|------------------------------|
| I – interpretações | Internos | 1-fadiga | A- carga de trabalho |
| | | | M-attitudes da sup. e outros |
| | | 7-velocidade da tarefa | A- carga de trabalho |
| | Ambientais | 12-distrações | G-qualidade de vida |
| X – percepção | Internos | λ_5 -ruído | |
| | | | |
| | | 1-fadiga | A- carga de trabalho |
| | | 6-duração do estresse | C-coordenação do trabalho |
| | | 15-estado emocional | M-attitudes da sup. e outros |
| | | | C-coordenação do trabalho |

Tabela 51 – 2-3 – O Oficial de Náutica (ON) manobra o navio.

| Habilidades Requeridas | PSF | | MOF |
|-------------------------------------|----------|---------------------------------|----------------------------|
| II – cálculos | Internos | 7-velocidade da tarefa | A- carga de trabalho |
| | | | C-coordenação do trabalho |
| IV – conhecimento dos procedimentos | Internos | 20-personalidade e inteligência | D-cultura organizacional |
| | | | |
| XII - liderança | Internos | 20-personalidade e inteligência | D-cultura organizacional |
| | | | |
| | Internos | 22-conhecimento das normas | L-programas de treinamento |
| | | | |
| | Internos | 17-criticidade da tarefa | L-programas de treinamento |
| | | | |
| | | 20-personalidade e inteligência | D-cultura organizacional |

Tabela 52 – 2-4 – Comandante do NT ratifica o erro.

| Habilidades Requeridas | PSF | | MOF |
|------------------------|---------------|---------------------------------|---------------------------------|
| I – interpretações | Internos | 1-Fadiga | A – carga de trabalho |
| | | | M – atitudes dos sups. e outros |
| | 12-Distrações | | C – coordenação do trabalho |
| | | | M – atitudes dos sups. e outros |
| X – percepção | Internos | 1-Fadiga | A – carga de trabalho |
| | | | D – cultura organizacional |
| | Ambientais | 20-Personalidade e Inteligência | |
| | | λ_8 -visibilidade | |

Tabela 53 – 2-5 – Tomada de Decisão.

| Habilidades Requeridas | PSF | | MOF |
|------------------------|------------|---------------------------------|------------------------------|
| I - Interpretações | Internos | 6-duração do estresse | A – carga de trabalho |
| | | | L – programas de treinamento |
| | | 7-velocidade da tarefa | A – carga de trabalho |
| | | 20-personalidade e inteligência | J – seleção de pessoal |
| XI – Planejamento | Internos | 6-duração do estresse | A – carga de trabalho |
| | | | J – seleção de pessoal |
| | Ambientais | λ_8 -visibilidade | |

Tabela 54 – 2-6 – Detecção do Erro.

| Habilidades Requeridas | PSF | | MOF |
|------------------------|------------|---------------------------------|------------------------------|
| III - Concentração | Internos | 1-fadiga | A – carga de trabalho |
| | | | L – programas de treinamento |
| | | 12-distrações | C – coordenação do trabalho |
| | | 20-personalidade e inteligência | J – seleção de pessoal |
| X – Percepção | Internos | 6-duração do estresse | A – carga de trabalho |
| | | | J – seleção de pessoal |
| | Ambientais | λ_8 -visibilidade | |

Tabela 55 – 6-1 – O ON entendeu (errado).

| Habilidades Requeridas | PSF | | MOF |
|-----------------------------|------------|---------------------------------|-----------------------------|
| I – Interpretações | Internos | 1-fadiga | A – carga de trabalho |
| | | | G – qualidade de vida |
| | | 12-distrações | G – qualidade de vida |
| | | 20-personalidade e inteligência | J – seleção de pessoal |
| VIII – Equipe e Comunicação | Internos | 9-tratamento dispensado à falha | H – avaliação de rendimento |
| | | | H – avaliação de rendimento |
| | Ambientais | λ_8 -visibilidade | |

Tabela 56 – 6-3 – O Comandante do NT não fez contato por qualquer meio.

| Habilidades Requeridas | PSF | | MOF |
|------------------------|----------|---------------------------------|------------------------|
| I – Interpretações | Internos | 1-fadiga | A – carga de trabalho |
| | | | B-formalização |
| | | 7-velocidade da tarefa | B – formalização |
| | | 20-personalidade e inteligência | J – seleção de pessoal |
| VII – Motricidade | Internos | 15-estado emocional | A – carga de trabalho |
| | | | J – seleção de pessoal |
| | | 23-experiência e treinamento | B-formalização |
| | | | J – seleção de pessoal |

Tabela 57 – 7-1 – O Prático sugere manobra (errada).

| Habilidades Requeridas | PSF | | MOF |
|---------------------------------------|------------|--------------------------------------|------------------------------|
| I – Interpretações | Internos | 1-fadiga | A – carga de trabalho |
| | | | M-Atitudes de Sups. e outros |
| | | 7-velocidade da tarefa | M-Atitudes de Sups. e outros |
| | | 12-distrações | M-Atitudes de Sups. e outros |
| V – Memória de longo e de curto prazo | Internos | 15-estado emocional | A – carga de trabalho |
| | | | L-programas de treinamento |
| | | 26-Estado atual da prática (memória) | L-programas de treinamento |
| | | M-Atitudes de Sups. e outros | |
| | Ambientais | λ_3 -visibilidade | |

Tabela 58 – 7-3 – Erro do Timoneiro (na manobra do leme).

| Habilidades Requeridas | PSF | | MOF |
|----------------------------------|------------|---------------------------------------|------------------------------|
| I – Interpretações | Internos | 1-fadiga | A – carga de trabalho |
| | | 7-velocidade da tarefa | H – avaliação do rendimento |
| | | 12-distrações | L – programas de treinamento |
| | Ambientais | λ_8 -visibilidade | |
| | | λ_9 -correnteza | |
| | | λ_{10} -tempestades | |
| IX – Frequência e Repetitividade | Internos | 6-duração do estresse | A – carga de trabalho |
| | | 10-trabalho monótono | I – programas da companhia |
| | | 16-velocidade de realização da tarefa | F – recursos físicos |
| | | 24-habilidade | H – avaliação de rendimento |
| | | | L – programas de treinamento |

Tabela 59 – 10-1 – O Supervisor do TGL não atua no conflito.

| Habilidades Requeridas | PSF | | MOF |
|------------------------|----------|---------------------------------------|------------------------------|
| XII – Liderança | Internos | 9-tratamento dispensado à falha | D – cultura organizacional |
| | | 17-criticidade da tarefa | H – avaliação de rendimento |
| | | 24-habilidade | L – programas de treinamento |
| XIII – Criatividade | Internos | 8-riscos na execução da tarefa | H – avaliação de rendimento |
| | | 16-velocidade de realização da tarefa | H – avaliação de rendimento |
| | | 20-personalidade e inteligência | D – cultura organizacional |
| | | | J – seleção de pessoal |

Tabela 60 – 10-2 – O Líder da Operação não faz nada.

| Habilidades Requeridas | PSF | | MOF |
|------------------------|----------|---------------------------------------|------------------------------|
| XII – Liderança | Internos | 9-tratamento dispensado à falha | D – cultura organizacional |
| | | | H – avaliação de rendimento |
| | | 17-criticidade da tarefa | L – programas de treinamento |
| | | 24-habilidade | L – programas de treinamento |
| XIV – Flexibilidade | Internos | 9-tratamento dispensado à falha | H – avaliação de rendimento |
| | | 16-velocidade de realização da tarefa | H – avaliação de rendimento |
| | | 20-personalidade e inteligência | D – cultura organizacional |
| | | | J – seleção de pessoal |

Tabela 61 – 10-3 – O Inspetor A1 não critica.

| Habilidades Requeridas | PSF | | MOF |
|------------------------|----------|---------------------------------|------------------------------|
| X – Percepção | Internos | 1-fadiga | A – carga de trabalho |
| | | | H – avaliação de rendimento |
| | | 6-duração do estresse | A – carga de trabalho |
| | | | L – programas de treinamento |
| | | 20-personalidade e inteligência | D – cultura organizacional |
| | | | J – seleção de pessoal |
| XII – Liderança | Internos | 9-tratamento dispensado à falha | D – cultura organizacional |
| | | | H – avaliação de rendimento |
| | | 17-criticidade da tarefa | L – programas de treinamento |
| | | 24-habilidade | L – programas de treinamento |

Tabela 62 – 10-5 – O Inspetor CM informa (errado).

| Habilidades Requeridas | PSF | | MOF |
|------------------------|------------|---------------------------------|------------------------------|
| I – Interpretações | Internos | 1-fadiga | A – carga de trabalho |
| | | | H – avaliação de rendimento |
| | | 7-velocidade da tarefa | A – carga de trabalho |
| | | | H – avaliação de rendimento |
| | | 20-personalidade e inteligência | D – cultura organizacional |
| | | | J – seleção de pessoal |
| | Ambientais | λ_{10} - tempestades | |
| X – Percepção | Internos | 1-fadiga | A – carga de trabalho |
| | | | H – avaliação de rendimento |
| | | 6-duração do estresse | A – carga de trabalho |
| | | | L – programas de treinamento |
| | | 20-personalidade e inteligência | D – cultura organizacional |
| | | | J – seleção de pessoal |

Tabela 63 – 11-1 – O Supervisor do TGL mantém a equipe.

| Habilidades Requeridas | PSF | | MOF |
|------------------------|----------|---------------------------------------|------------------------------|
| X – Percepção | Internos | 1-fadiga | A – carga de trabalho |
| | | | H – avaliação de rendimento |
| | | 6-duração do estresse | L – programas de treinamento |
| | | 20-personalidade e inteligência | D – cultura organizacional |
| | | | J – seleção de pessoal |
| XIV – Flexibilidade | Internos | 9-tratamento dispensado à falha | H – avaliação de rendimento |
| | | 16-velocidade de realização da tarefa | H – avaliação de rendimento |
| | | 20-personalidade e inteligência | D – cultura organizacional |
| | | | J – seleção de pessoal |

Tabela 64 – 11-2 – O Líder da Operação concorda.

| Habilidades Requeridas | PSF | | MOF |
|------------------------|----------|---|------------------------------|
| X – Percepção | Internos | 1-fadiga | A – carga de trabalho |
| | | | H – avaliação de rendimento |
| | | 6-duração do estresse | L – programas de treinamento |
| | | 20-personalidade e inteligência | D – cultura organizacional |
| | | | J – seleção de pessoal |
| XV – Empatia | Internos | 14-conflitos a respeito dos motivos para obtenção do melhor resultado | H – avaliação de rendimento |
| | | | L – programas de treinamento |
| | | 15-estado emocional | H – avaliação de rendimento |
| | | 20-personalidade e inteligência | D – cultura organizacional |
| J – seleção de pessoal | | | |

Tabela 65 – 13-2 – O Supervisor da Cia. Transportadora concorda.

| Habilidades Requeridas | PSF | | MOF |
|------------------------|----------|---------------------------------|------------------------------|
| X – Percepção | Internos | 1-fadiga | A – carga de trabalho |
| | | | H – avaliação de rendimento |
| | | 6-duração do estresse | L – programas de treinamento |
| | | 20-personalidade e inteligência | D – cultura organizacional |
| | | | J – seleção de pessoal |
| XIII – Criatividade | Internos | 9-tratamento dispensado à falha | D – cultura organizacional |
| | | | H – avaliação de rendimento |
| | | 15-estado emocional | H – avaliação de rendimento |
| | | 20-personalidade e inteligência | D – cultura organizacional |
| | | | J – seleção de pessoal |

Tabela 66 – 19-4 – Erro dos Marinheiros de Convés (são dois na faina – em conjunto).

| Habilidades Requeridas | PSF | | MOF |
|-------------------------|------------|------------------------------|------------------------------|
| III – Concentração | Internos | 1-fadiga | A – carga de trabalho |
| | | 7-velocidade da tarefa | C – coordenação do trabalho |
| | Ambientais | λ_1 - temperatura | |
| | | λ_{11} - ventos | |
| VI – Resistência Física | Internos | 2-dor e desconforto | A – carga de trabalho |
| | | 6-duração do estresse | C – coordenação do trabalho |
| | Ambientais | λ_5 - ruído | |
| VII – Motricidade | Internos | 1-fadiga | A – carga de trabalho |
| | | 5-condição física | A – carga de trabalho |
| | | | F – recursos físicos |
| | | 23-experiência e treinamento | L – programas de treinamento |

Tabela 67 – 20-5 – Erro dos Amarradores (são sete na faina – em conjunto).

| Habilidades Requeridas | PSF | | MOF |
|------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| III – Concentração | Internos | 1-fadiga | A – carga de trabalho |
| | | 7-velocidade da tarefa | C – coordenação do trabalho |
| | Ambientais | λ_1 - temperatura | |
| | | λ_{11} - ventos | |
| VII – Motricidade | Internos | 1-fadiga | A – carga de trabalho |
| | | 5-condição física | A – carga de trabalho |
| | | | F – recursos físicos |
| 23-experiência e treinamento | L – programas de treinamento | | |
| VIII – Equipe e Comunicação | Internos | 8-riscos na execução da tarefa | A – carga de trabalho |
| | | | H – avaliação de rendimento |
| | | 9-tratamento dispensado à falha | H – avaliação de rendimento |
| 24-habilidade | L – programas de treinamento | | |

Tabela 68 – 33-2 – O Gerente da Cia. Transportadora concorda.

| Habilidades Requeridas | PSF | | MOF |
|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| VIII – Equipe e Comunicação | Internos | 9-tratamento dispensado à falha | D – cultura organizacional |
| | | | H – avaliação de rendimento |
| | | 20-personalidade e inteligência | D – cultura organizacional |
| | | | J – seleção de pessoal |
| 24-habilidade | L – programas de treinamento | | |
| XIII – Criatividade | Internos | 8-riscos na execução da tarefa | H – avaliação de rendimento |
| | | | H – avaliação de rendimento |
| | | 16-velocidade de realização da tarefa | H – avaliação de rendimento |
| | | | 20-personalidade e inteligência |
| J – seleção de pessoal | | | |

APÊNDICE D. – Redes Bayesianas para os Eventos Básicos com os PSF e Rede Bayesiana Global e suas TPC's

Neste apêndice, são mostradas as redes bayesianas para os eventos básicos (a partir da Figura 77 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**), onde a intervenção humana se faz presente, podendo levar ao erro, isto é com os PSF. Ver a Figura 97, onde mostrada a rede global obtida com a conexão das redes bayesianas dos PSF com a rede bayesiana da conversão da árvore de falhas. Além da topologia estão apresentadas as TPC's obtidas com a opinião dos especialistas no que tange aos nós relacionados às atividades humanas. Para as TPC's dos demais nós, consultar o CD em anexo a esta dissertação, sendo necessário o programa NETICA™ para acessar os arquivos. Não foram repetidas as redes já apresentadas ao longo do texto do trabalho. As TPC's da rede, no que tange aos nós das atividades humanas, são mostradas após a figura do diagrama da rede correlacionada.

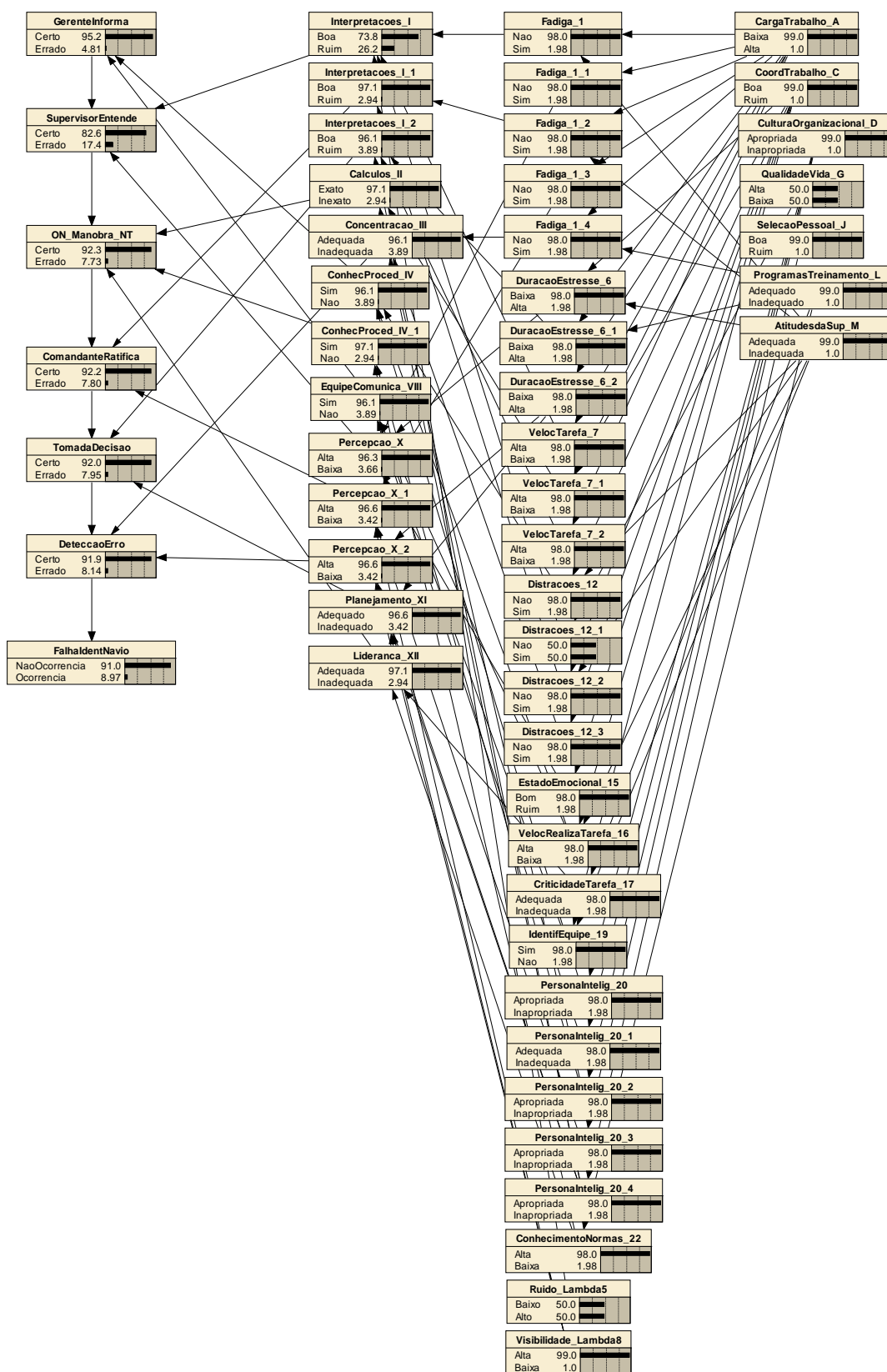


Figura 109 – Rede Bayesiana do Evento Básico (2) de falha na identificação do Navio-Tanque.

