

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**VISUALIZAÇÃO DO RISCO COMO MEIO DE SUPORTE À TOMADA DE
DECISÃO: UMA ABORDAGEM ATRAVÉS DA ANÁLISE DE FERRAMENTAS DE
GERENCIAMENTO DE RISCO**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UFPE
PARA OBTENÇÃO DE GRAU DE MESTRE
POR

MARIO MARDONE DA SILVA
ORIENTADOR: Prof. THALLES VITELLI GARCEZ, DSc.

CARUARU, JULHO/2016

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier CRB/4 - 1242

S586v Silva, Mario Mardone da.
Visualização do risco como meio de suporte à tomada de decisão: uma abordagem através da análise de ferramentas de gerenciamento de riscos. / Mario Mardone da Silva. – 2016.
86f. il. ; 30 cm.

Orientador: Thalles Vitelli Garcez
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2016.
Inclui Referências.

1. Gerenciamento de riscos. 2. Visualização da informação. 3. Tomada de decisão. 4. Energia elétrica - transmissão. I. Garcez, Thalles Vitelli (Orientador). II. Título.

658.5 CDD (23. ed.) UFPE (CAA 2016-198)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

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

MARIO MARDONE DA SILVA

VISUALIZAÇÃO DO RISCO COMO MEIO DE SUPORTE À TOMADA DE
DECISÃO: UMA ABORDAGEM FEITA ATRAVÉS DA ANÁLISE DE
FERRAMENTAS DE GERENCIAMENTO DE RISCO

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PESQUISA OPERACIONAL

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, considera o candidato MARIO MARDONE DA SILVA **APROVADO**.

Caruaru, 01 de julho de 2016.

Prof. THALLES VITELLI GARCEZ, DSc (UFPE)

Prof. MARCELO HAZIN ALENCAR, DSc (UFPE)

Prof. RODRIGO JOSE PIRES FERREIRA, DSc (UFPE)

Dedico esse trabalho a toda minha família por me apoiarem e incentivarem em todas as decisões tomadas em minha vida.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”. (Marthin Luther King)

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, agradeço a Deus por todas as realizações alcançadas em minha vida até o presente momento.

A minha família que sempre esteve ao meu lado, mesmo que não fisicamente em todos os momentos, mas que deram total apoio sem medir esforços.

A todos os professores e equipe gestora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Campus Acadêmico do Agreste - PPGEP/CAA que não mediram esforços para que todos conhecimentos necessários para a realização das atividades de pesquisa fossem transmitidos com excelência.

Ao meu orientador Thalles Vitelli Garcez que me acompanhou durante dois anos ao quais me dediquei as atividades do mestrado. Agradeço também a FACEPE pelo apoio financeiro concedido para realização das atividades do projeto de pesquisa.

Agradeço a todos os discentes que ingressaram comigo no programa Nayara, Jean, Walamberg, Wanderbeg, Bruna, Jessica Larissa, Juliana, Roberto e Kayo, a eles minha eterna e imensa gratidão e amizade.

Em suma, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para que essa etapa tão importante da minha vida fosse concluída.

RESUMO

Este trabalho trata do uso da Visualização da Informação (VI) como instrumento de suporte a tomada de decisão no processo de Gerenciamento de Risco (GR) de um modo geral, e também realiza um estudo particular no GR no fornecimento e distribuição de energia elétrica. O objetivo principal é investigar como a VI é usada no processo de GR, bem como, sua formalização no processo e a atenção referente a tomada de ações de melhorias através do uso da VI. Para identificar as ferramentas de VI usada no processo de gerenciamento de risco foram analisadas as ferramentas FMEA (*Failure Modes and Effect Analysis*), FTA (*Fault Tree Analysis*), ETA (*Event Tree Analysis*), HAZOP (*Hazards and Operability Study*), ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*), Diagrama Bow-Tie e Diagrama Ishikawa. Em seguida, algumas considerações e sugestões foram feitas a respeito do uso das ferramentas de visualização da informação identificadas. O trabalho prosseguiu com a análise do uso dessas ferramentas no processo de GR no fornecimento e distribuição de energia elétrica através de uma pesquisa feita na base ISI (*Web of Science*). Os resultados indicam que o uso da VI em sistemas elétricos não é formalizado, dificultando dessa forma qualquer tipo de ação de melhoria embasada teoricamente. Nota-se também falta de estudos que façam uma abordagem empírica do uso da VI no GR em sistemas de fornecimento e distribuição de energia elétrica. Em suma, é necessário que haja uma atenção para o uso da VI nas ferramentas de GR consideradas neste trabalho, como meio de superar lacunas existentes que dificultam o processo de GR.

Palavras-chave: gerenciamento de risco; visualização da informação; tomada de decisão; transmissão e fornecimento de energia elétrica.

ABSTRACT

This work deals with the use of Information Visualization (InfoVis) as a decision-making support tool in the Risk Management process in general, and performs a particular study in risk management in the supply and distribution of electricity. The main objective is to investigate how InfoVis is used in the risk management process, as well as its formalization in the process and attention regarding taking actions for improvement using InfoVis. To identify the InfoVis tools used in the risk management process were analyzed FMEA tools (Failure Modes and Effect Analysis), FTA (Fault Tree Analysis), ETA (Event Tree Analysis) HAZOP (Hazards and Operability Study), ALARP (As Low As Reasonably Practicable), Bow-Tie Diagram and Ishikawa Diagram. Then some considerations and suggestions were made regarding the use of visualization tools of information identified. The work continued with the analysis of the use of these tools in the risk management process in the supply and distribution of electric energy through a survey in ISI (Web of Science). The results indicate that the use of InfoVis in electrical systems is not formalized, thus hindering any improvement action grounded in theory. It is also noted lack of studies to make an empirical approach to the use of InfoVis in managing risk in the supply and distribution of electric power systems. In short, there needs to be attention to the use of InfoVis in the risk management tools considered in this work, as a means of overcoming gaps that hinder the risk management process.

Keywords: risk management; information visualization; decision making; transmission and supply of electricity

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA	2
1.2 OBJETIVOS	3
1.3 METODOLOGIA	3
1.4 ESTRUTURAÇÃO DA PESQUISA	6
2. REFERENCIAL TEÓRICO	7
2.1 GERENCIAMENTO DE RISCO	7
2.1.1. DIAGRAMA DE GERENCIAMENTO DE RISCO-	9
2.1.2. FERRAMENTAS UTILIZADAS NO PROCESSO DE GERENCIAMENTO DE RISCO	11
2.2 VISUALIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO	20
2.2.1. VISUALIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO NA TOMADA DE DECISÃO	22
2.2.2. PRINCIPAIS TECNICAS E FERRAMENTAS DA A VI	23
2.2.2.1. Classificação dos dados	25
2.2.2.2. Técnicas de visualização da informação	28
2.2.2.3. Técnicas de interação e distorção	39
3. VISUALIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO NO GERENCIAMENTO DE RISCO ..	44
3.1 PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES DA VISUALIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO NO GERENCIAMENTO DE RISCO	44
3.2 TECNICAS E FERRAMENTAS DA VISUALIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO APLICADAS NAS ETAPAS DO GERENCIAMENTO DE RISCO	45
4. VISUALIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO NO GERENCIAMENTO DE RISCO NO CONTEXTO DE FORNECIMENTO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ⁵⁴	
4.1. GERENCIAMENTO DE RISCO NO FORNECIMENTO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	54
4.2. ANÁLISE DAS TÉCNICAS DE VISUALIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO APLICADAS AO GERENCIAMENTO DE RISCO NO FORNECIMENTO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	55
4.2.1 FMEA/FMECA	56
4.2.2 FTA	59
4.2.4 HAZOP	60
4.2.6 ALARP	60
4.2.7. ETA	61