| ConhecProced_IV | EquipeComunica_VIII | Certo | Errado |
|-----------------|---------------------|-------|--------|
| Sim | Sim | 99 | 1 |
| Sim | Nao | 50 | 50 |
| Nao | Sim | 50 | 50 |
| Nao | Nao | 1 | 99 |

Figura 110 – TPC para o nó GerenteInforma.

| GerenteInforma | Interpretacoes_I | Percepcao_X | Certo | Errado |
|----------------|------------------|-------------|-------|--------|
| Certo | Boa | Alta | 99 | 1 |
| Certo | Boa | Baixa | 50 | 50 |
| Certo | Ruim | Alta | 50 | 50 |
| Certo | Ruim | Baixa | 50 | 50 |
| Errado | Boa | Alta | 50 | 50 |
| Errado | Boa | Baixa | 1 | 99 |
| Errado | Ruim | Alta | 1 | 99 |
| Errado | Ruim | Baixa | 1 | 99 |

Figura 111 – TPC para o nó SupervisorEntende.

| SupervisorEntende | Calculos_II | ConhecProced_IV_1 | Lideranca_XII | Certo | Errado |
|-------------------|-------------|-------------------|---------------|-------|--------|
| Certo | Exato | Sim | Adequada | 99 | 1 |
| Certo | Exato | Sim | Inadequada | 75 | 25 |
| Certo | Exato | Nao | Adequada | 75 | 25 |
| Certo | Exato | Nao | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Inexato | Sim | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Inexato | Sim | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Inexato | Nao | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Inexato | Nao | Inadequada | 25 | 75 |
| Errado | Exato | Sim | Adequada | 75 | 25 |
| Errado | Exato | Sim | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Exato | Nao | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Exato | Nao | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Inexato | Sim | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Inexato | Sim | Inadequada | 25 | 75 |
| Errado | Inexato | Nao | Adequada | 25 | 75 |
| Errado | Inexato | Nao | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 112 – TPC para o nó ON_Manobra_NT.

| ON_Manobra_NT | Interpretacoes_I_1 | Percepcao_X_1 | Certo | Errado |
|---------------|--------------------|---------------|-------|--------|
| Certo | Boa | Alta | 99 | 1 |
| Certo | Boa | Baixa | 50 | 50 |
| Certo | Ruim | Alta | 50 | 50 |
| Certo | Ruim | Baixa | 50 | 50 |
| Errado | Boa | Alta | 50 | 50 |
| Errado | Boa | Baixa | 1 | 99 |
| Errado | Ruim | Alta | 1 | 99 |
| Errado | Ruim | Baixa | 1 | 99 |

Figura 113 – TPC para o nó ComandanteRatifica.

| ComandanteRatifica | Interpretacoes_I_2 | Planejamento_XI | Certo | Errado |
|--------------------|--------------------|-----------------|-------|--------|
| Certo | Boa | Adequado | 99 | 1 |
| Certo | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Boa | Inadequado | 1 | 99 |
| Errado | Ruim | Adequado | 1 | 99 |
| Errado | Ruim | Inadequado | 1 | 99 |

Figura 114 – TPC para o nó TomadaDecisao.

| TomadaDecisao | Concentracao_III | Percepcao_X_2 | Certo | Errado |
|---------------|------------------|---------------|-------|--------|
| Certo | Adequada | Alta | 99 | 1 |
| Certo | Adequada | Baixa | 50 | 50 |
| Certo | Inadequada | Alta | 50 | 50 |
| Certo | Inadequada | Baixa | 50 | 50 |
| Errado | Adequada | Alta | 50 | 50 |
| Errado | Adequada | Baixa | 1 | 99 |
| Errado | Inadequada | Alta | 1 | 99 |
| Errado | Inadequada | Baixa | 1 | 99 |

Figura 115 – TPC para o nó DeteccaoErro.

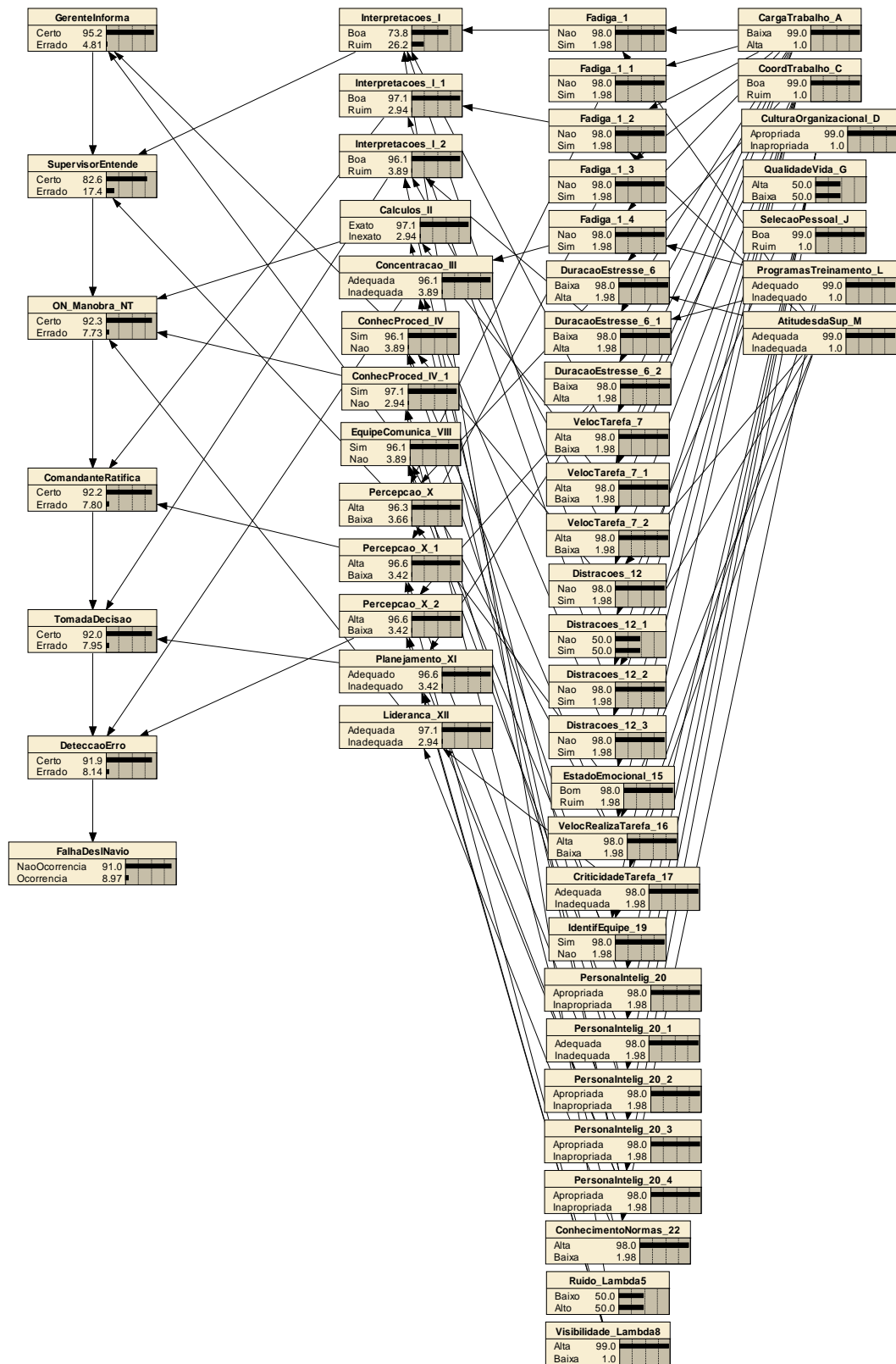


Figura 116 – Rede Bayesiana do Evento Básico (3) de falha sobre o deslocamento (Δ) do Navio-Tanque.

As TPCs deste Evento Básico no que tange aos nós das atividades humanas são idênticas às TPC's anteriormente mostradas para o Evento Básico (2).

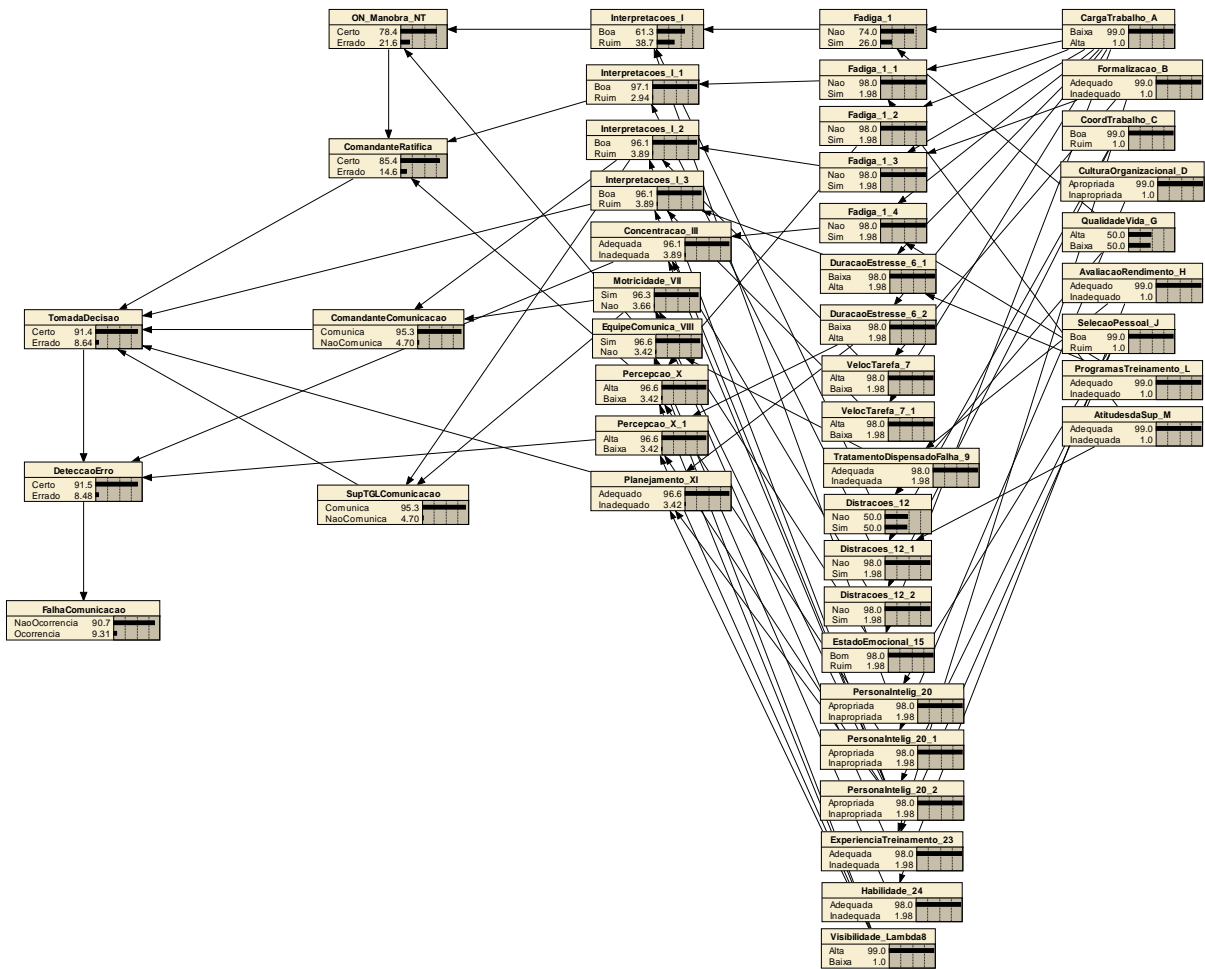


Figura 117 – Rede Bayesiana do Evento Básico (6) de falha de comunicação entre o Navio-Tanque e o TGL.

| Interpretacoes_I | EquipeComunica_VIII | Certo | Errado |
|------------------|---------------------|-------|--------|
| Boa | Sim | 99 | 1 |
| Boa | Nao | 50 | 50 |
| Ruim | Sim | 50 | 50 |
| Ruim | Nao | 1 | 99 |

Figura 118 – TPC para o nó ON_Manobra_NT.

| ON_Manobra_NT | Interpretacoes_I_1 | Percepcao_X | Certo | Errado |
|---------------|--------------------|-------------|-------|--------|
| Certo | Boa | Alta | 99 | 1 |
| Certo | Boa | Baixa | 50 | 50 |
| Certo | Ruim | Alta | 50 | 50 |
| Certo | Ruim | Baixa | 50 | 50 |
| Errado | Boa | Alta | 50 | 50 |
| Errado | Boa | Baixa | 1 | 99 |
| Errado | Ruim | Alta | 1 | 99 |
| Errado | Ruim | Baixa | 1 | 99 |

Figura 119 – TPC para o nó ComandanteRatifica.

| Interpretacoes_I_2 | Motricidade_VII | Comunica | NaoComu... |
|--------------------|-----------------|----------|------------|
| Boa | Sim | 99 | 1 |
| Boa | Nao | 50 | 50 |
| Ruim | Sim | 50 | 50 |
| Ruim | Nao | 1 | 99 |

Figura 120 – TPC para o nó ComandanteComunicacao.

| Interpretacoes_I_2 | Motricidade_VII | Comunica | NaoComu... |
|--------------------|-----------------|----------|------------|
| Boa | Sim | 99 | 1 |
| Boa | Nao | 50 | 50 |
| Ruim | Sim | 50 | 50 |
| Ruim | Nao | 1 | 99 |

Figura 121 – TPC para o nó SupTGLComunicacao.

| ComandanteRatifica | ComandanteComunicacao | SupTGLComunicacao | Interpretacoes_I_3 | Planejamento_XI | Certo | Errado |
|--------------------|-----------------------|-------------------|--------------------|-----------------|-------|--------|
| Certo | Comunica | Comunica | Boa | Adequado | 99 | 1 |
| Certo | Comunica | Comunica | Boa | Inadequado | 75 | 25 |
| Certo | Comunica | Comunica | Ruim | Adequado | 75 | 25 |
| Certo | Comunica | Comunica | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Comunica | NaoComunica | Boa | Adequado | 75 | 25 |
| Certo | Comunica | NaoComunica | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Comunica | NaoComunica | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Comunica | NaoComunica | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | NaoComunica | Comunica | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | NaoComunica | Comunica | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | NaoComunica | Comunica | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | NaoComunica | Comunica | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | NaoComunica | NaoComunica | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | NaoComunica | NaoComunica | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | NaoComunica | NaoComunica | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | NaoComunica | NaoComunica | Ruim | Inadequado | 25 | 75 |
| Errado | Comunica | Comunica | Boa | Adequado | 75 | 25 |
| Errado | Comunica | Comunica | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Errado | Comunica | Comunica | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Comunica | Comunica | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Errado | Comunica | NaoComunica | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Comunica | NaoComunica | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Errado | Comunica | NaoComunica | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Comunica | NaoComunica | Ruim | Inadequado | 25 | 75 |
| Errado | NaoComunica | Comunica | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | NaoComunica | Comunica | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Errado | NaoComunica | Comunica | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | NaoComunica | Comunica | Ruim | Inadequado | 25 | 75 |
| Errado | NaoComunica | NaoComunica | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | NaoComunica | NaoComunica | Boa | Inadequado | 25 | 75 |
| Errado | NaoComunica | NaoComunica | Ruim | Adequado | 1 | 99 |
| Errado | NaoComunica | NaoComunica | Ruim | Inadequado | 1 | 99 |

Figura 122 – TPC para o nó TomadaDecisao.

| TomadaDecisao | Concentracao_III | Percepcao_X_1 | Certo | Errado |
|---------------|------------------|---------------|-------|--------|
| Certo | Adequada | Alta | 99 | 1 |
| Certo | Adequada | Baixa | 50 | 50 |
| Certo | Inadequada | Alta | 50 | 50 |
| Certo | Inadequada | Baixa | 50 | 50 |
| Errado | Adequada | Alta | 50 | 50 |
| Errado | Adequada | Baixa | 1 | 99 |
| Errado | Inadequada | Alta | 1 | 99 |
| Errado | Inadequada | Baixa | 1 | 99 |

Figura 123 – TPC para o nó DeteccaoErro.