4.3. RESULTADOS DA PESQUISA	61
5. CONCLUSÃO	65
5.1. DIFICULDADES E LIMITAÇÕES DO TRABALHO	65
5.2. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	66
REFERÊNCIAS	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Etapas da dissertação	5
Figura 2.1: Processo de gerenciamento de risco.....	9
Figura 2.2: Símbolos da FTA	13
Figura 2.3: Elemento do diagrama de bloco.....	13
Figura 2.4: Exemplo de árvore de falha	14
Figura 2.5: Exemplo de Arvore de Evento	15
Figura 2.6: Diagrama Bow-Tie.....	16
Figura 2.7: Classificação de regiões no ALARP.....	19
Figura 2.8: Exemplo de diagrama de Ishikawa	19
Figura 2.9: Modelo de referência de Visualização da informação	22
Figura 2.10: Funções de visualização de informação.....	23
Figura 2.11: Classificação das técnicas de visualização da informação.....	24
Figura 2.12: Exemplo de atributo, entidade e relacionamento	26
Figura 2.13: Sistema de cores de Munsell	29
Figura 2.15: Exemplo de sequência de cores	29
Figura 2.15: Gráfico onde as cores representam a temperatura	31
Figura 2.16: Visualização de dados ordinais	32
Figura 2.17: Aumento percentual nos preços do ano anterior uma previsão económica com a incerteza estimada. Cada cor mostra um aumento de 5% na incerteza.	33
Figura 2.18: Visualização de dados de razão	34
Figura 2.19: Sequências de cores que serão aceitáveis para pessoas daltônicas	34
Figura 2.20: Visualização dos dados 2D e 3D.....	35
Figura 2.21: Visualização em coordenadas paralelas.....	35
Figura 2.22: Representação visual através das faces de Chernoff.....	36
Figura 2.23: Representação de visualização em pixel.....	38
Figura 2.24: Exemplo de exibição hierárquica	38
Figura 2.25: Projeção interativa.....	40
Figura 2.26: Visualização através da técnica lentes Magic	41
Figura 2.27: Visualização através de zoom interativo.....	41
Figura 2.28: visualização usando técnicas de distorção	42
Figura 3.1: Visualização do RPN	49
Figura 3.2: Exemplo de uso de cores nos ícones do FTA	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1: Palavras chaves usadas na pesquisa na base ISI.....	5
Tabela 2.1: Exemplo de tabela FMEA/FMECA	12
Tabela 2.2: Exemplo de tabela HAZOP	18
Tabela 2.3: Matriz de risco	18
Tabela 3.1: Uso da VI no gerenciamento de risco.....	46
Tabela 3.2: Melhorias no Gerenciamento de Risco através de Ferramentas da Visualização da Informação.....	47
Tabela 3.3: Exemplo de planilha FMEA	48
Tabela 4.1: Resultado da pesquisa na base ISI.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS

VI: Visualização da Informação
GR: Gerenciamento de Risco
FMEA: Failure Modes and Effect Analysis
FTA: Fault Tree Analysis
ETA: Event Tree Analysis
HAZOP: Hazards and Operability Study
ALARP: As Low As Reasonably Practicable
RPN: Risk Priority Number

1. INTRODUÇÃO

A concretização de acidentes e catástrofes causa uma série de perdas econômicas e sociais (Lin *et al.*, 2009). Para Amundrud & Aven (2015) muitos desses incidentes acontecem por falta do reconhecimento do risco e de seu tratamento adequado. Além disso, segundo Choudhry & Iqbal (2012) os sistemas e as práticas de gestão de risco que existem na maioria das organizações ainda são reativas, informais e não estruturadas. Torna-se, portanto, cada vez maior a necessidade de ferramentas que contribuam para uma melhor tomada de decisão no processo de gerenciamento de risco.

Essas ferramentas devem auxiliar sobretudo no processo de comunicação da informação para suporte à tomada de decisão no gerenciamento de risco (GR). No entanto, apenas comunicar a informação não é suficiente para uma boa tomada de decisão, é preciso comunicar o que de fato é relevante para que uma determinada decisão seja tomada de forma rápida e eficiente.

A rapidez e a qualidade na tomada decisão no gerenciamento de risco são críticas, pois, demora e inconsistências podem trazer vários prejuízos, tais como, danos econômicos, sociais e ambientais graves ou até mesmo irreversíveis. Um exemplo a ser considerado é o GR no fornecimento e distribuição de Energia elétrica, considerando que se trata de uma infraestrutura crítica no sentido da mesma ser essencial para o funcionamento normalizado da sociedade.

Distribuição e fornecimento de energia elétrica é um sistema que deve operar de forma contínua, onde interrupções podem gerar perdas e caos para a sociedade moderna dependente quase que integralmente da mesma. De acordo com Lilliestam (2014), o fornecimento de energia elétrica confiável é um pré-requisito para o correto funcionamento da sociedade moderna. Para Colaço *et al.* (2007), a eletricidade atualmente desempenha um papel vital para o desenvolvimento de qualquer nação. É um setor constituído por um sistema de alta complexidade, envolvendo uma grande quantidade e diversidade de equipamentos, cada um com seu modo de operação e características peculiares.

Portanto, diante da complexidade da tomada decisão e da necessidade de melhorias no processo de gerenciamento de risco, da dependência da sociedade moderna do sistema de energia elétrica e das perdas que a falta de eletricidade pode causar, este trabalho propõe o uso da Visualização da Informação (VI) (*Information Visualization – InfVis*) como uma ferramenta de apoio ao processo de GR através da “visualização do risco”.

De acordo com Nascimento & Ferreira (2005), a VI é uma área emergente da ciência que estuda formas de apresentar dados visualmente de tal modo que relações entre os mesmos sejam mais bem compreendidas ou novas informações possam ser descobertas. Para Ma *et al.* (2000), a VI fornece informações que são facilmente adquiríveis e compreensíveis para serem traduzidas em conhecimentos que, por sua vez apoiam a tomada de decisão. Portanto, a VI é uma importante ferramenta para a comunicação do risco, tendo em vista sua provável capacidade de facilitar a compreensão e a tomada de decisão no processo de GR.

1.1 JUSTIFICATIVA

Atender as exigências mínimas estipuladas pelos órgãos reguladores não é suficiente para o processo eficiente de GR, é necessário que haja uma melhora contínua no processo visando uma melhor redução do risco.

Potenciais melhorias para redução do risco se dá também através de uma eficiente comunicação do risco, que impactam positivamente na melhor tomada de decisão, trazendo vários benefícios para a organização. A comunicação do risco, por sua vez, depende da forma como os dados são usados para gerar informação, tendo em vista que de acordo com Amundrud & Aven (2015), o processo de avaliação do risco usa os dados para a construção da base de conhecimento, que são avaliados de acordo com os critérios relevantes e os princípios de orientação usados na tomada de decisão.

A visualização da informação contempla ferramentas que pode contribuir de forma significativa para o processo de avaliação do risco, pois cria formas de tratamento de dados e formas de visualização desses dados para a comunicação dos mesmos. Para Zhao & Zhou (2008), a VI é uma ferramenta responsável por transformar a informação em um modelo visual, onde através desse modelo visual o receptor pode compreender melhor os conceitos tornando-se capaz de tomar decisões mais efetivas.

Outro fator positivo que viabiliza o uso da VI está no reconhecimento das organizações em relação à necessidade de tratar melhor seus dados. Segundo Heer *et al.* (2008), na concepção atual as organizações estão mais abertas para o movimento tecnológico e, portanto, reconhecem a necessidade de dispor de ferramentas mais eficientes para a obtenção de conhecimento a partir dos dados que elas possuem. Essa necessidade é retratada claramente nas organizações de energia elétrica. Segundo o Departamento de Energia dos Estados Unidos (U.S. Department of Energy, 2015), o envelhecimento das infraestruturas de eletricidade requer novas tecnologias para permitir melhor detecção de falhas, atualizar recursos e melhorar a segurança cibernética.

Além dessa necessidade de obtenção e conhecimento de dados, de acordo com Kroposki & Komomua (2013), há também uma necessidade de exibição de dados de uma forma significativa e eficiente, necessidade de diferentes opções para visualizar os dados e uma maneira eficiente de mostrar o significado dos dados em sistemas elétricos.

Outra contribuição do presente trabalho seria para a própria ciência da VI. Embora as pesquisas relacionadas a VI venham crescendo nas últimas décadas, existe uma dificuldade de formalização da VI como ciência. Segundo Purchase *et al.* (2008), essa dificuldade existe pelo fato de a mesma não ser baseada em uma teoria claramente definida, sendo dessa forma difícil de validar e defender.

Esta pesquisa, portanto, irá contribuir para gerar reflexões sobre a VI como ciência, do uso da VI no processo de GR e sobretudo de sua aplicação em sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica, diante da necessidade cada vez maior de mudanças na forma como a energia elétrica é gerada e fornecida. Este estudo pode também desempenhar um importante papel para que as organizações avaliem seu processo de GR e reflitam sobre quais ferramentas de VI utilizam e rever como é feito tal uso.

1.2 OBJETIVOS

A pesquisa tem como objetivo geral investigar de que forma a Visualização da Informação (VI) vem sendo abordada no processo de gerenciamento de risco (GR) e seu papel como apoiadora no processo de suporte a tomada de decisão em sistemas elétricos.

Para atingir o objetivo geral, foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- Identificar as principais contribuições da VI para geração de conhecimento e melhoria nos processos decisórios.
- Identificar as principais ferramentas da VI existentes em ferramentas GR.
- Realizar uma análise das ferramentas e metodologias auxiliares ao processo de GR e propor melhorias quanto as formas de VI nas ferramentas de GR.
- Indicar algumas contribuições que a VI pode oferecer para o processo de GR no contexto de sistemas de distribuição e fornecimento de energia elétrica.

1.3 METODOLOGIA

A metodologia é uma parte de extrema importância na pesquisa, pois é através dela que se alcança os objetivos da pesquisa. De acordo com Gil (2008), o método científico é o

caminho para se chegar a determinado fim, sendo alcançado através de um conjunto de procedimentos intelectuais e técnicas adotadas para atingir o conhecimento.

A presente pesquisa tem uma abordagem qualitativa, pois procura entender de que forma a VI está sendo abordada no processo de gerenciamento de risco. Marconi & Lakatos (2003) explicam que a abordagem qualitativa trata-se de uma pesquisa que tem como premissa, analisar e interpretar aspectos mais profundos, descrevendo a complexidade do comportamento humano e ainda fornecendo análises mais detalhadas sobre as investigações, atitudes e tendências de comportamento.

No tocante aos objetivos, a pesquisa é exploratória, pois visa responder a questionamentos através de levantamento bibliográfico. A pesquisa exploratória tem como objetivo principal o aprimoramento de ideias (Marconi & Lakatos, 2002). Além disso, a pesquisa exploratória pretende criar uma maior familiaridade com o problema com vista a torná-lo explícito ou construir hipóteses (Gil, 1989).

É mostrada na Figura 1.1 como foi organizada a presente pesquisa. Na primeira etapa foi feita uma análise das ferramentas auxiliares ao gerenciamento de risco, tais como, FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), FTA (*Fault Tree Analysis*), ETA (*Event Tree Analysis*), Diagramas de Ishikawa e Diagrama Bow-Tie, HAZOP (*Hazards and Operability Study*) e o princípio ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*). O objetivo da análise foi identificar quais aspectos da VI são utilizados em cada uma dessas ferramentas de gerenciamento de risco.

Na segunda etapa da pesquisa, tendo sido identificados os aspectos e metodologias de VI que são utilizadas no gerenciamento de risco, foi feita uma análise dessas ferramentas acerca da aplicação das mesmas. Essa etapa teve como objetivo sugerir melhorias do uso dessas ferramentas no processo de gerenciamento de risco, através do uso de ferramentas e técnicas da VI.

Na terceira etapa foi realizada uma revisão da literatura a respeito do uso do FMEA, FTA, ETA, Diagramas de Ishikawa e Diagrama Bow-Tie, HAZOP e ALARP no processo de gerenciamento de risco no contexto de sistemas elétricos. A pesquisa foi feita na base da *Web of Science* (ISI). Na realização da pesquisa foram utilizadas dois conjuntos de combinações: *i*) relacionados aos sistemas elétricos e *ii*) relacionados às ferramentas do gerenciamento de risco conforme mostrado na Tabela 1.1.

Na quarta e última etapa foram analisadas as ferramentas de VI utilizadas no FMEA, FTA, ETA, Diagramas de Ishikawa e Diagrama Bow-Tie, HAZOP e ALARP de acordo com a pesquisa feita na base *ISI*. Em seguida essas ferramentas foram comparadas com as

considerações feitas na segunda etapa a respeito de supostas melhorias do uso da VI no processo de GR.

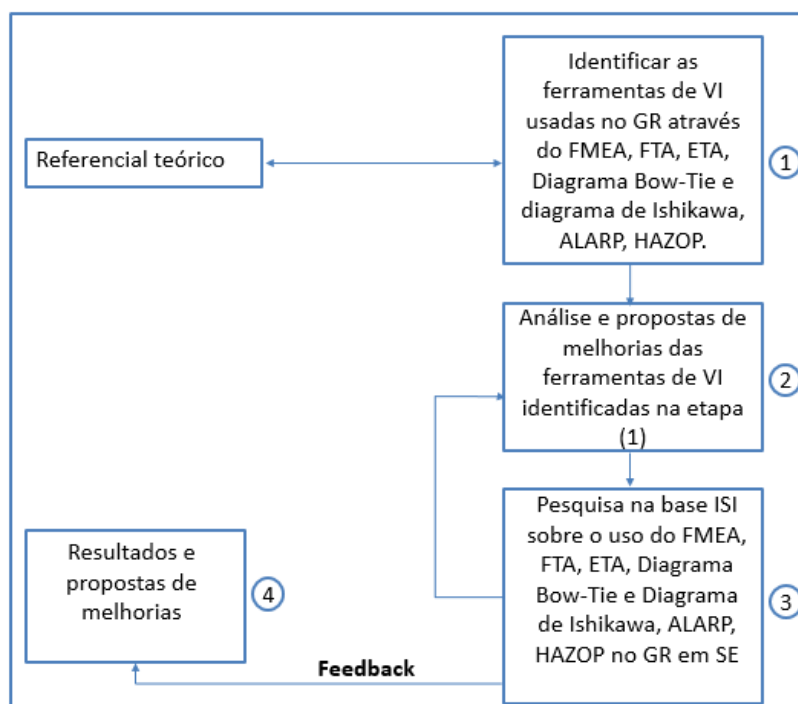


Figura 1.1: Etapas da dissertação
 Fonte: Esta pesquisa

Na quarta etapa também foram apresentados os resultados da análise das ferramentas no que se refere as contribuições dessas ferramentas de visualização para o processo de tomada de decisão no GR em sistema elétrico.

Tabela 1.1: Palavras chaves usadas na pesquisa na base ISI

Sistemas Elétricos	Ferramentas de gerenciamento de risco
"Electrical Energy system" OR "Electrical system" OR "power delivery" OR "power transmission" OR "power distribution" OR "electrical substation" OR "power system" OR "power network" OR "transmission network" OR "distribution network" OR "power grid" OR "distribution lines" OR "transmission lines"	FMEA OR FMECA OR "Failure Mode and Effect Analysis"
	"Fault Tree analysis" OR FTA
	"Event Tree Analysis" OR ETA
	"Hazards and Operability Study" OR HAZOP
	Bow-Tie
	"As Low As Reasonably Practicable" OR ALARP
	"Ishikawa diagram"

Fonte: Esta pesquisa

1.4 ESTRUTURAÇÃO DA PESQUISA

O presente trabalho é composto por cinco capítulos, no qual o primeiro apresenta uma introdução ao problema de pesquisa, a justificativa da realização do estudo, os objetivos gerais e específicos e a metodologia adotada para a concretização dos objetivos.