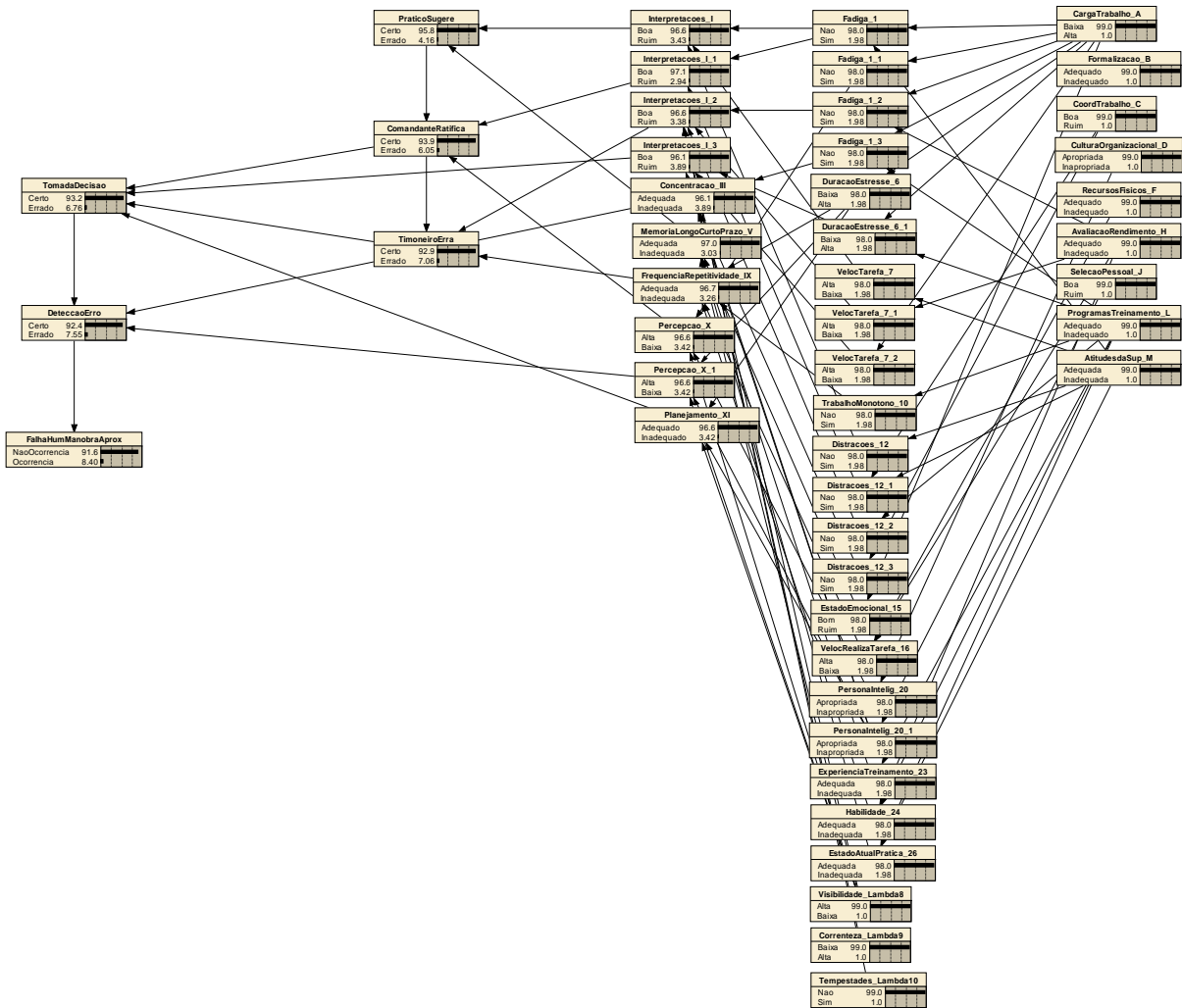


Figura 124 – Rede Bayesiana do Evento Básico (7) de falha na manobra de aproximação do Navio-Tanque para o TGL.

| Interpretacoes_I | MemorialLongoCurtoPrazo_V | Certo | Errado |
|------------------|---------------------------|-------|--------|
| Boa | Adequada | 99 | 1 |
| Boa | Inadequada | 50 | 50 |
| Ruim | Adequada | 50 | 50 |
| Ruim | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 125 – TPC para o nó PraticoSugere.

| PraticoSugere | Interpretacoes_I_1 | Percepcao_X | Certo | Errado |
|---------------|--------------------|-------------|-------|--------|
| Certo | Boa | Alta | 99 | 1 |
| Certo | Boa | Baixa | 50 | 50 |
| Certo | Ruim | Alta | 50 | 50 |
| Certo | Ruim | Baixa | 50 | 50 |
| Errado | Boa | Alta | 50 | 50 |
| Errado | Boa | Baixa | 1 | 99 |
| Errado | Ruim | Alta | 1 | 99 |
| Errado | Ruim | Baixa | 1 | 99 |

Figura 126 – TPC para o nó ComandanteRatifica.

| ComandanteRatifica | Interpretacoes_I_2 | FrequenciaRepetitividade_IX | Certo | Errado |
|--------------------|--------------------|-----------------------------|-------|--------|
| Certo | Boa | Adequada | 99 | 1 |
| Certo | Boa | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Ruim | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Ruim | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Boa | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Boa | Inadequada | 1 | 99 |
| Errado | Ruim | Adequada | 1 | 99 |
| Errado | Ruim | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 127 – TPC para o nó TimoneiroErra.

| ComandanteRatifica | TimoneiroErra | Interpretacoes_I_3 | Planejamento_XI | Certo | Errado |
|--------------------|---------------|--------------------|-----------------|-------|--------|
| Certo | Certo | Boa | Adequado | 99 | 1 |
| Certo | Certo | Boa | Inadequado | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Ruim | Adequado | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Ruim | Inadequado | 25 | 75 |
| Errado | Certo | Boa | Adequado | 75 | 25 |
| Errado | Certo | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Boa | Inadequado | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Ruim | Adequado | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Ruim | Inadequado | 1 | 99 |

Figura 128 – TPC para o nó TomadaDecisao.

| TomadaDecisao | Concentracao_III | Percepcao_X_1 | Certo | Errado |
|---------------|------------------|---------------|-------|--------|
| Certo | Adequada | Alta | 99 | 1 |
| Certo | Adequada | Baixa | 50 | 50 |
| Certo | Inadequada | Alta | 50 | 50 |
| Certo | Inadequada | Baixa | 50 | 50 |
| Errado | Adequada | Alta | 50 | 50 |
| Errado | Adequada | Baixa | 1 | 99 |
| Errado | Inadequada | Alta | 1 | 99 |
| Errado | Inadequada | Baixa | 1 | 99 |

Figura 129 – TPC para o nó DeteccaoErro.

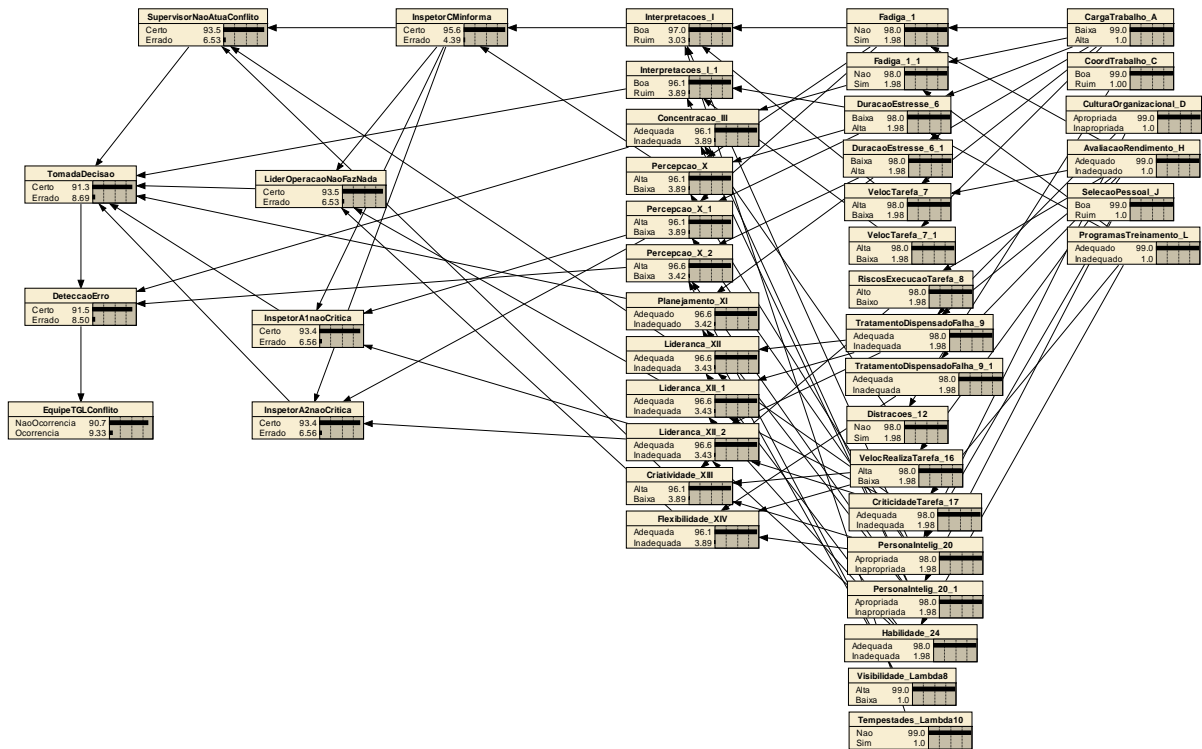


Figura 130 – Rede Bayesiana do Evento Básico (10) de falha na descarga devido ao conflito entre os integrantes da equipe do TGL.

| Interpretacoes_I | Percepcao_X | Certo | Errado |
|------------------|-------------|-------|--------|
| Boa | Alta | 99 | 1 |
| Boa | Baixa | 50 | 50 |
| Ruim | Alta | 50 | 50 |
| Ruim | Baixa | 1 | 99 |

Figura 131 – TPC para o nó InspetorCMInforma

| InspetorCMInforma | Lideranca_XII | Criatividade_XIII | Certo | Errado |
|-------------------|---------------|-------------------|-------|--------|
| Certo | Adequada | Alta | 99 | 1 |
| Certo | Adequada | Baixa | 50 | 50 |
| Certo | Inadequada | Alta | 50 | 50 |
| Certo | Inadequada | Baixa | 50 | 50 |
| Errado | Adequada | Alta | 50 | 50 |
| Errado | Adequada | Baixa | 1 | 99 |
| Errado | Inadequada | Alta | 1 | 99 |
| Errado | Inadequada | Baixa | 1 | 99 |

Figura 132 – TPC para o nó SupervisorNaoAtuaConflito.

| InspetorCMInforma | Lideranca_XII_1 | Flexibilidade_XIV | Certo | Errado |
|-------------------|-----------------|-------------------|-------|--------|
| Certo | Adequada | Adequada | 99 | 1 |
| Certo | Adequada | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Inadequada | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Inadequada | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Adequada | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Adequada | Inadequada | 1 | 99 |
| Errado | Inadequada | Adequada | 1 | 99 |
| Errado | Inadequada | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 133 – TPC para o nó LiderOperacaoNaoFazNada.

| InspetorCMInforma | Percepcao_X_1 | Lideranca_XII_2 | Certo | Errado |
|-------------------|---------------|-----------------|-------|--------|
| Certo | Alta | Adequada | 99 | 1 |
| Certo | Alta | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Baixa | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Baixa | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Alta | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Alta | Inadequada | 1 | 99 |
| Errado | Baixa | Adequada | 1 | 99 |
| Errado | Baixa | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 134 – TPC para o nó InspetorA1naoCritica.

| InspetorCMInforma | Percepcao_X_1 | Lideranca_XII_2 | Certo | Errado |
|-------------------|---------------|-----------------|-------|--------|
| Certo | Alta | Adequada | 99 | 1 |
| Certo | Alta | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Baixa | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Baixa | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Alta | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Alta | Inadequada | 1 | 99 |
| Errado | Baixa | Adequada | 1 | 99 |
| Errado | Baixa | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 135 – TPC para o nó InspetorA2naoCritica

| TomadaDecisao | Concentracao_III | Percepcao_X_2 | Certo | Errado |
|---------------|------------------|---------------|-------|--------|
| Certo | Adequada | Alta | 99 | 1 |
| Certo | Adequada | Baixa | 50 | 50 |
| Certo | Inadequada | Alta | 50 | 50 |
| Certo | Inadequada | Baixa | 50 | 50 |
| Errado | Adequada | Alta | 50 | 50 |
| Errado | Adequada | Baixa | 1 | 99 |
| Errado | Inadequada | Alta | 1 | 99 |
| Errado | Inadequada | Baixa | 1 | 99 |

Figura 136 – TPC para o nó DeteccaoErro.

| SupervisorNaoAtuaConflito | LiderOperacaoNaoFazNada | InspetorA1naoCritica | InspetorA2naoCritica | Interpretacoes_I_1 | Planejamento_XI | Certo | Errado |
|---------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|--------------------|-----------------|-------|--------|
| Certo | Certo | Certo | Certo | Boa | Adequado | 99 | 1 |
| Certo | Certo | Certo | Certo | Boa | Inadequado | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Certo | Certo | Ruim | Adequado | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Certo | Certo | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Certo | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Certo | Errado | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Certo | Errado | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Certo | Errado | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Certo | Boa | Adequado | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Errado | Certo | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Certo | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Certo | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Errado | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Errado | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Errado | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Certo | Certo | Boa | Adequado | 75 | 25 |
| Certo | Errado | Certo | Certo | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Certo | Certo | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Certo | Certo | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Certo | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Certo | Errado | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Certo | Errado | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Certo | Errado | Ruim | Inadequado | 25 | 75 |
| Certo | Errado | Errado | Certo | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Errado | Certo | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Errado | Certo | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Errado | Certo | Ruim | Inadequado | 25 | 75 |
| Certo | Errado | Errado | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Errado | Errado | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Errado | Errado | Ruim | Adequado | 25 | 75 |
| Certo | Errado | Errado | Errado | Ruim | Inadequado | 1 | 99 |
| Errado | Certo | Certo | Certo | Boa | Adequado | 75 | 25 |
| Errado | Certo | Certo | Certo | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Certo | Certo | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Certo | Certo | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Errado | Certo | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Errado | Certo | Boa | Inadequado | 25 | 75 |
| Errado | Certo | Errado | Certo | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Errado | Certo | Ruim | Inadequado | 25 | 75 |
| Errado | Certo | Errado | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Errado | Errado | Boa | Inadequado | 25 | 75 |
| Errado | Certo | Errado | Errado | Ruim | Adequado | 25 | 75 |
| Errado | Certo | Errado | Errado | Ruim | Inadequado | 1 | 99 |
| Errado | Errado | Certo | Certo | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Certo | Certo | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Certo | Certo | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Certo | Certo | Ruim | Inadequado | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Errado | Certo | Ruim | Adequado | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Errado | Certo | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Errado | Certo | Boa | Inadequado | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Errado | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Errado | Errado | Boa | Inadequado | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Errado | Errado | Ruim | Adequado | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Errado | Errado | Ruim | Inadequado | 1 | 99 |
| Errado | Errado | Errado | Errado | Boa | Adequado | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Errado | Errado | Boa | Inadequado | 1 | 99 |
| Errado | Errado | Errado | Errado | Ruim | Adequado | 1 | 99 |
| Errado | Errado | Errado | Errado | Ruim | Inadequado | 1 | 99 |

Figura 137 – TPC para o nó TomadaDecisao.

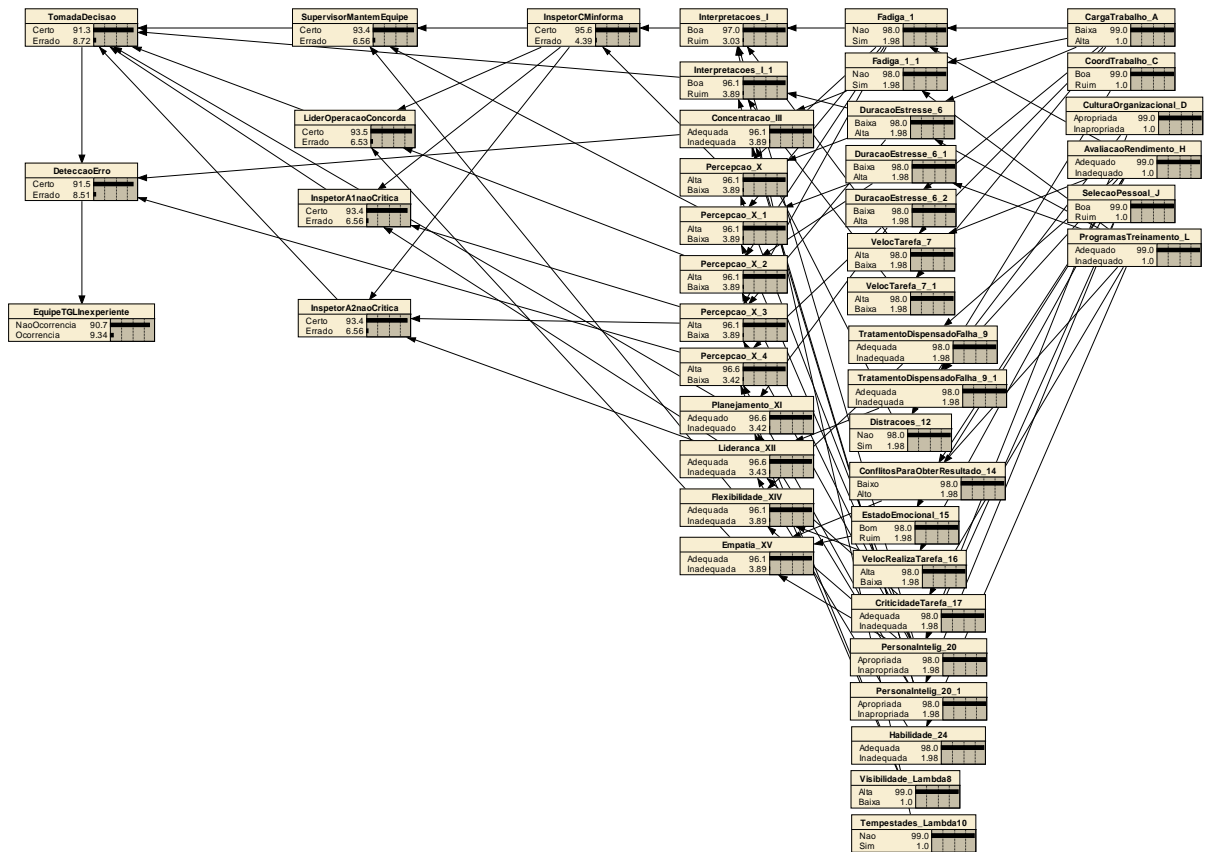


Figura 138 – Rede Bayesiana do Evento Básico (11) de falha na descarga devido à inexperiência de alguns integrantes da equipe do TGL.

As TPCs deste Evento Básico no que tange aos nós das atividades humanas são idênticas às TPC's anteriormente mostradas para o Evento Básico (10), com exceção do nó TomadaDecisao que segue na Figura 139.

| SupervisorMantemEquipe | LiderOperacaoConcorda | InspetorA1naoCritica | InspetorA2naoCritica | Interpretacoes_I_1 | Planejamento_XI | Certo | Errado |
|------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|-----------------|-------|--------|
| Certo | Certo | Certo | Certo | Boa | Adequado | 99 | 1 |
| Certo | Certo | Certo | Certo | Boa | Inadequado | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Certo | Certo | Ruim | Adequado | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Certo | Certo | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Certo | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Certo | Errado | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Certo | Errado | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Certo | Errado | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Certo | Boa | Adequado | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Errado | Certo | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Certo | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Certo | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Errado | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Errado | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Errado | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Certo | Certo | Boa | Adequado | 75 | 25 |
| Certo | Errado | Certo | Certo | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Certo | Certo | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Certo | Certo | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Certo | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Certo | Errado | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Certo | Errado | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Certo | Errado | Ruim | Inadequado | 25 | 75 |
| Certo | Errado | Errado | Certo | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Errado | Certo | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Errado | Certo | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Errado | Certo | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Errado | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Errado | Errado | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Errado | Errado | Ruim | Adequado | 25 | 75 |
| Certo | Errado | Errado | Errado | Ruim | Inadequado | 1 | 99 |
| Errado | Certo | Certo | Certo | Boa | Adequado | 75 | 25 |
| Errado | Certo | Certo | Certo | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Certo | Certo | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Certo | Certo | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Certo | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Certo | Errado | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Certo | Errado | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Certo | Errado | Ruim | Inadequado | 25 | 75 |
| Errado | Certo | Errado | Certo | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Errado | Certo | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Errado | Certo | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Errado | Certo | Ruim | Inadequado | 25 | 75 |
| Errado | Certo | Errado | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Errado | Errado | Boa | Inadequado | 25 | 75 |
| Errado | Certo | Errado | Errado | Ruim | Adequado | 25 | 75 |
| Errado | Certo | Errado | Errado | Ruim | Inadequado | 1 | 99 |
| Errado | Errado | Certo | Certo | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Certo | Certo | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Certo | Certo | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Certo | Certo | Ruim | Inadequado | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Certo | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Certo | Errado | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Certo | Errado | Ruim | Adequado | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Certo | Errado | Ruim | Inadequado | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Errado | Certo | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Errado | Certo | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Errado | Certo | Ruim | Adequado | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Errado | Certo | Ruim | Inadequado | 1 | 99 |
| Errado | Errado | Errado | Errado | Boa | Adequado | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Errado | Errado | Boa | Inadequado | 1 | 99 |
| Errado | Errado | Errado | Errado | Ruim | Adequado | 1 | 99 |
| Errado | Errado | Errado | Errado | Ruim | Inadequado | 1 | 99 |

Figura 139 – TPC para o nó TomadaDecisao.

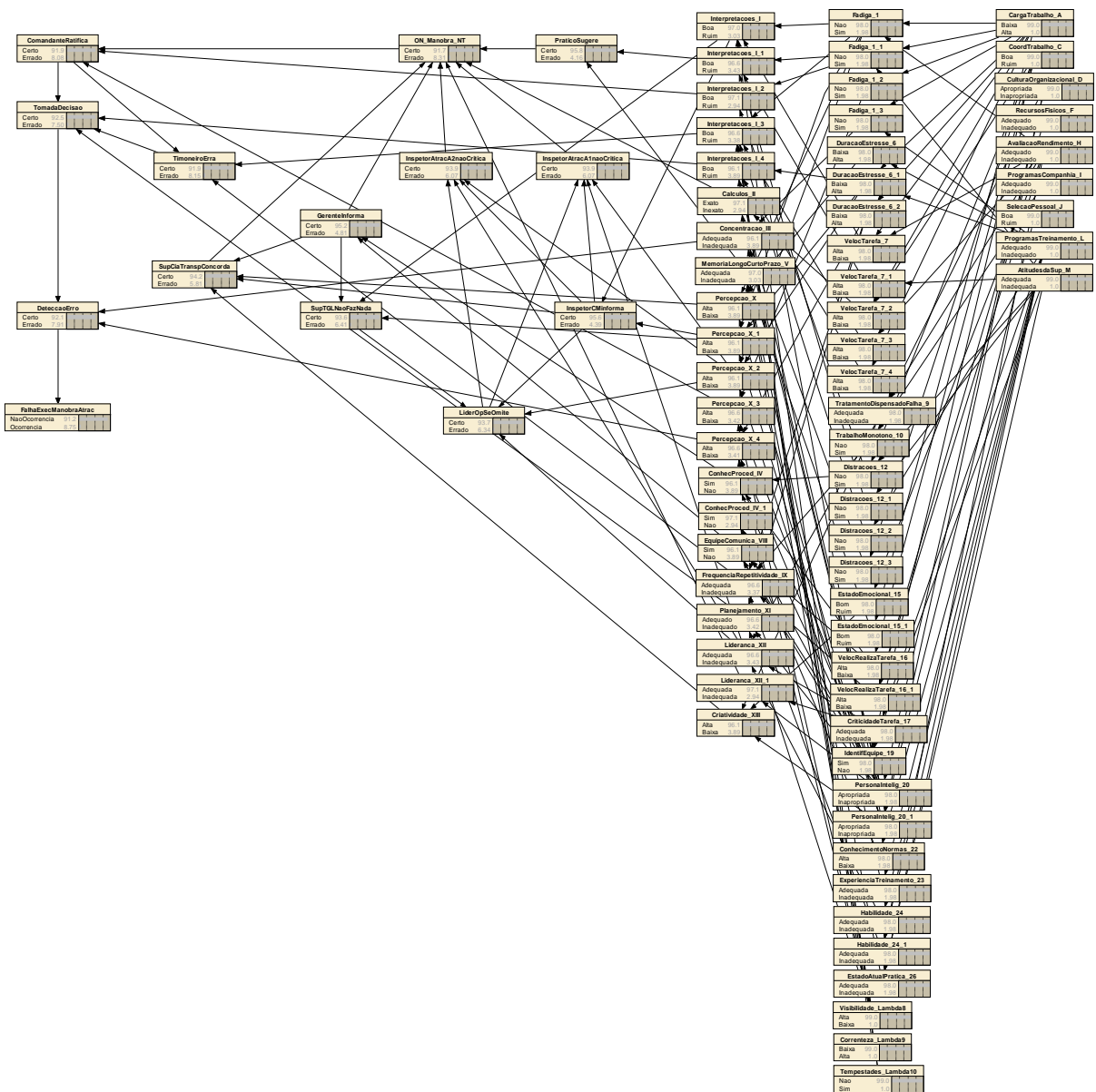


Figura 140 – Rede Bayesiana do Evento Básico (13) de falha na execução da manobra de atracação, e consequentemente da descarga, tanto da equipe do NT, quando da equipe do TGL, devido a pressões comerciais.

| Interpretacoes_I_1 | MemoriaLongoCurtoPrazo_V | Certo | Errado |
|--------------------|--------------------------|-------|--------|
| Boa | Adequada | 99 | 1 |
| Boa | Inadequada | 50 | 50 |
| Ruim | Adequada | 50 | 50 |
| Ruim | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 141 – TPC para o nó PraticoSugere.

| InspetorCMinforma | LiderOpSeOmite | Percepcao_X_2 | Lideranca_XII | Certo | Errado |
|-------------------|----------------|---------------|---------------|-------|--------|
| Certo | Certo | Alta | Adequada | 99 | 1 |
| Certo | Certo | Alta | Inadequada | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Baixa | Adequada | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Baixa | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Alta | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Alta | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Baixa | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Baixa | Inadequada | 25 | 75 |
| Errado | Certo | Alta | Adequada | 75 | 25 |
| Errado | Certo | Alta | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Baixa | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Baixa | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Alta | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Alta | Inadequada | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Baixa | Adequada | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Baixa | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 142 – TPC para o nó InpetorAtracA2naoCritica (que o mesmo de InspetorAtracA1naoCritica).

| ConhecProced_IV | EquipeComunica_VIII | Certo | Errado |
|-----------------|---------------------|-------|--------|
| Sim | Sim | 99 | 1 |
| Sim | Nao | 50 | 50 |
| Nao | Sim | 50 | 50 |
| Nao | Nao | 1 | 99 |

Figura 143 – TPC para o nó GerenteInforma.

| GerenteInforma | Interpretacoes_I | Percepcao_X_1 | Certo | Errado |
|----------------|------------------|---------------|-------|--------|
| Certo | Boa | Alta | 99 | 1 |
| Certo | Boa | Baixa | 50 | 50 |
| Certo | Ruim | Alta | 50 | 50 |
| Certo | Ruim | Baixa | 50 | 50 |
| Errado | Boa | Alta | 50 | 50 |
| Errado | Boa | Baixa | 1 | 99 |
| Errado | Ruim | Alta | 1 | 99 |
| Errado | Ruim | Baixa | 1 | 99 |

Figura 144 – TPC para o nó SupTGLNaoFazNada.

| GerenteInforma | InspetorCMinforma | Percepcao_X | Criatividade_XIII | Certo | Errado |
|----------------|-------------------|-------------|-------------------|-------|--------|
| Certo | Certo | Alta | Alta | 99 | 1 |
| Certo | Certo | Alta | Baixa | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Baixa | Alta | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Baixa | Baixa | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Alta | Alta | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Alta | Baixa | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Baixa | Alta | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Baixa | Baixa | 25 | 75 |
| Errado | Certo | Alta | Alta | 75 | 25 |
| Errado | Certo | Alta | Baixa | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Baixa | Alta | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Baixa | Baixa | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Alta | Alta | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Alta | Baixa | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Baixa | Alta | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Baixa | Baixa | 1 | 99 |

Figura 145 – TPC para o nó SupCiaTranspConcorda.

| InspetorCMinforma | SupTGLNaoFazNada | Percepcao_X_2 | Lideranca_XII | Certo | Errado |
|-------------------|------------------|---------------|---------------|-------|--------|
| Certo | Certo | Alta | Adequada | 99 | 1 |
| Certo | Certo | Alta | Inadequada | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Baixa | Adequada | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Baixa | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Alta | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Alta | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Baixa | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Baixa | Inadequada | 25 | 75 |
| Errado | Certo | Alta | Adequada | 75 | 25 |
| Errado | Certo | Alta | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Baixa | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Baixa | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Alta | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Alta | Inadequada | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Baixa | Adequada | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Baixa | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 146 – TPC para o nó LiderOpSeOmite.

| Interpretacoes_I | Percepcao_X_1 | Certo | Errado |
|------------------|---------------|-------|--------|
| Boa | Alta | 99 | 1 |
| Boa | Baixa | 50 | 50 |
| Ruim | Alta | 50 | 50 |
| Ruim | Baixa | 1 | 99 |

Figura 148 – TPC para o nó InspetorCMIInforma.

| ON_Manobra_NT | Interpretacoes_I_2 | Percepcao_X_3 | Certo | Errado |
|---------------|--------------------|---------------|-------|--------|
| Certo | Boa | Alta | 99 | 1 |
| Certo | Boa | Baixa | 50 | 50 |
| Certo | Ruim | Alta | 50 | 50 |
| Certo | Ruim | Baixa | 50 | 50 |
| Errado | Boa | Alta | 50 | 50 |
| Errado | Boa | Baixa | 1 | 99 |
| Errado | Ruim | Alta | 1 | 99 |
| Errado | Ruim | Baixa | 1 | 99 |

Figura 149 – TPC para o nó ComandanteRatifica.

| ComandanteRatifica | Interpretacoes_I_3 | FrequenciaRepetitividade_IX | Certo | Errado |
|--------------------|--------------------|-----------------------------|-------|--------|
| Certo | Boa | Adequada | 99 | 1 |
| Certo | Boa | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Ruim | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Ruim | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Boa | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Boa | Inadequada | 1 | 99 |
| Errado | Ruim | Adequada | 1 | 99 |
| Errado | Ruim | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 150 – TPC para o nó TimoneiroErra.

| ComandanteRatifica | TimoneiroErra | Interpretacoes_I_4 | Planejamento_XI | Certo | Errado |
|--------------------|---------------|--------------------|-----------------|-------|--------|
| Certo | Certo | Boa | Adequado | 99 | 1 |
| Certo | Certo | Boa | Inadequado | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Ruim | Adequado | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Ruim | Inadequado | 25 | 75 |
| Errado | Certo | Boa | Adequado | 75 | 25 |
| Errado | Certo | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Boa | Inadequado | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Ruim | Adequado | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Ruim | Inadequado | 1 | 99 |

Figura 151 – TPC para o nó TomadaDecisao.

| TomadaDecisao | Percepcao_X_4 | Concentracao_III | Certo | Errado |
|---------------|---------------|------------------|-------|--------|
| Certo | Alta | Adequada | 99 | 1 |
| Certo | Alta | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Baixa | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Baixa | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Alta | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Alta | Inadequada | 1 | 99 |
| Errado | Baixa | Adequada | 1 | 99 |
| Errado | Baixa | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 152 – TPC para o nó DeteccaoErro.

As TPCs deste Evento Básico no que tange aos nós das atividades humanas são idênticas às TPC's anteriormente mostradas para o Evento Básico (13), com exceção do nó ON_Manobra_NT, MarinheirosCumpremOrdem, TimoneiroCumpreOrdem, TomadaDecisao que seguem as Tabelas abaixo:

| PraticoSugere | Calculos_II | ConhecProced_IV | Lideranca_XII | Certo | Errado |
|---------------|-------------|-----------------|---------------|-------|--------|
| Certo | Exato | Sim | Adequada | 99 | 1 |
| Certo | Exato | Sim | Inadequada | 75 | 25 |
| Certo | Exato | Nao | Adequada | 75 | 25 |
| Certo | Exato | Nao | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Inexato | Sim | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Inexato | Sim | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Inexato | Nao | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Inexato | Nao | Inadequada | 25 | 75 |
| Errado | Exato | Sim | Adequada | 75 | 25 |
| Errado | Exato | Sim | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Exato | Nao | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Exato | Nao | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Inexato | Sim | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Inexato | Sim | Inadequada | 25 | 75 |
| Errado | Inexato | Nao | Adequada | 25 | 75 |
| Errado | Inexato | Nao | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 154 – TPC para o nó ON_Manobra_NT.

| ComandanteRatifica | Concentracao_III_1 | ResistenciaFisica_VI | Motricidade_VII | Adequada | Inadequa... |
|--------------------|--------------------|----------------------|-----------------|----------|-------------|
| Certo | Adequada | Adequada | Sim | 99 | 1 |
| Certo | Adequada | Adequada | Nao | 75 | 25 |
| Certo | Adequada | Inadequada | Sim | 75 | 25 |
| Certo | Adequada | Inadequada | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Inadequada | Adequada | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Inadequada | Adequada | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Inadequada | Inadequada | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Inadequada | Inadequada | Nao | 25 | 75 |
| Errado | Adequada | Adequada | Sim | 75 | 25 |
| Errado | Adequada | Adequada | Nao | 50 | 50 |
| Errado | Adequada | Inadequada | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Adequada | Inadequada | Nao | 50 | 50 |
| Errado | Inadequada | Adequada | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Inadequada | Adequada | Nao | 25 | 75 |
| Errado | Inadequada | Inadequada | Sim | 25 | 75 |
| Errado | Inadequada | Inadequada | Nao | 1 | 99 |

Figura 155 – TPC para o nó MarinheirosCumpremOrdem.

| ComandanteRatifica | Interpretacoes_I_2 | FrequenciaRepetitividade_IX | Certo | Errado |
|--------------------|--------------------|-----------------------------|-------|--------|
| Certo | Boa | Adequada | 99 | 1 |
| Certo | Boa | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Ruim | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Ruim | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Boa | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Boa | Inadequada | 1 | 99 |
| Errado | Ruim | Adequada | 1 | 99 |
| Errado | Ruim | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 156 – TPC para o nó TimoneiroCumpreOrdem.

| TimoneiroCumpreOrdem | ComandanteRatifica | Interpretacoes_I_3 | Planejamento_XI | MarinheirosCumpremOrdem | Certo | Errado |
|----------------------|--------------------|--------------------|-----------------|-------------------------|-------|--------|
| Certo | Certo | Boa | Adequado | Adequada | 99 | 1 |
| Certo | Certo | Boa | Adequado | Inadequada | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Boa | Inadequado | Adequada | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Boa | Inadequado | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Ruim | Adequado | Adequada | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Ruim | Adequado | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Ruim | Inadequado | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Ruim | Inadequado | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Boa | Adequado | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Boa | Adequado | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Boa | Inadequado | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Boa | Inadequado | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Ruim | Adequado | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Ruim | Adequado | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Ruim | Inadequado | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Ruim | Inadequado | Inadequada | 25 | 75 |
| Errado | Certo | Boa | Adequado | Adequada | 75 | 25 |
| Errado | Certo | Boa | Adequado | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Boa | Inadequado | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Boa | Inadequado | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Ruim | Adequado | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Ruim | Adequado | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Ruim | Inadequado | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Ruim | Inadequado | Inadequada | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Boa | Adequado | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Boa | Adequado | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Boa | Inadequado | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Boa | Inadequado | Inadequada | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Ruim | Adequado | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Ruim | Adequado | Inadequada | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Ruim | Inadequado | Adequada | 1 | 99 |
| Errado | Errado | Ruim | Inadequado | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 157 – TPC para o nó TomadaDecisao.

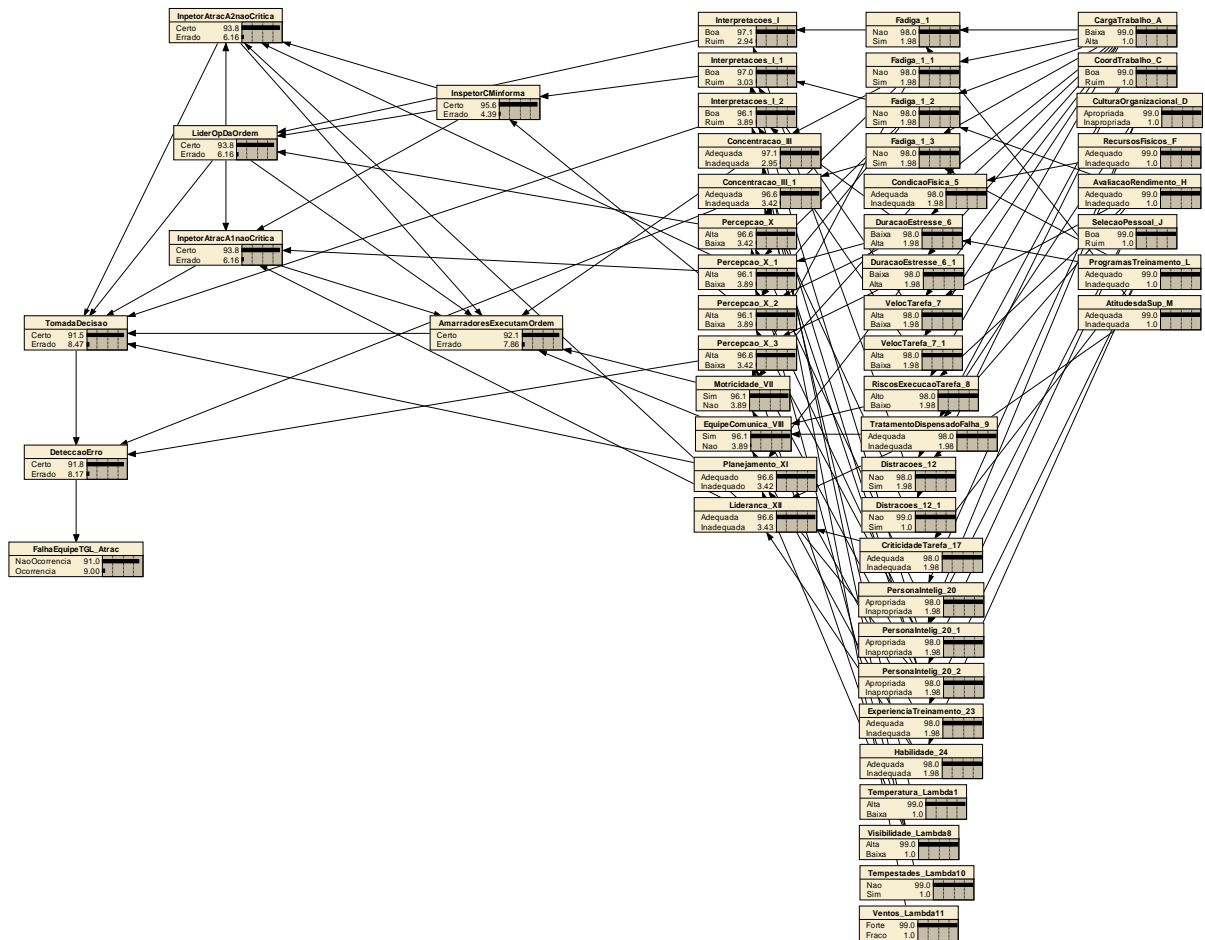


Figura 158 – Rede Bayesiana do Evento Básico (20) de falha na execução da equipe do TGL na manobra de atracação, e conseqüentemente da descarga, devido a outras questões.