O segundo capítulo envolve a fundamentação teórica com os principais temas que darão embasamento teórico para a realização da presente pesquisa. Os conceitos apresentados são os seguintes: GR e VI. Foram apresentadas algumas ferramentas de GR e algumas técnicas de visualização da informação.

O terceiro capítulo apresenta uma análise das técnicas de visualização da informação que são utilizadas no contexto de GR através do FMEA, FTA, ETA, Diagrama de Ishikawa e Diagrama Bow-Tie, HAZOP e ALARP. Em seguida, foram feitas sugestões de melhorias das ferramentas de VI usadas no GR.

No capítulo quatro apresenta-se uma contextualização do uso da VI no GR em sistemas elétricos. Faz-se sugestões de melhorias no processo de gerenciamento de risco a partir das considerações feitas no Capítulo terceiro.

O quinto e último capítulo mostra as conclusões, bem como dificuldades e limitações e sugestões para trabalhos futuros.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão apresentados os conceitos básicos que darão suporte teórico ao presente trabalho. Em primeiro lugar, serão abordados conceitos relacionados ao GR e em seguida conceitos relacionados à VI, bem como suas principais ferramentas e técnicas.

2.1 GERENCIAMENTO DE RISCO

A palavra “risco” é muito comum no nosso dia-a-dia. Todas as atividades que fazemos envolve risco e a todo momento estamos decidindo sobre o quão estamos dispostos a aceitar ou não determinados riscos. No entanto, existem riscos que não são tão simples de se identificar e tratar, tornando-se assim necessário um gerenciamento mais aprofundado dos mesmos.

Essa necessidade de GR mais aprofundada faz com que se torne fundamental a consolidação e aprimoramento de alguns elementos fundamentais para o processo. Esses elementos são os conceitos, características e modelos relacionados a esse gerenciamento. A literatura apresenta um grande acervo teórico que nos ajuda a entender melhor esses elementos. Em primeiro lugar será definido o conceito de risco.

A definição de risco pode ser interpretada de várias maneiras. Existem vários tipos de risco como, por exemplo, risco de mercado, risco de crédito, risco de liquidez, risco operacional, risco legal e risco do fator humano. Cada um desses riscos possui diferentes interpretações.

Apesar dessas diferentes variações e interpretações, a noção de risco de forma global remete-nos, porém, para um pensamento do tipo estatístico e probabilístico (Jerónimo, 2006). Seguindo essa mesma linha de pensamento, Amundrud & Aven (2015) acrescenta que o risco pode ser visto como um trio composto por cenário, consequências e probabilidades, onde as probabilidades representam as incertezas de ocorrências de determinados eventos. Portanto, o risco (R) pode ser apresentado como: $R = (A, C, U)$, onde U é a incerteza sobre A e C , ou seja, em ocorrência de A , C representaria as consequências da ocorrência, incluindo também a incerteza sobre os fatores subjacentes que influenciam A e C .

A incerteza U refere-se simplesmente ao fato de que A e C são desconhecidos e, por conseguinte, incerta. O grau de incerteza por sua vez, depende do conhecimento do avaliador e, portanto, é subjetiva em geral. No entanto, é importante que as incertezas não sejam confundidas com a definição de risco.

Para distinguir melhor entre os dois, Kostov & Lingard (2003) definem incerteza como uma característica do ambiente e o risco seria a percepção subjetiva dessa incerteza. Esses dois

elementos podem tanto estarem atrelados pelo aprendizado da realidade quanto por percepções e conhecimentos subjetivos.

O processo de GR começa pelo reconhecimento de um evento que apresenta uma incerteza quanto a sua ocorrência. Segundo Amundrud & Aven (2015), essa incerteza pode ser interpretada de duas maneiras através de probabilidades: como uma frequência relativa, quando há um histórico de repetidos eventos da mesma natureza; e pode ser interpretada como uma probabilidade subjetiva, onde as estimativas são feitas através de conhecimento prévios subjetivos, voltada para a perspectiva Bayesiana.

O reconhecimento do risco se dá através da mensuração dessa incerteza, onde a partir das probabilidades medidas a respeito dos eventos e dos impactos que os mesmos podem causar, assume-se uma posição de propensão ou aversão ao risco. Esse reconhecimento adverte que a concretização de determinado evento pode causar efeitos antagônicos (Kloman, 1990). Essa etapa onde o risco passa pelo reconhecimento de suas incertezas e de seus impactos é de extrema importância para o seu tratamento, pois, segundo Amundrud & Aven (2015), a falta da compreensão do risco pode causar incidentes que poderiam ser evitados se houvesse um adequado processo de gerenciamento de risco.

Além disso, é preciso que a necessidade de conhecimento se amplie a todo o contexto ao qual o risco está inserido, isso fará com que o processo de gerenciamento de risco seja mais eficiente. Para Hauer (1982), é importante que o processo de gerenciamento do risco leve em consideração o contexto ao qual está sendo gerenciado. Haight (1986) reforça esse pensamento enfatizando a importância de entender qual a natureza da probabilidade que está sendo avaliada.

Hansson & Aven (2014) também ressaltam a necessidade de um conhecimento mais aprofundado, afirmando que o processo de gerenciamento de risco consiste em: (i) conhecimento sobre os fenômenos que tem relação com o risco, processos, eventos, etc., e (ii) conceitos, teorias, enquadramentos, abordagens, princípios, métodos e modelos que possibilitam a compreensão, caracterização, comunicação e tratamento do risco.

O reconhecimento do risco e a capacidade de compreensão aprofundada do cenário ao qual está inserido contribui sobretudo para o processo de tratamento e mitigação dos riscos, seja por meio de ações preventivas ou corretivas. De acordo com Ifac (2011), o gerenciamento de risco pode ser definido como um processo que tem por objetivo a mitigação dos riscos sobre as organizações. Tal processo inclui a identificação de riscos, análise de riscos, resposta e comunicação dos riscos, monitoramento, avaliação e aprendizagem (Zou *et al.*, 2010).

Outra definição é expressa por Young & Tomski (2002), na qual eles afirmam que o gerenciar o risco consiste em tratar e controlar o risco, e através da identificação e análise do risco são criadas as medidas de controle.

A subseção que segue apresenta um diagrama do processo de gerenciamento de risco onde cada etapa do processo e suas atividades subjacentes são detalhadas e relacionadas.

2.1.1. DIAGRAMA DE GERENCIAMENTO DE RISCO-

Gerir o risco consiste em aplicar sistemáticas gestões de políticas, de práticas e procedimentos que servirão como suporte para as etapas de identificação, análise, avaliação, controle e acompanhamento do risco (Bartoo, 2003). É mostrada na Figura 2.1 as etapas do processo de gerenciamento de risco.

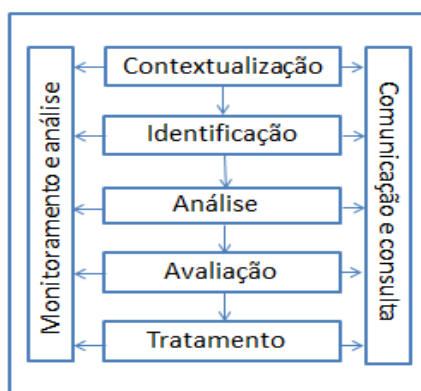


Figura 2.1: Processo de gerenciamento de risco
Fonte: Adaptada de ISO-31000 (2009)

De acordo com a ISO-31000 (2009), as etapas são definidas da seguinte maneira: Na contextualização, a organização articula seus objetivos, define os parâmetros externos e internos a serem levados em consideração ao gerenciar riscos, e estabelece também o escopo e os critérios de risco para o restante do processo.

O processo de gestão do risco segue com etapa de Identificação. Nesta etapa são identificados os riscos que podem ocorrer por meio de ameaças ou oportunidades, com o objetivo principal de gerar uma lista de riscos. Esta lista deve ser clara, bem descrita e de fácil interpretação. Nesta etapa não se deve apenas identificar o risco, mas suas causas e efeitos. É feita também a categorização dos riscos, onde os riscos são agrupados por afinidade com o objetivo de facilitar o gerenciamento.

A próxima etapa é a de análise do risco. Nela, os riscos identificados, descritos e categorizados na etapa anterior são estimados segundo sua probabilidade e seus impactos

(consequências). Estas estimativas podem ser feitas de maneira quantitativa ou qualitativa. O processo de gestão de riscos segue com a etapa de avaliação. Nesta etapa os riscos são avaliados de acordo com suas probabilidades e consequências.

Por fim, na etapa de tratamento, são identificadas as ações necessárias para tratar os riscos e ações preventivas e/ou mitigatórias são planejadas para diminuir a probabilidade e/ou impacto do risco. É importante revisitar o plano de gerenciamento concebido previamente, pois pode haver uma mudança de percepção dos riscos ao decorrer do processo.

Todo processo de gerenciamento é permeado pelas atividades de monitoramento e análise e de comunicação e consulta. Essas duas atividades tem o papel de proporcionar uma melhor interação dos stakeholders envolvidos no processo.

Em relação aos benefícios do GR para as organizações, eles podem ser vários. Um dos principais seria o apoio a tomada de decisão nas organizações. O processo de GR, segundo Kostov & Lingard (2003), tem por objetivo simplificar o problema de decisão de modo que o mesmo reestruturado não contenha o risco.

O GR é importante para as organizações também pelo fato de possibilitar identificação dos riscos de forma geral, bem como definir as características de surgimento, propor medidas de controle, agregar novos métodos e tecnologias e inserção das partes interessadas (Nielsen, 2006).

Por fim, o processo de GR, segundo Kostov & Lingard (2003), é responsável por proporcionar o controle do risco, transformando suas características de modo a torná-las favoráveis. Portanto, a gestão de riscos tenta garantir que as atividades de uma organização serão realizadas de acordo com os objetivos planejados (Brown & Bernard, 1981)

No entanto, diante das mudanças herdadas para as organizações nas últimas décadas, sobretudo pela globalização, as organizações mudaram suas formas de agir e de gerir em vários aspectos. A necessidade de melhorias no processo de GR toma uma posição competitiva, em uma sociedade cada vez mais exigente em relação à qualidade e segurança. Outra questão seria a forma como os dados se disponibilizam, cada dia em quantidades maiores e mais complexos.

A subseção atual apresentou definições e conceitos referentes ao processo de gerenciamento de risco. Dando sequência ao trabalho, a próxima subseção apresenta algumas ferramentas que são utilizadas nesse processo e que posteriormente serão utilizadas para a análise da abordagem da VI no processo de GR.

2.1.2. FERRAMENTAS UTILIZADAS NO PROCESSO DE GERENCIAMENTO DE RISCO

Atualmente há um número considerável de ferramentas que oferecem suporte ao processo de GR. Nesta subseção serão apresentadas algumas dessas ferramentas que serão importantes para o presente trabalho, pois será através delas que a identificação e análise das ferramentas de VI serão realizadas mais adiante.

As ferramentas consideradas para análise foram: FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*), FTA (*Fault Tree Analysis*), ETA (*Event Tree Analysis*), Diagrama Bow-Tie, Diagrama de Ishikawa, HAZOP (*Hazard and Operability Studies*) e ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*).

A primeira motivação para escolha dessas ferramentas de gerenciamento de risco para realização das análises partiu da possibilidade de as mesmas quanto a possibilidade de viabilizarem a análise a respeito do uso da VI no GR. Outro fator é por serem conhecidas e comumente usadas no processo de GR. Isto é importante, pois, ferramentas clássicas de gerenciamento de risco possibilitariam uma melhor avaliação quanto aos objetivos do presente trabalho. As ferramentas serão detalhadas a seguir.

2.1.2.1 FMEA/FMECA

O FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*), de acordo com Ebrahimipour *et al.* (2010), é um método utilizado para analisar os problemas potenciais de confiabilidade no ciclo de desenvolvimento de um determinado projeto, tornando mais fácil a tomada de medidas para superar os problemas, aumentando assim a confiabilidade através do design. Para Xie *et al.* (2011), o FMEA é uma análise sistemática de potenciais modos de falha destinadas a prevenir falhas.

Outra definição é dada por Less (2003), na qual o FMEA é definido como um grupo sistemático de atividades que tem o objetivo de realizar três tarefas: a primeira consiste em reconhecer e avaliar as potenciais falhas de um produto ou processo e os efeitos dessas falhas, a segunda seria identificar ações que possam eliminar ou reduzir a chance de ocorrência de falhas potenciais e a terceira é realizar a documentação de todo o processo.

A documentação permite a análise dos riscos referentes a cada modo de falha. A análise se dá através do FMECA que é tido como uma extensão do FMEA. De acordo com Wang *et al.* (2015), a Análise do Modo de Falha, Efeitos e Criticidade (FMECA) é uma técnica de avaliação da confiabilidade que examina os potenciais modos de falha dentro de um sistema e do seu equipamento, a fim de determinar os efeitos de possíveis modos de falha em equipamentos e

desempenho do sistema. Neste trabalho iremos considerar o FMEA e o FMECA como uma única ferramenta.

Cada modo de falha potencial é classificada de acordo com a gravidade dos seus efeitos, probabilidade e criticidade (Ben-Daya & Raouf, 2013). Para elaboração da documentação do processo através do FMEA/FMECA são utilizados alguns conceitos básicos para a preparação da documentação. Esses conceitos são:

- Falha: Perda de função quando ela é necessária.
- Modo de Falha: Como o dano causado é observado.
- Efeito da falha: Resultado ou consequência da falha.
- Ocorrência de falha: em termos de frequência de ocorrência.
- Severidade de falha: nível de gravidade da falha.
- Detecção de falha: quando a capacidade de detecção.
- RPN (*Risk Priority Number*): é o risco calculado que fica associado ao modo de falha.

A Tabela 2.1 mostra um exemplo de modelo de formulário do FMEA. A maioria dos dados são nominais, sendo o risco calculado de forma quantitativa. A avaliação dos riscos é definida pelo grupo os índices de severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D) para cada causa de falha, de acordo com critérios previamente definidos.

Tabela 2.1: Exemplo de tabela FMEA/FMECA

ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHA POTENCIAL								
Nome do componente	Função do componente	Modo de falha	Efeito potencial de falha	Ocorrência (O)	Severidade (S)	Detecção (D)	Risco (RPN)	Ações recomendadas
Componente X	Função Y	M ₁	E ₁	O ₁	S ₁	D ₁	RPN ₁	A ₁
		M ₂	E ₂	O ₂	S ₂	D ₂	RPN ₂	A ₂
	
		M _k	E _k	O _k	S _k	D _k	RPN _k	A _k

Fonte: Esta pesquisa

As vantagens do FMEA, de acordo com Aven (2015), é que ela dá uma visão sistemática das falhas importantes no sistema e que ele força o designer para avaliar a confiabilidade do seu sistema. Além disso, ele representa uma boa base para as mais abrangentes análises quantitativas, como análise de árvore de falhas e análise de árvore de eventos.

Um fator negativo, segundo Ebrahimipour *et al.* (2010), é o fato das informações armazenadas no FMEA estarem na forma de descrições de linguagem natural textuais que limitam a extração baseado em computador de conhecimento para a reutilização da análise FMEA em outros projetos ou durante a operação da planta. Outro fator negativo é apresentado

por Molhanec *et al.* (2012), para eles o problema mais significativo do método FMEA consiste na não completa ou insuficiente formalização do método.

2.1.2.2 FTA

De acordo com Mentis & Helvacioğlu (2011), FTA (*Fault Tree Analysis*) é uma técnica de análise sistemática e dedutiva orientada graficamente utilizada para determinar as causas e probabilidade de ocorrência de um determinado acidente indesejada. Outra definição é dada por Ferdous *et al.* (2007), na qual a FTA é uma ferramenta bem reconhecida para avaliar a segurança e confiabilidade em sistema, desenvolvimento e operação.