| LiderOpDaOrdem | InpetorAtracA1naoCritica | InpetorAtracA2naoCritica | Concentracao_III | Motricidade_VII | EquipeComunica_VIII | Certo | Errado |
|----------------|--------------------------|--------------------------|------------------|-----------------|---------------------|-------|--------|
| Certo | Certo | Certo | Adequada | Sim | Sim | 99 | 1 |
| Certo | Certo | Certo | Adequada | Sim | Nao | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Certo | Adequada | Nao | Sim | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Certo | Adequada | Nao | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Certo | Inadequada | Sim | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Certo | Inadequada | Sim | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Certo | Inadequada | Nao | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Certo | Inadequada | Nao | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Adequada | Sim | Sim | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Errado | Adequada | Sim | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Adequada | Nao | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Adequada | Nao | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Inadequada | Sim | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Inadequada | Sim | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Inadequada | Nao | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Inadequada | Nao | Nao | 25 | 75 |
| Certo | Certo | Errado | Adequada | Sim | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Adequada | Sim | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Adequada | Nao | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Adequada | Nao | Nao | 25 | 75 |
| Certo | Certo | Errado | Inadequada | Sim | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Inadequada | Sim | Nao | 25 | 75 |
| Certo | Certo | Errado | Inadequada | Nao | Sim | 1 | 99 |
| Errado | Certo | Certo | Adequada | Sim | Sim | 75 | 25 |
| Errado | Certo | Certo | Adequada | Sim | Nao | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Certo | Adequada | Nao | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Certo | Adequada | Nao | Nao | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Certo | Inadequada | Sim | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Certo | Inadequada | Sim | Nao | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Certo | Inadequada | Nao | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Certo | Inadequada | Nao | Nao | 25 | 75 |
| Errado | Certo | Errado | Adequada | Sim | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Errado | Adequada | Sim | Nao | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Errado | Adequada | Nao | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Errado | Adequada | Nao | Nao | 25 | 75 |
| Errado | Certo | Errado | Inadequada | Sim | Sim | 25 | 75 |
| Errado | Certo | Errado | Inadequada | Sim | Nao | 25 | 75 |
| Errado | Certo | Errado | Inadequada | Nao | Sim | 25 | 75 |
| Errado | Certo | Errado | Inadequada | Nao | Nao | 1 | 99 |
| Errado | Errado | Certo | Adequada | Sim | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Certo | Adequada | Sim | Nao | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Certo | Adequada | Nao | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Certo | Adequada | Nao | Nao | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Certo | Inadequada | Sim | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Certo | Inadequada | Sim | Nao | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Certo | Inadequada | Nao | Sim | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Certo | Inadequada | Nao | Nao | 1 | 99 |
| Errado | Errado | Errado | Adequada | Sim | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Errado | Adequada | Sim | Nao | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Errado | Adequada | Nao | Sim | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Errado | Adequada | Nao | Nao | 1 | 99 |
| Errado | Errado | Errado | Inadequada | Sim | Sim | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Errado | Inadequada | Sim | Nao | 1 | 99 |
| Errado | Errado | Errado | Inadequada | Nao | Sim | 1 | 99 |
| Errado | Errado | Errado | Inadequada | Nao | Nao | 1 | 99 |

Figura 159 – TPC para o nó AmarradoresExecutamOrdem.

| InspetorCMinforma | Interpretacoes_I | Percepcao_X | Certo | Errado |
|-------------------|------------------|-------------|-------|--------|
| Certo | Boa | Alta | 99 | 1 |
| Certo | Boa | Baixa | 50 | 50 |
| Certo | Ruim | Alta | 50 | 50 |
| Certo | Ruim | Baixa | 50 | 50 |
| Errado | Boa | Alta | 50 | 50 |
| Errado | Boa | Baixa | 1 | 99 |
| Errado | Ruim | Alta | 1 | 99 |
| Errado | Ruim | Baixa | 1 | 99 |

Figura 160 – TPC para o nó LiderOpdaOrdem.

| InspetorCMinforma | LiderOpDaOrdem | Percepcao_X_1 | Lideranca_XII | Certo | Errado |
|-------------------|----------------|---------------|---------------|-------|--------|
| Certo | Certo | Alta | Adequada | 99 | 1 |
| Certo | Certo | Alta | Inadequada | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Baixa | Adequada | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Baixa | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Alta | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Alta | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Baixa | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Baixa | Inadequada | 25 | 75 |
| Errado | Certo | Alta | Adequada | 75 | 25 |
| Errado | Certo | Alta | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Baixa | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Baixa | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Alta | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Alta | Inadequada | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Baixa | Adequada | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Baixa | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 161 – TPC para o nó InspetorAtracA1naoCritica (que é o mesmo para InspetorAtracA2naoCritica).

| LiderOpDaOrdem | AmarradoresExecutamOrdem | InspetorAtracA2naoCritica | InspetorAtracA1naoCritica | Interpretacoes_I_2 | Planejamento_XI | Certo | Errado |
|----------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------|-----------------|-------|--------|
| Certo | Certo | Certo | Adequada | Sim | Sim | 99 | 1 |
| Certo | Certo | Certo | Adequada | Sim | Nao | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Certo | Adequada | Nao | Sim | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Certo | Adequada | Nao | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Certo | Inadequada | Sim | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Certo | Inadequada | Sim | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Certo | Inadequada | Nao | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Certo | Inadequada | Nao | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Adequada | Sim | Sim | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Errado | Adequada | Sim | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Adequada | Nao | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Adequada | Nao | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Inadequada | Sim | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Inadequada | Sim | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Inadequada | Nao | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Inadequada | Nao | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Certo | Adequada | Sim | Sim | 75 | 25 |
| Certo | Errado | Certo | Adequada | Sim | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Certo | Adequada | Sim | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Certo | Adequada | Nao | Nao | 25 | 75 |
| Certo | Errado | Errado | Adequada | Sim | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Errado | Adequada | Sim | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Errado | Adequada | Nao | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Errado | Adequada | Nao | Nao | 25 | 75 |
| Certo | Errado | Errado | Inadequada | Sim | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Errado | Inadequada | Sim | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Errado | Inadequada | Nao | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Errado | Inadequada | Nao | Nao | 25 | 75 |
| Certo | Errado | Errado | Inadequada | Sim | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Errado | Inadequada | Nao | Nao | 1 | 99 |
| Errado | Certo | Certo | Adequada | Sim | Sim | 75 | 25 |
| Errado | Certo | Certo | Adequada | Sim | Nao | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Certo | Adequada | Nao | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Certo | Adequada | Nao | Nao | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Certo | Inadequada | Sim | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Certo | Inadequada | Sim | Nao | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Certo | Inadequada | Nao | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Certo | Inadequada | Nao | Nao | 25 | 75 |
| Errado | Certo | Errado | Adequada | Sim | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Errado | Adequada | Sim | Nao | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Errado | Adequada | Sim | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Errado | Adequada | Nao | Nao | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Errado | Adequada | Nao | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Errado | Adequada | Nao | Nao | 25 | 75 |
| Errado | Certo | Errado | Inadequada | Sim | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Errado | Inadequada | Sim | Nao | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Errado | Inadequada | Nao | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Errado | Inadequada | Nao | Nao | 25 | 75 |
| Errado | Certo | Errado | Inadequada | Sim | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Errado | Inadequada | Sim | Nao | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Errado | Inadequada | Nao | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Errado | Inadequada | Nao | Nao | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Certo | Adequada | Sim | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Certo | Adequada | Sim | Nao | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Certo | Adequada | Nao | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Certo | Adequada | Nao | Nao | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Errado | Adequada | Sim | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Errado | Adequada | Sim | Nao | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Errado | Adequada | Nao | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Errado | Adequada | Nao | Nao | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Errado | Inadequada | Sim | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Errado | Inadequada | Sim | Nao | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Errado | Inadequada | Nao | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Errado | Inadequada | Nao | Nao | 1 | 99 |
| Errado | Errado | Errado | Inadequada | Sim | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Errado | Adequada | Sim | Nao | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Errado | Adequada | Nao | Sim | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Errado | Adequada | Nao | Nao | 1 | 99 |
| Errado | Errado | Errado | Inadequada | Sim | Sim | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Errado | Inadequada | Sim | Nao | 1 | 99 |
| Errado | Errado | Errado | Inadequada | Nao | Sim | 1 | 99 |
| Errado | Errado | Errado | Inadequada | Nao | Nao | 1 | 99 |

Figura 162 – TPC para o nó TomadaDecisao.

| TomadaDecisao | Concentracao_III_1 | Percepcao_X_3 | Certo | Errado |
|---------------|--------------------|---------------|-------|--------|
| Certo | Adequada | Alta | 99 | 1 |
| Certo | Adequada | Baixa | 50 | 50 |
| Certo | Inadequada | Alta | 50 | 50 |
| Certo | Inadequada | Baixa | 50 | 50 |
| Errado | Adequada | Alta | 50 | 50 |
| Errado | Adequada | Baixa | 1 | 99 |
| Errado | Inadequada | Alta | 1 | 99 |
| Errado | Inadequada | Baixa | 1 | 99 |

Figura 163 – TPC para o nó DeteccaoErro.

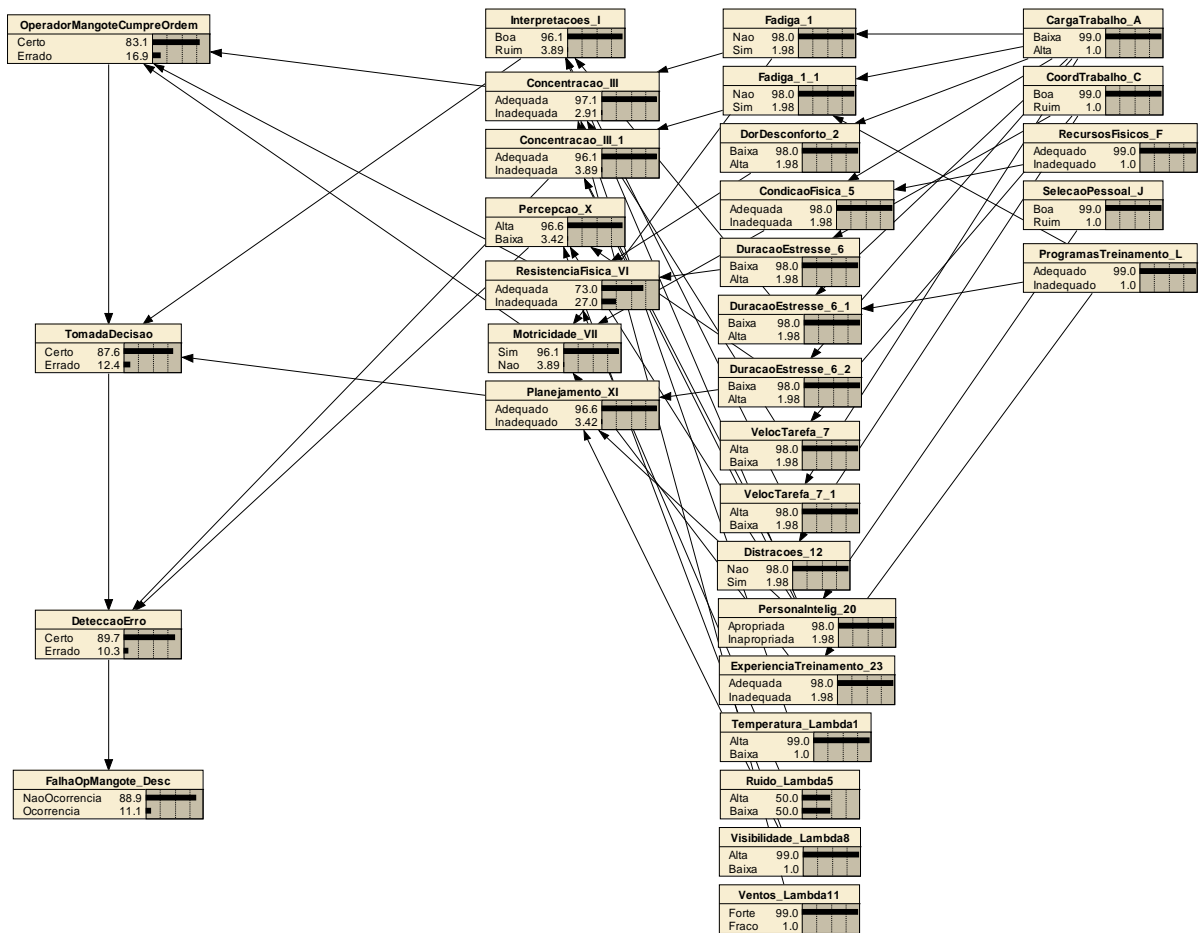


Figura 164 – Rede Bayesiana do Evento Básico (21) de falha do operador do mangote, marinho do NT.

| Concentracao_III | Motricidade_VII | ResistenciaFisica_VI | Certo | Errado |
|------------------|-----------------|----------------------|-------|--------|
| Adequada | Sim | Adequada | 99 | 1 |
| Adequada | Sim | Inadequada | 50 | 50 |
| Adequada | Nao | Adequada | 50 | 50 |
| Adequada | Nao | Inadequada | 50 | 50 |
| Inadequada | Sim | Adequada | 50 | 50 |
| Inadequada | Sim | Inadequada | 1 | 99 |
| Inadequada | Nao | Adequada | 1 | 99 |
| Inadequada | Nao | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 165 – TPC para o nó OperadorMangoteCumpreOrdem.

| OperadorMangoteCumpreOrdem | Interpretacoes_I | Planejamento_XI | Certo | Errado |
|----------------------------|------------------|-----------------|-------|--------|
| Certo | Boa | Adequado | 99 | 1 |
| Certo | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Boa | Inadequado | 1 | 99 |
| Errado | Ruim | Adequado | 1 | 99 |
| Errado | Ruim | Inadequado | 1 | 99 |

Figura 166 – TPC para o nó TomadaDecisao.

| TomadaDecisao | Concentracao_III_1 | Percepcao_X | Certo | Errado |
|---------------|--------------------|-------------|-------|--------|
| Certo | Adequada | Alta | 99 | 1 |
| Certo | Adequada | Baixa | 50 | 50 |
| Certo | Inadequada | Alta | 50 | 50 |
| Certo | Inadequada | Baixa | 50 | 50 |
| Errado | Adequada | Alta | 50 | 50 |
| Errado | Adequada | Baixa | 1 | 99 |
| Errado | Inadequada | Alta | 1 | 99 |
| Errado | Inadequada | Baixa | 1 | 99 |

Figura 167 – TPC para o nó DeteccaoErro.

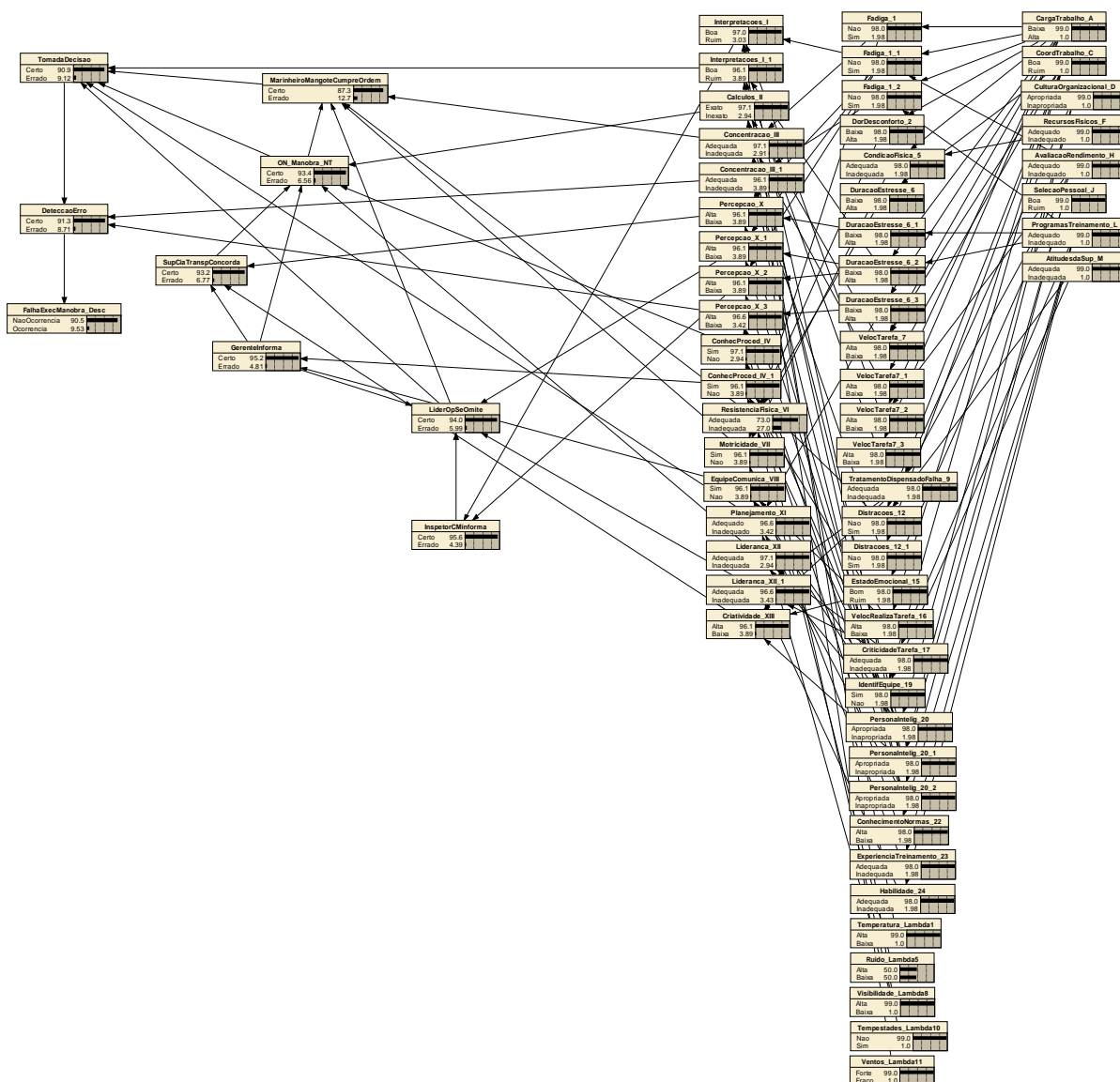


Figura 168 – Rede Bayesiana do Evento Básico (25) de falha na manobra de descarga, tanto da equipe do NT, quanto da equipe do TGL, devido a pressões comerciais.