A FTA interpreta a relação entre o mau funcionamento dos componentes e fenômenos observados e avalia a probabilidade de um acidente resultante de sequências e combinações de falhas. A FTA utiliza símbolos para representar as inter-relações entre as falhas de equipamentos ou operações que podem causar um acidente específico. Os símbolos são usados como nós para construir uma árvore que representa as inter-relações. A Figura 2.2 mostra alguns símbolos usados para a construção da árvore de falha da FTA.

Uma árvore de bloco também pode ser construída. A árvore compreende apenas portas lógicas “e” e “ou” podem, alternativamente, ser representado por um diagrama de blocos. Este é um diagrama lógico, que mostra a capacidade funcional de um sistema. Cada componente do sistema está ilustrada por um retângulo como mostra a Figura 2.3.

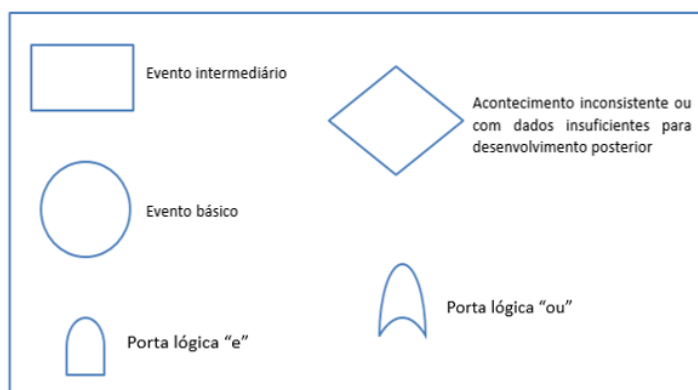


Figura 2.2: Símbolos da FTA

Fonte: Esta pesquisa

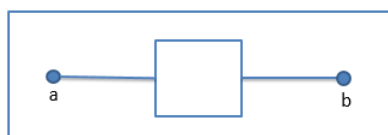


Figura 2.3: Elemento do diagrama de bloco

Fonte: Esta pesquisa

Se não houver conexão de “a” a “b”, como mostrado na Figura 2.3, significa que o componente não está funcionando com base nos critérios que se aplicam para a análise particular. Normalmente funcionamento significa ausência de um ou mais modos de falha.

O processo de construção da árvore tem início com a percepção ou previsão de uma falha, que a seguir é decomposto e detalhado até eventos mais simples. Dessa forma, a análise da árvore de falhas é uma técnica *top-down*, pois parte de eventos gerais que são desdobrados em eventos causadores primários. A Figura 2.4 mostra um exemplo de árvore de falha.

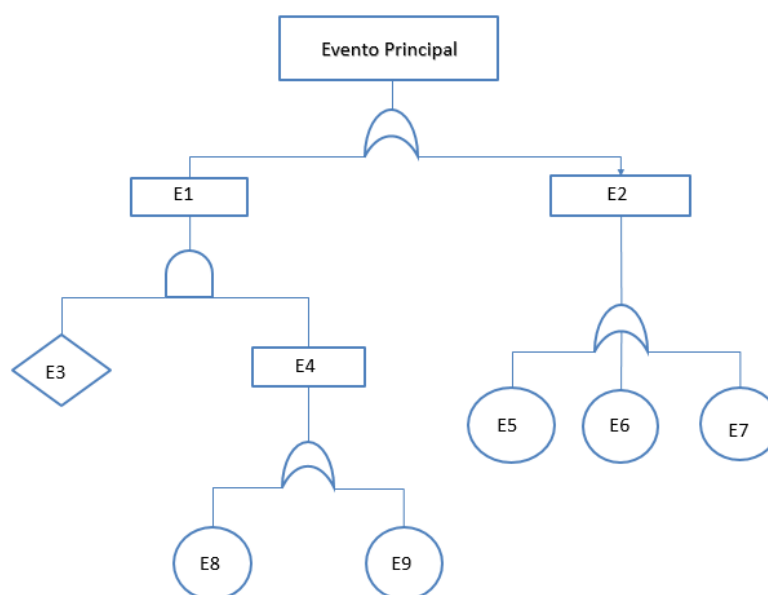


Figura 2.4: Exemplo de árvore de falha

Fonte: Esta pesquisa

De acordo com Aven (2015), a árvore de falhas é fácil de entender para pessoas com nenhum conhecimento prévio sobre a técnica. A análise da árvore de falhas é bem documentada e simples de usar. Uma das vantagens da utilização da técnica é que as pessoas que realizam a análise são induzidas a compreender o sistema.

Por outro lado, uma desvantagem seria a visualização estática das combinações de falhas que podem causar o evento superior a ocorrer. O método de análise de árvore de falha não é adequado para análise de sistemas com propriedades dinâmicas. Outro problema é o tratamento de falhas de modo comum.

2.1.2.3 ETA

A análise de árvore de evento – ETA (*Event Tree Analysis*), de acordo com Huang *et al.* (2001), é uma lógica indutiva que utiliza o método de diagrama para identificar os vários resultados possíveis de um determinado evento inicial. A ETA é comumente usada para identificar as consequências que podem resultar após a ocorrência de um evento potencialmente perigosa (Andrews & Dunnett, 2000).

A ETA como uma ferramenta na avaliação de risco pode ajudar a prevenir que resultados negativos ocorram, fornecendo uma avaliação do risco com a probabilidade de ocorrência. A ETA usa um tipo de técnica de modelagem, que ramifica os eventos de um único evento usando a lógica booleana.

A árvore de eventos começa com o evento inicial em que as consequências deste evento siga em um sucesso ou insucesso de forma binária. Cada evento cria um percurso no qual uma série de sucessos e falhas ocorrerá onde a probabilidade global de ocorrência para esse caminho pode ser calculada. Um exemplo de ETA é dado por Aven (2015) e pode ser visto na Figura 2.5. A partir de um evento A inicial, tem-se as probabilidades de ocorrência e de não ocorrências de eventos secundários B e C, onde Y representa a consequência relacionado a cada evento.

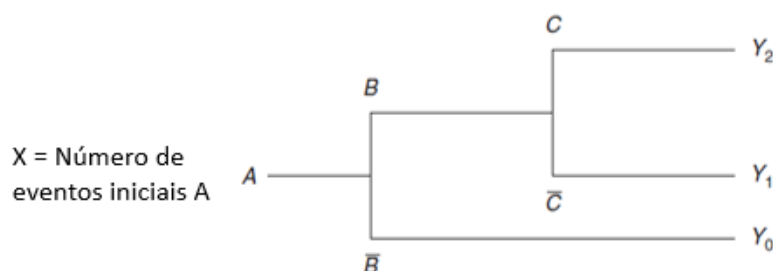


Figura 2.5: Exemplo de Arvore de Evento
Fonte: (Aven, 2008)

2.1.2.4 BOW-TIE

A metodologia de análise Bow-Tie é uma maneira esquemática e simples de descrever e analisar os caminhos de um risco, desde as suas causas até as suas consequências. O foco do Bow-Tie está nas barreiras entre as causas e as consequências. De acordo com Badreddine & Amor (2013), a metodologia é uma ferramenta que descreve todo o cenário de um dado risco graficamente, e propõe barreiras preventivas e de proteção para reduzir, respetivamente, a sua ocorrência e gravidade.

O diagrama Bow-Tie são usados na etapa de identificação no processo de gerenciamento de risco (De Dianous & Fiévez, 2006). O evento a ser estudado é posicionado no centro do diagrama, suas causas a esquerda e seus efeitos a direita, permitindo a visualização das relações entre os elementos do sistema modelado. Essa configuração pode ser vista na Figura 2.6 que mostra um exemplo de visual da metodologia Bow-Tie.

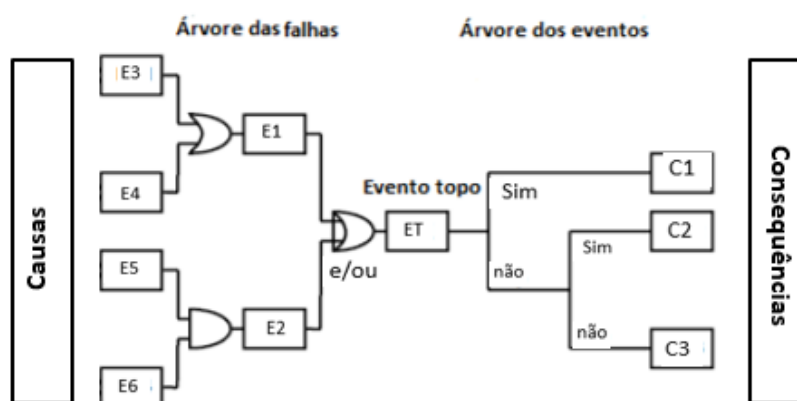


Figura 2.6: Diagrama Bow-Tie
Fonte: Adaptado de Markowski et al. (2009)

De acordo com Yaneira *et al.* (2013), umas das vantagens do diagrama Bow-Tie se dá em virtude de sua natureza gráfica que facilita a compreensão da gestão de riscos por grupos de gestão e operação superiores. Para Badreddine & Amor (2013), um ponto fraco dos diagramas Bow-Tie é que eles estão restritos a uma representação gráfica de diferentes cenários projetados exclusivamente por especialistas que ignoram o aspecto dinâmico de sistemas reais. Assim, a construção de diagramas Bow-Tie de forma automática e dinâmica continua a ser um desafio real.

2.1.2.5 HAZOP

O estudo de Perigo e Operacionalidade – HAZOP (*Hazards and Operability Study*), segundo Khan & Abbasi (1997), é uma das ferramentas mais comuns para realizar avaliação qualitativa de risco. Trata-se de um estudo detalhado de cada parte de toda a linha de um processo do início ao fim. De acordo com Theobald (2013), o HAZOP investiga de forma minuciosa cada seguimento de um processo, visando descobrir todos os possíveis desvios das condições normais de operação, lembrando que a operabilidade é tão importante quanto à identificação dos perigos.

Um estudo HAZOP é uma análise sistemática de como desvio das especificações do projeto em um sistema podem surgir, e uma análise do potencial risco de estes desvios (Aven, 2008). Esse estudo é sistemático e possui alguns termos importantes que devem ser conhecidos como pré-requisito.

- *Nós de estudo* – são os locais na qual os parâmetros do processo são investigados através de análise dos desvios.
- *Intenção* - define como a planta é esperada para operar na ausência de desvios para o estudo dos nós. Pode ter formas numéricas e pode ser descritivo ou diagramático.
- *Desvios* - São as partidas da intenção que são descobertas aplicando sistematicamente o guia de palavras.
- *Causas* - São as razões pelas quais os desvios podem ocorrer. Uma vez que um desvio tem sido demonstrado que têm uma credível causa, ela pode ser tratada como um desvio significativo. Essas causas podem ser falhas de hardware, erros humanos, etc.
- *Consequências* - são os resultados dos desvios ocorridos (por exemplo, lançamento de materiais tóxicos). Consequências triviais, em relação ao objetivo de estudo, são descartadas.
- *Palavras guia* - são palavras simples que são usadas para qualificar ou quantificar a intenção para orientar e estimular o processo de descoberta dos desvios.

Um exemplo de relatório do HAZOP é apresentado na Tabela 2.2 e pode-se ver os componentes os conceitos apresentados acima através do exemplo de uma tabela usada no HAZOP. Na Tabela 2.3 apresenta o risco através da matriz de risco que classifica os riscos calculados na coluna sete da Tabela 2.2.

Na matriz de risco, os cenários que se encontram numa região de riscos aceitáveis são permissíveis sem nenhum tratamento sobre o risco; a região tolerável indica cenários de acidente cujo risco é tolerável, dado que são necessárias medidas preventivas e mitigatórias a curto, médio e longo prazo e na região inaceitável estão os cenários de risco considerados inadmissíveis, portanto, sendo necessárias soluções imediatas.

Tabela 2.2: Exemplo de tabela HAZOP

ESTUDO DE PERIGO E OPERACIONALIDADE (HAZOP)									
Desvio	Possíveis causas	Efeitos	Prestações Existentes	Risco			Recomendações /observações	Responsável/ prazo	Nº de cenário
				Frequência	Severidade	Risco			

Fonte: Esta pesquisa

Tabela 2.3: Matriz de risco

Matriz de Risco		Probabilidade		
		Baixo	Médio	Alto
Impacto	Baixo	Aceitável	Aceitável	Tolerável
	Médio	Aceitável	Tolerável	Inaceitável
	Alto	Tolerável	Inaceitável	Inaceitável

Fonte: Esta pesquisa

2.1.2.6 Princípio ALARP

A expressão ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*) é um termo relacionado à redução do risco para um nível que seja tão baixo quanto razoavelmente possível. Na prática, isto significa que deve-se mostrar através de argumentos fundamentados e suportados que não existem outras opções viáveis que poderiam razoavelmente ser adotadas para reduzir ainda mais os riscos (NOPSEMA, 2015).

A região que representa o ALARP, como pode ser visto na Figura 2.7, situa-se entre os níveis de risco inaceitavelmente elevados e aceitáveis. O nível ALARP é alcançado quando o tempo, problemas e custos de novas medidas de redução de se tornar exageradamente desproporcional para a redução de risco adicional obtida.

Os intervalos no ALARP podem ser representados através da matriz de risco vista no HAZOP e também através de outras duas formas a partir de gráficos de duas dimensões. Apesar das diferentes formas de visualização, todos têm o objetivo de contribuir para a tomada de decisão em relação as classificações dos riscos de acordo com seu grau quanto baixo, médio e alto.

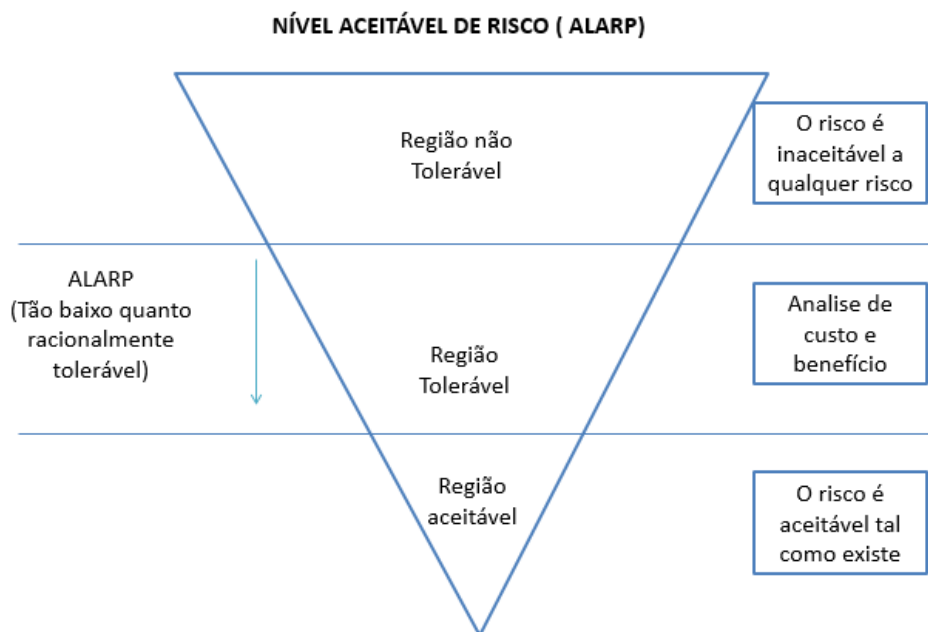


Figura 2.7: Classificação de regiões no ALARP
Fonte: Esta pesquisa

2.1.2.7 Diagrama de Ishikawa

O Diagrama de Ishikawa, também conhecido como Diagrama de Causa e Efeito ou Diagrama Espinha de peixe, é um gráfico cuja finalidade é organizar o raciocínio e discussões de um problema prioritário, em processos diversos, especialmente na produção industrial.