| LiderOpSeOmite | ON_Manobra_NT | Concentracao_III | ResistenciaFisica_VI | Motricidade_VII | Certo | Errado |
|----------------|---------------|------------------|----------------------|-----------------|-------|--------|
| Certo | Certo | Adequada | Adequada | Sim | 99 | 1 |
| Certo | Certo | Adequada | Adequada | Nao | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Adequada | Inadequada | Sim | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Adequada | Inadequada | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Inadequada | Adequada | Sim | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Inadequada | Adequada | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Inadequada | Inadequada | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Inadequada | Inadequada | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Adequada | Adequada | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Adequada | Adequada | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Adequada | Inadequada | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Adequada | Inadequada | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Inadequada | Adequada | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Inadequada | Adequada | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Inadequada | Inadequada | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Inadequada | Inadequada | Nao | 25 | 75 |
| Errado | Certo | Adequada | Adequada | Sim | 75 | 25 |
| Errado | Certo | Adequada | Adequada | Nao | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Adequada | Inadequada | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Adequada | Inadequada | Nao | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Inadequada | Adequada | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Inadequada | Adequada | Nao | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Inadequada | Inadequada | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Inadequada | Inadequada | Nao | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Adequada | Adequada | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Adequada | Adequada | Nao | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Adequada | Inadequada | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Adequada | Inadequada | Nao | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Inadequada | Adequada | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Inadequada | Adequada | Nao | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Inadequada | Inadequada | Sim | 1 | 99 |
| Errado | Errado | Inadequada | Inadequada | Nao | 1 | 99 |

Figura 169 – TPC para o nó MarinheiroMangoteCumpreOrdem.

| GerenteInforma | SupCiaTranspConcorda | Calculos_II | ConhecProced_IV | Lideranca_XII | Certo | Errado |
|----------------|----------------------|-------------|-----------------|---------------|-------|--------|
| Certo | Certo | Exato | Sim | Adequada | 99 | 1 |
| Certo | Certo | Exato | Sim | Inadequada | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Exato | Nao | Adequada | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Exato | Nao | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Inexato | Sim | Adequada | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Inexato | Sim | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Inexato | Nao | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Inexato | Nao | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Exato | Sim | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Exato | Sim | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Exato | Nao | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Exato | Nao | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Inexato | Sim | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Inexato | Sim | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Inexato | Nao | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Inexato | Nao | Inadequada | 25 | 75 |
| Errado | Certo | Exato | Sim | Adequada | 75 | 25 |
| Errado | Certo | Exato | Sim | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Exato | Nao | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Exato | Nao | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Inexato | Sim | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Inexato | Sim | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Inexato | Nao | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Inexato | Nao | Inadequada | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Exato | Sim | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Exato | Sim | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Exato | Nao | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Exato | Nao | Inadequada | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Inexato | Sim | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Inexato | Sim | Inadequada | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Inexato | Nao | Adequada | 1 | 99 |
| Errado | Errado | Inexato | Nao | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 170 – TPC para o nó ON_Manobra_NT.

| ConhecProced_IV_1 | EquipeComunica_VIII | Certo | Errado |
|-------------------|---------------------|-------|--------|
| Sim | Sim | 99 | 1 |
| Sim | Nao | 50 | 50 |
| Nao | Sim | 50 | 50 |
| Nao | Nao | 1 | 99 |

Figura 171 – TPC para o nó GerenteInforma.

| GerenteInforma | Percepcao_X | Criatividade_XIII | Certo | Errado |
|----------------|-------------|-------------------|-------|--------|
| Certo | Alta | Alta | 99 | 1 |
| Certo | Alta | Baixa | 50 | 50 |
| Certo | Baixa | Alta | 50 | 50 |
| Certo | Baixa | Baixa | 50 | 50 |
| Errado | Alta | Alta | 50 | 50 |
| Errado | Alta | Baixa | 1 | 99 |
| Errado | Baixa | Alta | 1 | 99 |
| Errado | Baixa | Baixa | 1 | 99 |

Figura 172 – TPC para o nó SupCiaTranspConcorda.

| InspetorCMinforma | GerenteInforma | Percepcao_X_1 | Lideranca_XII_1 | Certo | Errado |
|-------------------|----------------|---------------|-----------------|-------|--------|
| Certo | Certo | Alta | Adequada | 99 | 1 |
| Certo | Certo | Alta | Inadequada | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Baixa | Adequada | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Baixa | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Alta | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Alta | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Baixa | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Baixa | Inadequada | 25 | 75 |
| Errado | Certo | Alta | Adequada | 75 | 25 |
| Errado | Certo | Alta | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Baixa | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Baixa | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Alta | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Alta | Inadequada | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Baixa | Adequada | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Baixa | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 173 – TPC para o nó LiderOpSeOmite.

| Interpretacoes_I | Percepcao_X_2 | Certo | Errado |
|------------------|---------------|-------|--------|
| Boa | Alta | 99 | 1 |
| Boa | Baixa | 50 | 50 |
| Ruim | Alta | 50 | 50 |
| Ruim | Baixa | 1 | 99 |

Figura 174 – TPC para o nó InspetorCMinforma.

| MarinheiroMangoteCumpreOrd... | ON_Manobra_NT | LiderOpSeOmite | Interpretacoes_I_1 | Planejamento_XI | Certo | Errado |
|-------------------------------|---------------|----------------|--------------------|-----------------|-------|--------|
| Certo | Certo | Certo | Boa | Adequado | 99 | 1 |
| Certo | Certo | Certo | Boa | Inadequado | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Certo | Ruim | Adequado | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Certo | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Boa | Adequado | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Errado | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Certo | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Certo | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Certo | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Certo | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Errado | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Errado | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Errado | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Errado | Ruim | Inadequado | 25 | 75 |
| Errado | Certo | Certo | Boa | Adequado | 75 | 25 |
| Errado | Certo | Certo | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Certo | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Certo | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Errado | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Errado | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Errado | Ruim | Inadequado | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Certo | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Certo | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Certo | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Certo | Ruim | Inadequado | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Errado | Boa | Inadequado | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Errado | Ruim | Adequado | 1 | 99 |
| Errado | Errado | Errado | Ruim | Inadequado | 1 | 99 |

Figura 175 – TPC para o nó TomadaDecisao.

| TomadaDecisao | Concentracao_III_1 | Percepcao_X_3 | Certo | Errado |
|---------------|--------------------|---------------|-------|--------|
| Certo | Adequada | Alta | 99 | 1 |
| Certo | Adequada | Baixa | 50 | 50 |
| Certo | Inadequada | Alta | 50 | 50 |
| Certo | Inadequada | Baixa | 50 | 50 |
| Errado | Adequada | Alta | 50 | 50 |
| Errado | Adequada | Baixa | 1 | 99 |
| Errado | Inadequada | Alta | 1 | 99 |
| Errado | Inadequada | Baixa | 1 | 99 |

Figura 176 – TPC para o nó DeteccaoErro.

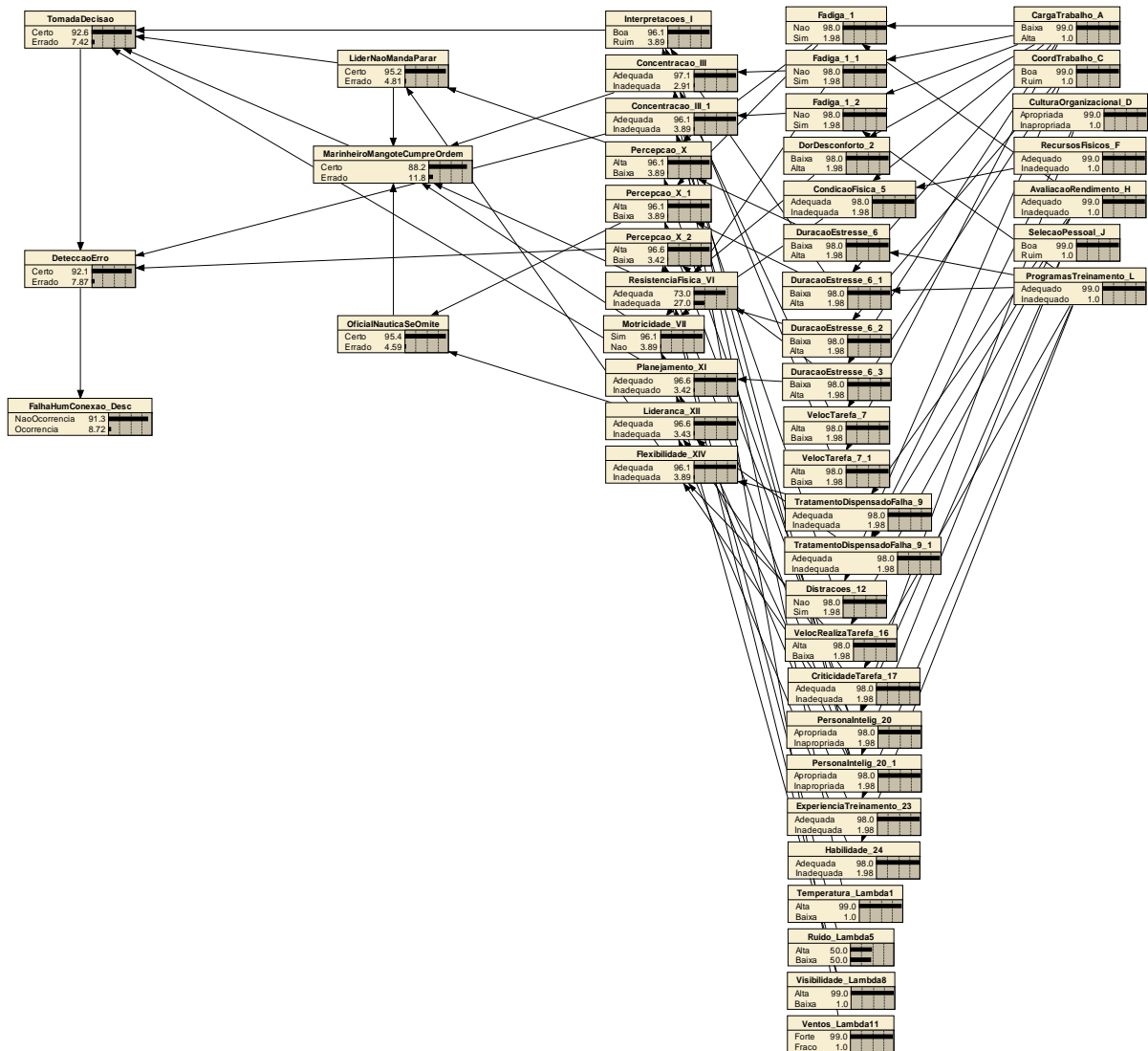


Figura 177 – Rede Bayesiana do Evento Básico (26) de falha na operação de conexão do manifold com o navio-tanque, tanto da equipe do NT, quanto da equipe do TGL.

| Percepcao_X | Flexibilidade_XIV | Certo | Errado |
|-------------|-------------------|-------|--------|
| Alta | Adequada | 99 | 1 |
| Alta | Inadequada | 50 | 50 |
| Baixa | Adequada | 50 | 50 |
| Baixa | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 178 – TPC para o nó LiderNaoMandaParar.

| LiderNaoMandaParar | OficialNauticaSeOmite | Concentracao_III | ResistenciaFisica_VI | Motricidade_VII | Certo | Errado |
|--------------------|-----------------------|------------------|----------------------|-----------------|-------|--------|
| Certo | Certo | Adequada | Adequada | Sim | 99 | 1 |
| Certo | Certo | Adequada | Adequada | Nao | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Adequada | Inadequada | Sim | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Adequada | Inadequada | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Inadequada | Adequada | Sim | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Inadequada | Adequada | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Inadequada | Inadequada | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Inadequada | Inadequada | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Adequada | Adequada | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Adequada | Adequada | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Adequada | Inadequada | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Adequada | Inadequada | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Inadequada | Adequada | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Inadequada | Adequada | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Inadequada | Inadequada | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Inadequada | Inadequada | Nao | 25 | 75 |
| Errado | Certo | Adequada | Adequada | Sim | 75 | 25 |
| Errado | Certo | Adequada | Adequada | Nao | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Inadequada | Adequada | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Inadequada | Adequada | Nao | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Inadequada | Inadequada | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Inadequada | Inadequada | Nao | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Adequada | Adequada | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Adequada | Adequada | Nao | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Adequada | Inadequada | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Adequada | Inadequada | Nao | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Inadequada | Adequada | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Inadequada | Adequada | Nao | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Inadequada | Inadequada | Sim | 1 | 99 |
| Errado | Errado | Inadequada | Inadequada | Nao | 1 | 99 |

Figura 179 – TPC para o nó MarinheiroMangoteCumpreOrdem.

| Percepcao_X_1 | Lideranca_XII | Certo | Errado |
|---------------|---------------|-------|--------|
| Alta | Adequada | 99 | 1 |
| Alta | Inadequada | 50 | 50 |
| Baixa | Adequada | 50 | 50 |
| Baixa | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 180 – TPC para o nó OficialNauticaSeOmite.

| MarinheiroMangoteCumpreOrd... | LiderNaoMandaParar | Interpretacoes_I | Planejamento_XI | Certo | Errado |
|-------------------------------|--------------------|------------------|-----------------|-------|--------|
| Certo | Certo | Boa | Adequado | 99 | 1 |
| Certo | Certo | Boa | Inadequado | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Ruim | Adequado | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Ruim | Inadequado | 25 | 75 |
| Errado | Certo | Boa | Adequado | 75 | 25 |
| Errado | Certo | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Boa | Inadequado | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Ruim | Adequado | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Ruim | Inadequado | 1 | 99 |

Figura 181 – TPC para o nó TomadaDecisao.

| TomadaDecisao | Concentracao_III_1 | Percepcao_X_2 | Certo | Errado |
|---------------|--------------------|---------------|-------|--------|
| Certo | Adequada | Alta | 99 | 1 |
| Certo | Adequada | Baixa | 50 | 50 |
| Certo | Inadequada | Alta | 50 | 50 |
| Certo | Inadequada | Baixa | 50 | 50 |
| Errado | Adequada | Alta | 50 | 50 |
| Errado | Adequada | Baixa | 1 | 99 |
| Errado | Inadequada | Alta | 1 | 99 |
| Errado | Inadequada | Baixa | 1 | 99 |

Figura 182 – TPC para o nó DeteccaoErro.

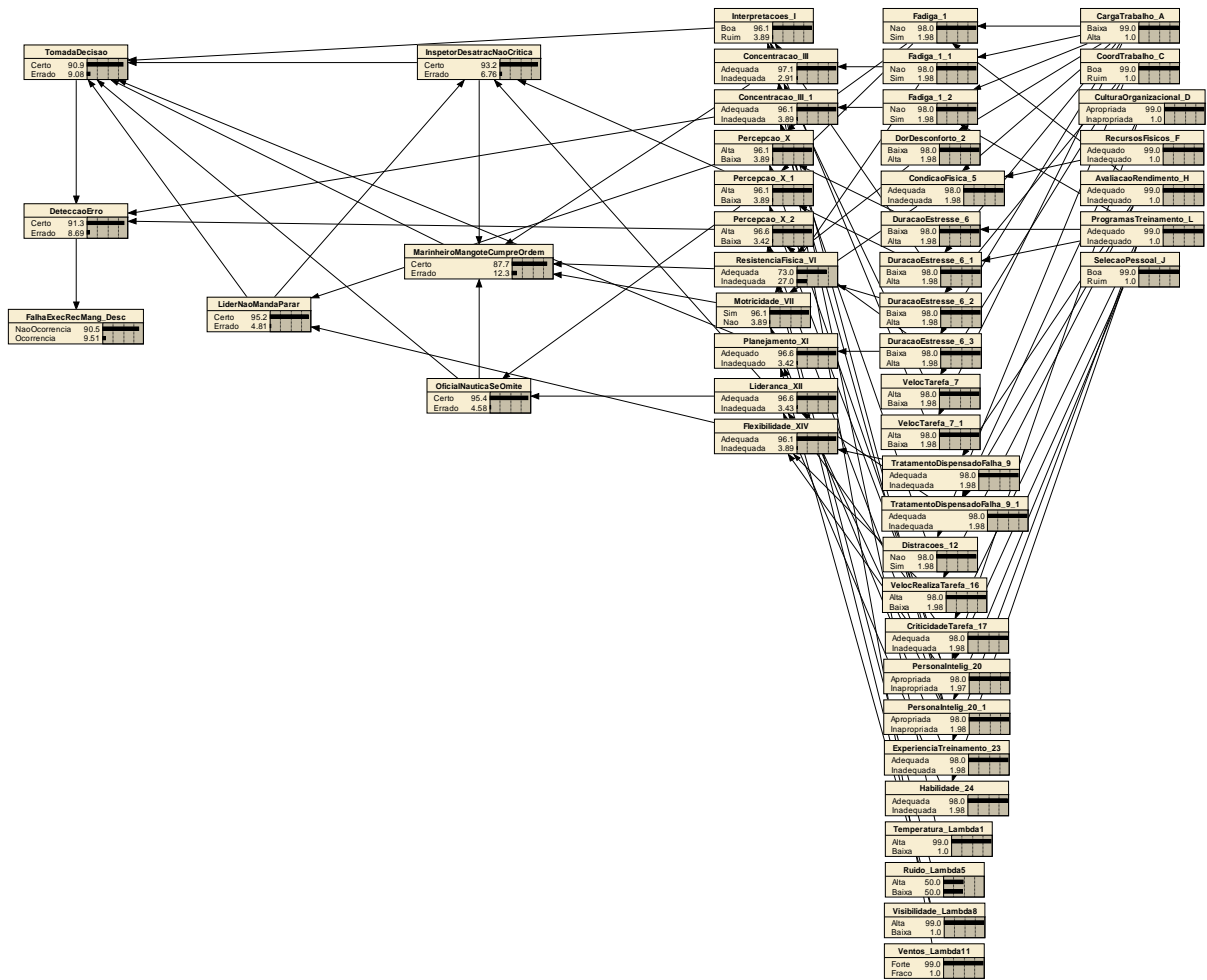


Figura 183 – Rede Bayesiana do Evento Básico (29) de falha na manobra de recolhimento do mangote, tanto da equipe do NT, quanto da equipe do TGL, devido a pressões comerciais.

| OficialNauticaSeOmite | InspetorDesatracNaoCritica | Concentracao_III | ResistenciaFisica_VI | Motricidade_VII | Certo | Errado |
|-----------------------|----------------------------|------------------|----------------------|-----------------|-------|--------|
| Certo | Certo | Adequada | Adequada | Sim | 99 | 1 |
| Certo | Certo | Adequada | Adequada | Nao | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Adequada | Inadequada | Sim | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Adequada | Inadequada | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Inadequada | Adequada | Sim | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Inadequada | Adequada | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Inadequada | Inadequada | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Inadequada | Inadequada | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Adequada | Adequada | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Adequada | Adequada | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Adequada | Inadequada | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Adequada | Inadequada | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Inadequada | Adequada | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Inadequada | Adequada | Nao | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Inadequada | Inadequada | Sim | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Inadequada | Inadequada | Nao | 25 | 75 |
| Errado | Certo | Adequada | Adequada | Sim | 75 | 25 |
| Errado | Certo | Adequada | Adequada | Nao | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Adequada | Inadequada | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Adequada | Inadequada | Nao | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Inadequada | Adequada | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Inadequada | Adequada | Nao | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Inadequada | Inadequada | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Inadequada | Inadequada | Nao | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Adequada | Adequada | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Adequada | Adequada | Nao | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Adequada | Inadequada | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Adequada | Inadequada | Nao | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Inadequada | Adequada | Sim | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Inadequada | Adequada | Nao | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Inadequada | Inadequada | Sim | 1 | 99 |
| Errado | Errado | Inadequada | Inadequada | Nao | 1 | 99 |

Figura 184 – TPC para o nó MarinheiroMangoteCumpreOrdem.

| LiderNaoMandaParar | Percepcao_X_1 | Lideranca_XII | Certo | Errado |
|--------------------|---------------|---------------|-------|--------|
| Certo | Alta | Adequada | 99 | 1 |
| Certo | Alta | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Baixa | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Baixa | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Alta | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Alta | Inadequada | 1 | 99 |
| Errado | Baixa | Adequada | 1 | 99 |
| Errado | Baixa | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 185 – TPC para o nó InspetoDesatracNaoCritica.

| Percepcao_X_1 | Lideranca_XII | Certo | Errado |
|---------------|---------------|-------|--------|
| Alta | Adequada | 99 | 1 |
| Alta | Inadequada | 50 | 50 |
| Baixa | Adequada | 50 | 50 |
| Baixa | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 186 – TPC para o nó OficialNauticaSeOmite.

| Percepcao_X | Flexibilidade_XIV | Certo | Errado |
|-------------|-------------------|-------|--------|
| Alta | Adequada | 99 | 1 |
| Alta | Inadequada | 50 | 50 |
| Baixa | Adequada | 50 | 50 |
| Baixa | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 187 – TPC para o nó LiderNaoMandaParar.

| MarinheiroMangoteCumpreOrd... | LiderNaoMandaParar | OficialNauticaSeOmite | InspetorDesatracNaoCritica | Interpretacoes_I | Planejamento_XI | Certo | Errado |
|-------------------------------|--------------------|-----------------------|----------------------------|------------------|-----------------|-------|--------|
| Certo | Certo | Certo | Certo | Boa | Adequado | 99 | 1 |
| Certo | Certo | Certo | Certo | Boa | Inadequado | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Certo | Certo | Ruim | Adequado | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Certo | Certo | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Certo | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Certo | Errado | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Certo | Errado | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Certo | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Certo | Boa | Inadequado | 75 | 25 |
| Certo | Certo | Errado | Certo | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Certo | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Errado | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Errado | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Certo | Errado | Errado | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Certo | Certo | Boa | Adequado | 75 | 25 |
| Certo | Errado | Certo | Certo | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Certo | Certo | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Certo | Certo | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Certo | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Certo | Errado | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Certo | Errado | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Certo | Errado | Ruim | Inadequado | 25 | 75 |
| Certo | Errado | Errado | Certo | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Errado | Certo | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Errado | Certo | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Errado | Certo | Ruim | Inadequado | 25 | 75 |
| Certo | Errado | Errado | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Errado | Errado | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certo | Errado | Errado | Errado | Ruim | Adequado | 25 | 75 |
| Certo | Errado | Errado | Errado | Ruim | Inadequado | 1 | 99 |
| Errado | Certo | Certo | Certo | Boa | Adequado | 75 | 25 |
| Errado | Certo | Certo | Certo | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Certo | Certo | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Certo | Certo | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Certo | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Certo | Errado | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Certo | Errado | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Certo | Errado | Ruim | Inadequado | 25 | 75 |
| Errado | Certo | Errado | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Certo | Errado | Errado | Boa | Inadequado | 25 | 75 |
| Errado | Certo | Errado | Errado | Ruim | Adequado | 25 | 75 |
| Errado | Certo | Errado | Errado | Ruim | Inadequado | 1 | 99 |
| Errado | Errado | Certo | Certo | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Certo | Certo | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Certo | Certo | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Certo | Certo | Ruim | Inadequado | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Certo | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Certo | Errado | Boa | Inadequado | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Certo | Errado | Ruim | Adequado | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Certo | Errado | Ruim | Inadequado | 1 | 99 |
| Errado | Errado | Errado | Certo | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errado | Errado | Errado | Certo | Boa | Inadequado | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Errado | Certo | Ruim | Adequado | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Errado | Certo | Ruim | Inadequado | 1 | 99 |
| Errado | Errado | Errado | Errado | Boa | Adequado | 25 | 75 |
| Errado | Errado | Errado | Errado | Boa | Inadequado | 1 | 99 |
| Errado | Errado | Errado | Errado | Ruim | Adequado | 1 | 99 |
| Errado | Errado | Errado | Errado | Ruim | Inadequado | 1 | 99 |

Figura 188 – TPC para o nó TomadaDecisao.

| TomadaDecisao | Percepcao_X_2 | Concentracao_III_1 | Certo | Errado |
|---------------|---------------|--------------------|-------|--------|
| Certo | Alta | Adequada | 99 | 1 |
| Certo | Alta | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Baixa | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Baixa | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Alta | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Alta | Inadequada | 1 | 99 |
| Errado | Baixa | Adequada | 1 | 99 |
| Errado | Baixa | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 189 – TPC para o nó DeteccaoErro.

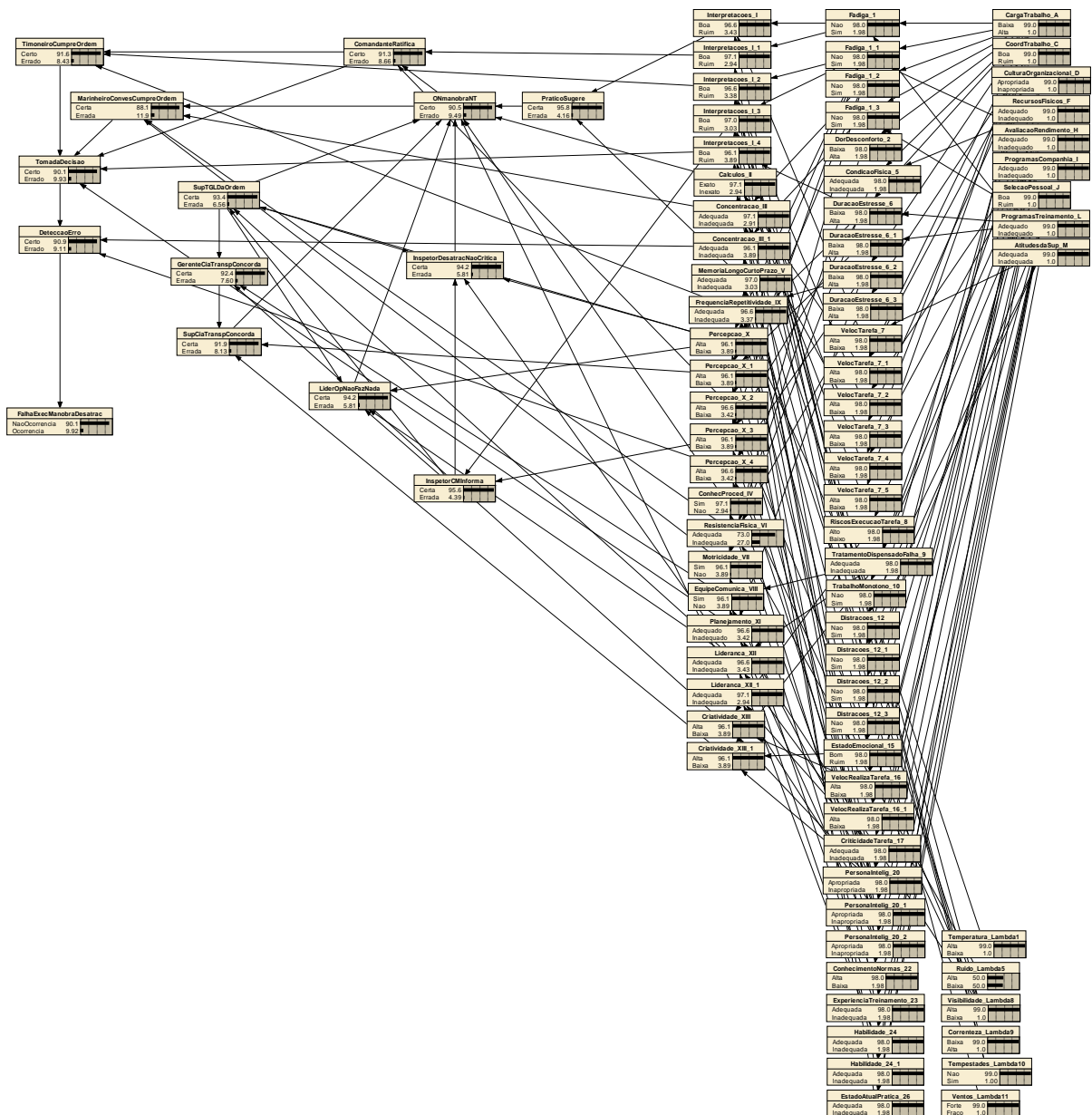


Figura 190 – Rede Bayesiana do Evento Básico (33) de falha na manobra de desatracação, tanto da equipe do NT, quanto da equipe do TGL, devido a pressões comerciais.

A TPC para o nó DeteccaoErro é idêntico à Figura 189. As demais estão nas figuras que seguem. Notar que o nó ONmanobraNT é composto de 8 nós pais. O mais graduado.

| Interpretacoes_I | MemoriaLongoCurtoPrazo_V | Certa | Errada |
|------------------|--------------------------|-------|--------|
| Boa | Adequada | 99 | 1 |
| Boa | Inadequada | 50 | 50 |
| Ruim | Adequada | 50 | 50 |
| Ruim | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 191 – TPC para o nó PraticoSugere

| Interpretacoes_I_3 | Percepcao_X_3 | Certa | Errada |
|--------------------|---------------|-------|--------|
| Boa | Alta | 99 | 1 |
| Boa | Baixa | 50 | 50 |
| Ruim | Alta | 50 | 50 |
| Ruim | Baixa | 1 | 99 |

Figura 192 – TPC para o nó InspetorCMInforma.

| SupTGLDaOrdem | InspetorCMInforma | Percepcao_X | Lideranca_XII | Certa | Errada |
|---------------|-------------------|-------------|---------------|-------|--------|
| Certa | Certa | Alta | Adequada | 99 | 1 |
| Certa | Certa | Alta | Inadequada | 75 | 25 |
| Certa | Certa | Baixa | Adequada | 75 | 25 |
| Certa | Certa | Baixa | Inadequada | 50 | 50 |
| Certa | Errada | Alta | Adequada | 50 | 50 |
| Certa | Errada | Alta | Inadequada | 50 | 50 |
| Certa | Errada | Baixa | Adequada | 50 | 50 |
| Certa | Errada | Baixa | Inadequada | 25 | 75 |
| Errada | Certa | Alta | Adequada | 75 | 25 |
| Errada | Certa | Alta | Inadequada | 50 | 50 |
| Errada | Certa | Baixa | Adequada | 50 | 50 |
| Errada | Certa | Baixa | Inadequada | 50 | 50 |
| Errada | Errada | Alta | Adequada | 50 | 50 |
| Errada | Errada | Alta | Inadequada | 25 | 75 |
| Errada | Errada | Baixa | Adequada | 25 | 75 |
| Errada | Errada | Baixa | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 193 – TPC para o nó InspetorDesatracNaoCritica.

| SupTGLDaOrdem | InspetorCMInforma | Percepcao_X | Lideranca_XII | Certa | Errada |
|---------------|-------------------|-------------|---------------|-------|--------|
| Certa | Certa | Alta | Adequada | 99 | 1 |
| Certa | Certa | Alta | Inadequada | 75 | 25 |
| Certa | Certa | Baixa | Adequada | 75 | 25 |
| Certa | Certa | Baixa | Inadequada | 50 | 50 |
| Certa | Errada | Alta | Adequada | 50 | 50 |
| Certa | Errada | Alta | Inadequada | 50 | 50 |
| Certa | Errada | Baixa | Adequada | 50 | 50 |
| Certa | Errada | Baixa | Inadequada | 25 | 75 |
| Errada | Certa | Alta | Adequada | 75 | 25 |
| Errada | Certa | Alta | Inadequada | 50 | 50 |
| Errada | Certa | Baixa | Adequada | 50 | 50 |
| Errada | Certa | Baixa | Inadequada | 50 | 50 |
| Errada | Errada | Alta | Adequada | 50 | 50 |
| Errada | Errada | Alta | Inadequada | 25 | 75 |
| Errada | Errada | Baixa | Adequada | 25 | 75 |
| Errada | Errada | Baixa | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 194 – TPC para o nó LiderOpNaoFazNada.

| InspetorCMInforma | Percepcao_X | Lideranca_XII | Certa | Errada |
|-------------------|-------------|---------------|-------|--------|
| Certa | Alta | Adequada | 99 | 1 |
| Certa | Alta | Inadequada | 50 | 50 |
| Certa | Baixa | Adequada | 50 | 50 |
| Certa | Baixa | Inadequada | 50 | 50 |
| Errada | Alta | Adequada | 50 | 50 |
| Errada | Alta | Inadequada | 1 | 99 |
| Errada | Baixa | Adequada | 1 | 99 |
| Errada | Baixa | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 195 – TPC para o nó SupTGLDaOrdem.

| SupTGLDaOrdem | EquipeComunica_VIII | Criatividade_XIII | Certa | Errada |
|---------------|---------------------|-------------------|-------|--------|
| Certa | Sim | Alta | 99 | 1 |
| Certa | Sim | Baixa | 50 | 50 |
| Certa | Nao | Alta | 50 | 50 |
| Certa | Nao | Baixa | 50 | 50 |
| Errada | Sim | Alta | 50 | 50 |
| Errada | Sim | Baixa | 1 | 99 |
| Errada | Nao | Alta | 1 | 99 |
| Errada | Nao | Baixa | 1 | 99 |

Figura 196 – TPC para o nó GerenteCiaTranspConcorda.

| GerenteCiaTranspConcorda | Percepcao_X_1 | Criatividade_XIII_1 | Certo | Errada |
|--------------------------|---------------|---------------------|-------|--------|
| Certa | Alta | Alta | 99 | 1 |
| Certa | Alta | Baixa | 50 | 50 |
| Certa | Baixa | Alta | 50 | 50 |
| Certa | Baixa | Baixa | 50 | 50 |
| Errada | Alta | Alta | 50 | 50 |
| Errada | Alta | Baixa | 1 | 99 |
| Errada | Baixa | Alta | 1 | 99 |
| Errada | Baixa | Baixa | 1 | 99 |

Figura 197 – TPC para o nó SupCiaTranspConcorda.

| ONmanobraNT | Motricidade_VII | ResistenciaFisica_VI | Concentracao_III | Certo | Errada |
|-------------|-----------------|----------------------|------------------|-------|--------|
| Certo | Sim | Adequada | Adequada | 99 | 1 |
| Certo | Sim | Adequada | Inadequada | 75 | 25 |
| Certo | Sim | Inadequada | Adequada | 75 | 25 |
| Certo | Sim | Inadequada | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Nao | Adequada | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Nao | Adequada | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Nao | Inadequada | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Nao | Inadequada | Inadequada | 25 | 75 |
| Errado | Sim | Adequada | Adequada | 75 | 25 |
| Errado | Sim | Adequada | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Sim | Inadequada | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Sim | Inadequada | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Nao | Adequada | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Nao | Adequada | Inadequada | 25 | 75 |
| Errado | Nao | Inadequada | Adequada | 25 | 75 |
| Errado | Nao | Inadequada | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 198 – TPC para o nó MarinheiroConvesCumpreOrdem.

| ComandanteRatifica | Interpretacoes_I_2 | FrequenciaRepetitividade_IX | Certo | Errado |
|--------------------|--------------------|-----------------------------|-------|--------|
| Certo | Boa | Adequada | 99 | 1 |
| Certo | Boa | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Ruim | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Ruim | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Boa | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Boa | Inadequada | 1 | 99 |
| Errado | Ruim | Adequada | 1 | 99 |
| Errado | Ruim | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 199 – TPC para o nó TimoneiroCumpreOrdem.

| MarinheiroConvesCumpreOrdem | ComandanteRatifica | TimoneiroCumpreOrdem | Interpretacoes_I_4 | Planejamento_XI | Certo | Errado |
|-----------------------------|--------------------|----------------------|--------------------|-----------------|-------|--------|
| Certa | Certo | Certo | Boa | Adequado | 99 | 1 |
| Certa | Certo | Certo | Boa | Inadequado | 75 | 25 |
| Certa | Certo | Certo | Ruim | Adequado | 75 | 25 |
| Certa | Certo | Certo | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Certa | Certo | Errado | Boa | Adequado | 75 | 25 |
| Certa | Certo | Errado | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certa | Certo | Errado | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certa | Certo | Errado | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Certa | Errado | Certo | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Certa | Errado | Certo | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certa | Errado | Certo | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certa | Errado | Certo | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Certa | Errado | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Certa | Errado | Errado | Boa | Inadequado | 25 | 75 |
| Certa | Errado | Errado | Ruim | Adequado | 75 | 25 |
| Certa | Errado | Errado | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Errada | Certo | Certo | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errada | Certo | Certo | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Errada | Certo | Certo | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Errada | Certo | Certo | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Errada | Certo | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errada | Certo | Errado | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Errada | Certo | Errado | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Errada | Certo | Errado | Ruim | Inadequado | 25 | 75 |
| Errada | Errado | Certo | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errada | Errado | Certo | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Errada | Errado | Certo | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Errada | Errado | Certo | Ruim | Inadequado | 25 | 75 |
| Errada | Errado | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errada | Errado | Errado | Boa | Inadequado | 25 | 75 |
| Errada | Errado | Errado | Ruim | Adequado | 1 | 99 |
| Errada | Errado | Errado | Ruim | Inadequado | 1 | 99 |

Figura 200 – TPC para o nó TomadaDecisao.

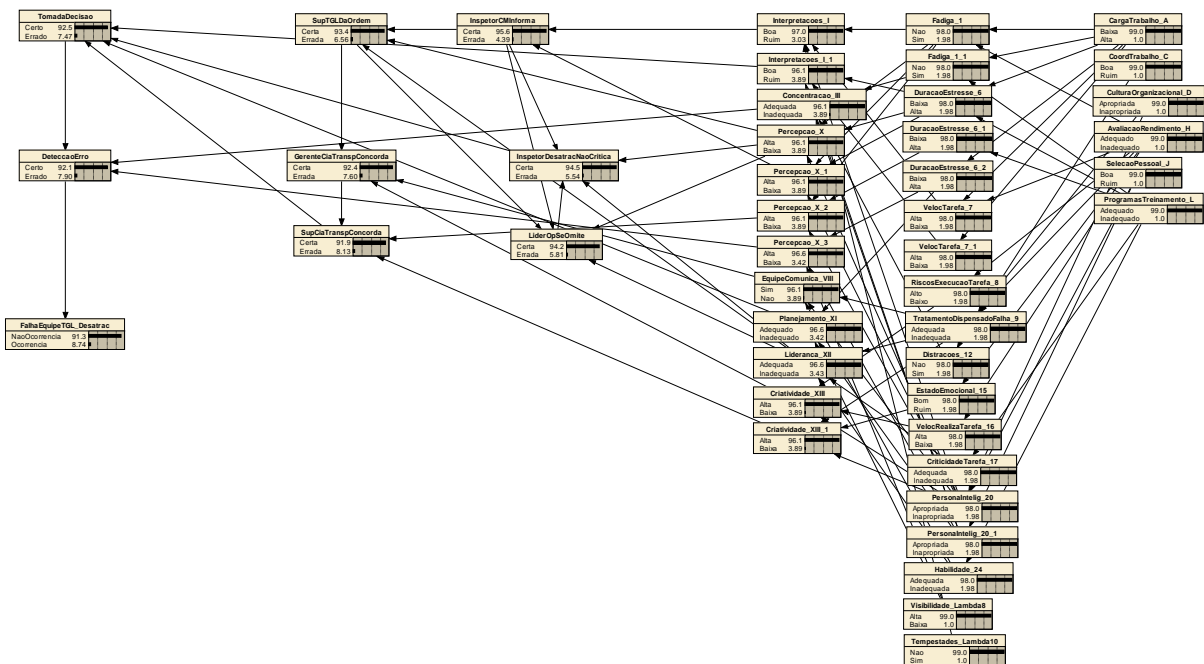


Figura 203 – Rede Bayesiana do Evento Básico (38) de falha na manobra de desatracção, da equipe do TGL, devido a outras questões.

| Interpretacoes_I | Percepcao_X_1 | Certa | Errada |
|------------------|---------------|-------|--------|
| Boa | Alta | 99 | 1 |
| Boa | Baixa | 50 | 50 |
| Ruim | Alta | 50 | 50 |
| Ruim | Baixa | 1 | 99 |

Figura 204 – TPC para o nó InspetorCMInforma.

| InspetorCMInforma | LiderOpSeOmite | Percepcao_X | Lideranca_XII | Certa | Errada |
|-------------------|----------------|-------------|---------------|-------|--------|
| Certa | Certa | Alta | Adequada | 99 | 1 |
| Certa | Certa | Alta | Inadequada | 75 | 25 |
| Certa | Certa | Baixa | Adequada | 75 | 25 |
| Certa | Certa | Baixa | Inadequada | 50 | 50 |
| Certa | Errada | Alta | Adequada | 50 | 50 |
| Certa | Errada | Alta | Inadequada | 50 | 50 |
| Certa | Errada | Baixa | Adequada | 50 | 50 |
| Certa | Errada | Baixa | Inadequada | 25 | 75 |
| Errada | Certa | Alta | Adequada | 75 | 25 |
| Errada | Certa | Alta | Inadequada | 50 | 50 |
| Errada | Certa | Baixa | Adequada | 50 | 50 |
| Errada | Certa | Baixa | Inadequada | 50 | 50 |
| Errada | Errada | Alta | Adequada | 50 | 50 |
| Errada | Errada | Alta | Inadequada | 25 | 75 |
| Errada | Errada | Baixa | Adequada | 25 | 75 |
| Errada | Errada | Baixa | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 205 – TPC para o nó SupTGLDaOrdem.

| SupTGLDaOrdem | InspetorCMInforma | Lideranca_XII | Percepcao_X | Certa | Errada |
|---------------|-------------------|---------------|-------------|-------|--------|
| Certa | Certa | Adequada | Alta | 99 | 1 |
| Certa | Certa | Adequada | Baixa | 75 | 25 |
| Certa | Certa | Inadequada | Alta | 75 | 25 |
| Certa | Certa | Inadequada | Baixa | 50 | 50 |
| Certa | Errada | Adequada | Alta | 50 | 50 |
| Certa | Errada | Adequada | Baixa | 50 | 50 |
| Certa | Errada | Inadequada | Alta | 50 | 50 |
| Certa | Errada | Inadequada | Baixa | 25 | 75 |
| Errada | Certa | Adequada | Alta | 75 | 25 |
| Errada | Certa | Adequada | Baixa | 50 | 50 |
| Errada | Certa | Inadequada | Alta | 50 | 50 |
| Errada | Certa | Inadequada | Baixa | 50 | 50 |
| Errada | Errada | Adequada | Alta | 50 | 50 |
| Errada | Errada | Adequada | Baixa | 25 | 75 |
| Errada | Errada | Inadequada | Alta | 25 | 75 |
| Errada | Errada | Inadequada | Baixa | 1 | 99 |

Figura 206 – TPC para o nó LiderOpSeOmite.

| InspetorCMInforma | LiderOpSeOmite | Percepcao_X | Lideranca_XII | Certa | Errada |
|-------------------|----------------|-------------|---------------|-------|--------|
| Certa | Certa | Alta | Adequada | 99 | 1 |
| Certa | Certa | Alta | Inadequada | 75 | 25 |
| Certa | Certa | Baixa | Adequada | 75 | 25 |
| Certa | Certa | Baixa | Inadequada | 50 | 50 |
| Certa | Errada | Alta | Adequada | 50 | 50 |
| Certa | Errada | Alta | Inadequada | 50 | 50 |
| Certa | Errada | Baixa | Adequada | 50 | 50 |
| Certa | Errada | Baixa | Inadequada | 25 | 75 |
| Errada | Certa | Alta | Adequada | 75 | 25 |
| Errada | Certa | Alta | Inadequada | 50 | 50 |
| Errada | Certa | Baixa | Adequada | 50 | 50 |
| Errada | Certa | Baixa | Inadequada | 50 | 50 |
| Errada | Errada | Alta | Adequada | 50 | 50 |
| Errada | Errada | Alta | Inadequada | 25 | 75 |
| Errada | Errada | Baixa | Adequada | 25 | 75 |
| Errada | Errada | Baixa | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 207 – TPC para o nó InspetorDesatracNaoCritica.

| SupTGLDaOrdem | EquipeComunica_VIII | Criatividade_XIII | Certa | Errada |
|---------------|---------------------|-------------------|-------|--------|
| Certa | Sim | Alta | 99 | 1 |
| Certa | Sim | Baixa | 50 | 50 |
| Certa | Nao | Alta | 50 | 50 |
| Certa | Nao | Baixa | 50 | 50 |
| Errada | Sim | Alta | 50 | 50 |
| Errada | Sim | Baixa | 1 | 99 |
| Errada | Nao | Alta | 1 | 99 |
| Errada | Nao | Baixa | 1 | 99 |

Figura 208 – TPC para o nó GerenteCiaTranspConcorda.

| GerenteCiaTranspConcorda | Percepcao_X_2 | Criatividade_XIII_1 | Certa | Errada |
|--------------------------|---------------|---------------------|-------|--------|
| Certa | Alta | Alta | 99 | 1 |
| Certa | Alta | Baixa | 50 | 50 |
| Certa | Baixa | Alta | 50 | 50 |
| Certa | Baixa | Baixa | 50 | 50 |
| Errada | Alta | Alta | 50 | 50 |
| Errada | Alta | Baixa | 1 | 99 |
| Errada | Baixa | Alta | 1 | 99 |
| Errada | Baixa | Baixa | 1 | 99 |

Figura 209 – TPC para o nó SupCiaTranspConcorda.

| InspetorDesatracNaoCritica | SupCiaTranspConcorda | Interpretacoes_I_1 | Planejamento_XI | Certo | Errado |
|----------------------------|----------------------|--------------------|-----------------|-------|--------|
| Certa | Certa | Boa | Adequado | 99 | 1 |
| Certa | Certa | Boa | Inadequado | 75 | 25 |
| Certa | Certa | Ruim | Adequado | 75 | 25 |
| Certa | Certa | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Certa | Errada | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Certa | Errada | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certa | Errada | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certa | Errada | Ruim | Inadequado | 25 | 75 |
| Errada | Certa | Boa | Adequado | 75 | 25 |
| Errada | Certa | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Errada | Certa | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Errada | Certa | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Errada | Errada | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errada | Errada | Boa | Inadequado | 25 | 75 |
| Errada | Errada | Ruim | Adequado | 25 | 75 |
| Errada | Errada | Ruim | Inadequado | 1 | 99 |

Figura 210 – TPC para o nó TomadaDecisao.

| TomadaDecisao | Concentracao_III | Percepcao_X_3 | Certo | Errado |
|---------------|------------------|---------------|-------|--------|
| Certo | Adequada | Alta | 99 | 1 |
| Certo | Adequada | Baixa | 50 | 50 |
| Certo | Inadequada | Alta | 50 | 50 |
| Certo | Inadequada | Baixa | 50 | 50 |
| Errado | Adequada | Alta | 50 | 50 |
| Errado | Adequada | Baixa | 1 | 99 |
| Errado | Inadequada | Alta | 1 | 99 |
| Errado | Inadequada | Baixa | 1 | 99 |

Figura 211 – TPC para o nó DeteccaoErro.

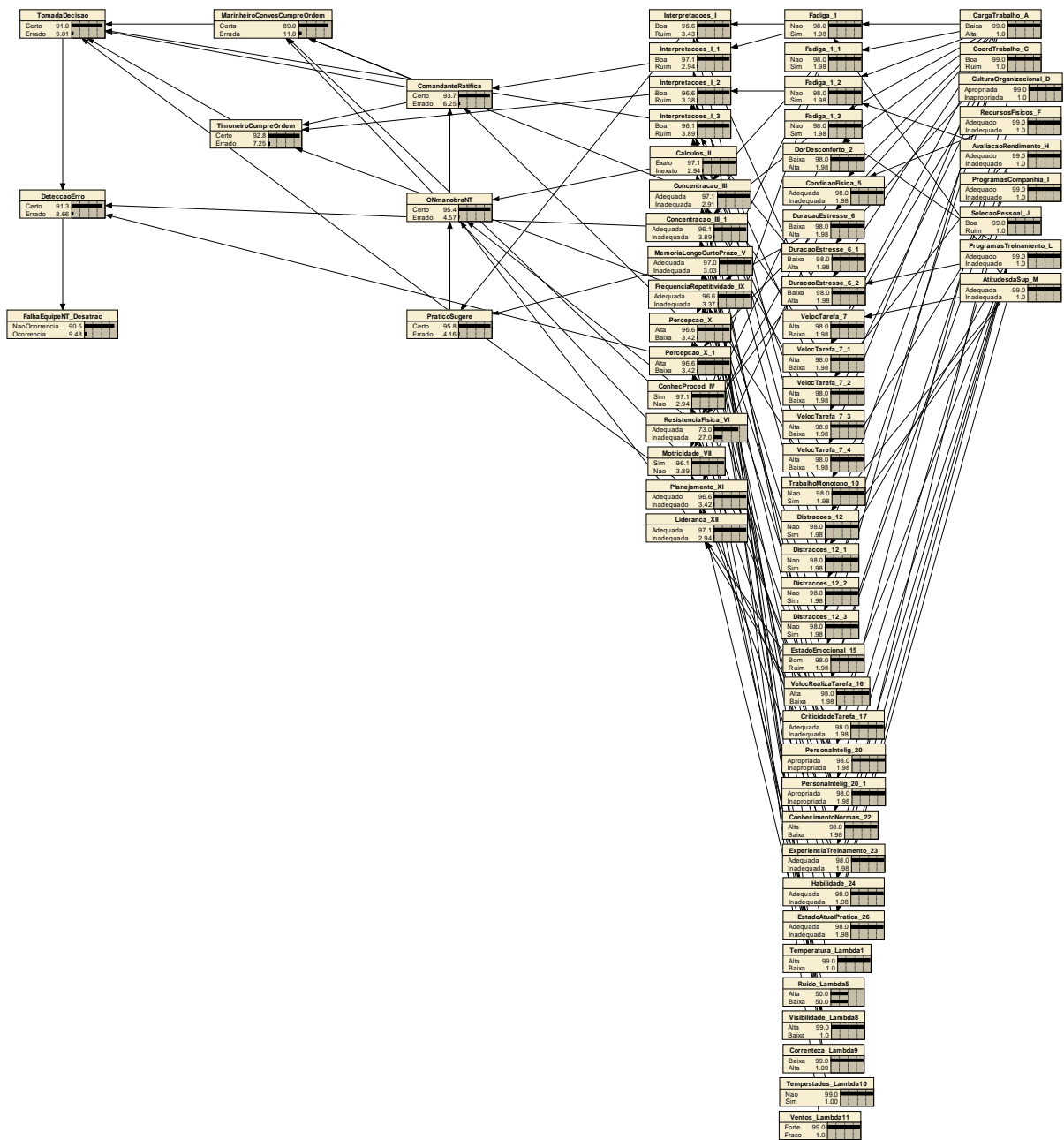


Figura 212 – Rede Bayesiana do Evento Básico (39) de falha na manobra de desatracação, da equipe do NT, devido a outras questões.

| Interpretacoes_I | MemoriaLongoCurtoPrazo_V | Certo | Errado |
|------------------|--------------------------|-------|--------|
| Boa | Adequada | 99 | 1 |
| Boa | Inadequada | 50 | 50 |
| Ruim | Adequada | 50 | 50 |
| Ruim | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 213 – TPC para o nó PraticoSugere.

| PraticoSugere | ConhecProced_IV | Lideranca_XII | Calculos_II | Certo | Errado |
|---------------|-----------------|---------------|-------------|-------|--------|
| Certo | Sim | Adequada | Exato | 99 | 1 |
| Certo | Sim | Adequada | Inexato | 75 | 25 |
| Certo | Sim | Inadequada | Exato | 75 | 25 |
| Certo | Sim | Inadequada | Inexato | 50 | 50 |
| Certo | Nao | Adequada | Exato | 50 | 50 |
| Certo | Nao | Adequada | Inexato | 50 | 50 |
| Certo | Nao | Inadequada | Exato | 50 | 50 |
| Certo | Nao | Inadequada | Inexato | 25 | 75 |
| Errado | Sim | Adequada | Exato | 75 | 25 |
| Errado | Sim | Adequada | Inexato | 50 | 50 |
| Errado | Sim | Inadequada | Exato | 50 | 50 |
| Errado | Sim | Inadequada | Inexato | 50 | 50 |
| Errado | Nao | Adequada | Exato | 50 | 50 |
| Errado | Nao | Adequada | Inexato | 25 | 75 |
| Errado | Nao | Inadequada | Exato | 25 | 75 |
| Errado | Nao | Inadequada | Inexato | 1 | 99 |

Figura 214 – TPC para o nó ONmanobraNT.

| ONmanobraNT | Interpretacoes_I_1 | Percepcao_X | Certo | Errado |
|-------------|--------------------|-------------|-------|--------|
| Certo | Boa | Alta | 99 | 1 |
| Certo | Boa | Baixa | 50 | 50 |
| Certo | Ruim | Alta | 50 | 50 |
| Certo | Ruim | Baixa | 50 | 50 |
| Errado | Boa | Alta | 50 | 50 |
| Errado | Boa | Baixa | 1 | 99 |
| Errado | Ruim | Alta | 1 | 99 |
| Errado | Ruim | Baixa | 1 | 99 |

Figura 215 – TPC para o nó ComandanteRatifica.

| ComandanteRatifica | Interpretacoes_I_2 | FrequenciaRepetitividade_IX | Certo | Errado |
|--------------------|--------------------|-----------------------------|-------|--------|
| Certo | Boa | Adequada | 99 | 1 |
| Certo | Boa | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Ruim | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Ruim | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Boa | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Boa | Inadequada | 1 | 99 |
| Errado | Ruim | Adequada | 1 | 99 |
| Errado | Ruim | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 216 – TPC para o nó MarinheiroConvesCumpremOrdem.

| ComandanteRatifica | Interpretacoes_I_2 | FrequenciaRepetitividade_IX | Certo | Errado |
|--------------------|--------------------|-----------------------------|-------|--------|
| Certo | Boa | Adequada | 99 | 1 |
| Certo | Boa | Inadequada | 50 | 50 |
| Certo | Ruim | Adequada | 50 | 50 |
| Certo | Ruim | Inadequada | 50 | 50 |
| Errado | Boa | Adequada | 50 | 50 |
| Errado | Boa | Inadequada | 1 | 99 |
| Errado | Ruim | Adequada | 1 | 99 |
| Errado | Ruim | Inadequada | 1 | 99 |

Figura 217 – TPC para o nó TimoneiroCumpreOrdem.

| MarinheiroConvesCumpreOrdem | TimoneiroCumpreOrdem | ComandanteRatifica | Interpretacoes_I_3 | Planejamento_XI | Certo | Errado |
|-----------------------------|----------------------|--------------------|--------------------|-----------------|-------|--------|
| Certa | Certo | Certo | Boa | Adequado | 99 | 1 |
| Certa | Certo | Certo | Boa | Inadequado | 75 | 25 |
| Certa | Certo | Certo | Ruim | Adequado | 75 | 25 |
| Certa | Certo | Certo | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Certa | Certo | Errado | Boa | Adequado | 75 | 25 |
| Certa | Certo | Errado | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certa | Certo | Errado | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certa | Certo | Errado | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Certa | Errado | Certo | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Certa | Errado | Certo | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certa | Errado | Certo | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certa | Errado | Certo | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Certa | Errado | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Certa | Errado | Errado | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Certa | Errado | Errado | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Certa | Errado | Errado | Ruim | Inadequado | 25 | 75 |
| Errada | Certo | Certo | Boa | Adequado | 75 | 25 |
| Errada | Certo | Certo | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Errada | Certo | Certo | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Errada | Certo | Certo | Ruim | Inadequado | 50 | 50 |
| Errada | Certo | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errada | Certo | Errado | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Errada | Certo | Errado | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Errada | Certo | Errado | Ruim | Inadequado | 25 | 75 |
| Errada | Errado | Certo | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errada | Errado | Certo | Boa | Inadequado | 50 | 50 |
| Errada | Errado | Certo | Ruim | Adequado | 50 | 50 |
| Errada | Errado | Certo | Ruim | Inadequado | 25 | 75 |
| Errada | Errado | Errado | Boa | Adequado | 50 | 50 |
| Errada | Errado | Errado | Boa | Inadequado | 25 | 75 |
| Errada | Errado | Errado | Ruim | Adequado | 1 | 99 |
| Errada | Errado | Errado | Ruim | Inadequado | 1 | 99 |

Figura 218 – TPC para o nó TomadaDecisao.

| TomadaDecisao | Concentracao_III_1 | Percepcao_X_1 | Certo | Errado |
|---------------|--------------------|---------------|-------|--------|
| Certo | Adequada | Alta | 99 | 1 |
| Certo | Adequada | Baixa | 50 | 50 |
| Certo | Inadequada | Alta | 50 | 50 |
| Certo | Inadequada | Baixa | 50 | 50 |
| Errado | Adequada | Alta | 50 | 50 |
| Errado | Adequada | Baixa | 1 | 99 |
| Errado | Inadequada | Alta | 1 | 99 |
| Errado | Inadequada | Baixa | 1 | 99 |

Figura 219 – TPC para o nó DeteccaoErro.