De acordo com Oliveira *et al.* (2013), o Diagrama de Ishikawa é uma técnica largamente utilizada, que mostra a relação entre um efeito e as possíveis causas que podem contribuir para que ele ocorra. Um exemplo do diagrama de Ishikawa pode ser visto na Figura 2.8.

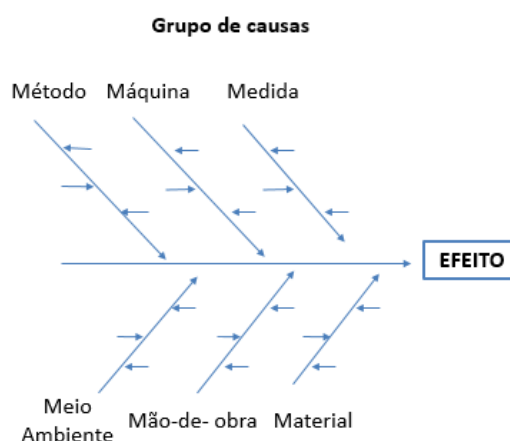


Figura 2.8: Exemplo de diagrama de Ishikawa

Fonte: Oliveira *et al.* (2013)

Na estrutura do diagrama de Ishikawa, as causas dos problemas (efeitos) podem ser classificadas como sendo de seis tipos diferentes (6M):

- Método: toda a causa envolvendo o método que estava sendo executado o trabalho;
- Matéria-prima: toda causa que envolve o material que estava sendo utilizado no trabalho;
- Mão de obra: toda causa que envolve uma atitude do colaborador (ex.: procedimento inadequado, pressa, imprudência, ato inseguro, etc.);
- Máquinas: toda causa envolvendo a máquina que estava sendo operada;
- Medida: toda causa que envolve os instrumentos de medida, sua calibração, a efetividade de indicadores em mostrar as variações de resultado;
- Meio ambiente: toda causa que envolve o meio ambiente em si (poluição, calor, poeira) e o ambiente de trabalho (layout, falta de espaço, dimensionamento inadequado dos equipamentos).

Uma das desvantagens do diagrama de Ishikawa, segundo Graves (2010), é que ele separa causas em diferentes categorias sem mostrar relações de causa e efeito específicos. No entanto, um diagrama de Ishikawa bem executado é representativo de múltiplos fatores causais e uma abordagem de sistemas para investigação.

A presente seção abordou o processo de gerenciamento de risco, sua estrutura e algumas ferramentas de suporte aplicadas no processo. Na próxima seção trata da VI e suas principais técnicas e ferramentas usadas para criação de visualizações.

2.2 VISUALIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO

A informação é hoje algo aceito pelas organizações em virtude de sua relevância, sobretudo na tomada de decisão, sendo necessária uma gestão da informação que esteja de acordo com os objetivos competitivos organizacionais (Silva & Tomaél, 2007). No entanto, ter acesso à informação não é suficiente para obter o sucesso organizacional desejado.

É preciso que as organizações conheçam detalhadamente seus bancos de dados para que assim possam tratá-los e obter deles o máximo de informação que possa contribuir para a organização realizar suas tarefas. Na concepção atual, existe ferramentas que auxiliam no tratamento dos dados e na comunicação da informação gerada por esses dados, sobretudo quando esses dados se apresentam em grandes quantidades. Para começar a explorar essas ferramentas de visualização, iremos introduzir um conceito muito importante atualmente, esse conceito é a informação.

A informação, de acordo com Stair & Reynolds (2013), pode ser definida como o resultado da união de vários tipos de dados que representam fatos, onde esses fatos organizados de forma significativa geram a informação. Dados, porém, de acordo com Almeida & Ramos (2002) são fatos na sua forma bruta, ou seja, na forma em que são obtidos.

Concluimos dessa forma, que dados processados geram informação e a informação por sua vez gera conhecimento. Conhecimento, segundo Stair & Reynolds (2013), o conhecimento diz respeito a consciência e a compreensão referentes a um conjunto de informações e a forma como essa informação pode ser útil para a tomada de decisão. Os usuários de informação terão influência nas ferramentas de acesso digital, exploração, visualização, análise e colaboração (Stone, 2009).

Diante disso, nota-se que o uso de ferramentas que colaborem com a transmissão da informação através de visualizações interativas aperfeiçoa a capacidade de geração de conhecimento. Atualmente a visualização da Informação é uma dessas ferramentas. De acordo com Lin (1997), a visualização da informação usa figuras e formatos de apresentações visuais que ajudam a organizar e explorar grande quantidade de informação, através do efetivo uso das capacidades visuais humanas.

Neste mesmo pensamento, Stone (2009) afirma que, na ciência da computação, o conceito de visualização descreve um campo de estudo que utiliza ferramentas gráficas interativas para explorar e apresentar dados digitalmente representados que podem ser simuladas, medidos ou arquivados.

A Figura 2.9 mostra o processo de VI. Nela, os dados brutos são fatos que ainda não foram processados. São coletados a partir de formulários, textos ou entrevistas e em seguida são dispostos em tabelas de dados, local onde os dados brutos são armazenados. Nas estruturas visuais é feito o mapeamento das tabelas de dados com o objetivo de facilitar o entendimento das informações.

A visualização da informação, como já foi explanado propriamente, gera uma série de benefícios que vai desde a organização de grandes quantidades de dados a visualizações interativas que facilita a aquisição do conhecimento. Na próxima seção esses benefícios serão tratados, bem como também seu mais importante papel, que é a capacidade de suporte a tomada de decisão.

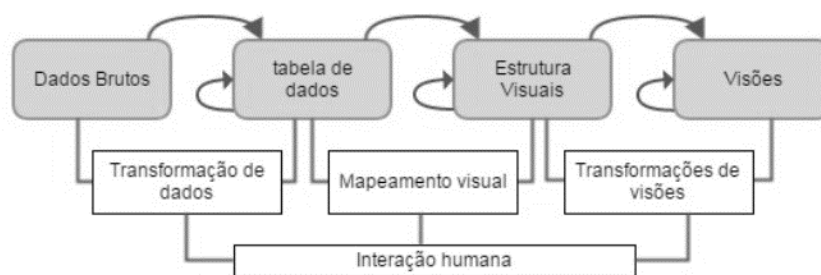


Figura 2.9: Modelo de referência de Visualização da informação
 Fonte: Adaptado de Khan & Khan (2011)

2.2.1. VISUALIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO NA TOMADA DE DECISÃO

Para se tomar determinada decisão é necessário que haja algum conhecimento a respeito sobretudo das consequências que serão obtidas ao se tomar determinada decisão. Em decisões simples do dia-a-dia não precisamos de técnicas ou ferramentas sofisticadas para nos auxiliar nessas decisões. Por outro lado, quando nos deparamos com uma decisão que envolve várias variáveis a serem consideradas, a tarefa já não se torna tão trivial assim.

Além disso, quando essas decisões além de possuírem várias variáveis a serem consideradas possuem também grandes quantidades de informações a serem adquiridas e analisadas, a tomada de decisão se complica ainda mais. Surge, portanto, a necessidade de ferramentas catalisadoras e simplificadoras do processo de geração do conhecimento.

Neste contexto, a VI emerge como meio alternativo na busca pelo suprimento dessa necessidade e também como forte aliada no processo de geração de conhecimento. Para Zhao & Zhou (2008), a visualização da informação é uma ferramenta responsável por transformar a informação em um modelo visual. Esse modelo visual facilita a compreensão da informação. Segundo Al-Kassab *et al.* (2014), a visualização funciona como catalisador para interpretações que estão na base de extração de conhecimento, pesquisa e criação.

Para Garcez *et al.* (2015) A VI se mostra uma ferramenta importante no processo de tomada de decisão, pois, através dela as organizações são capazes de obter as informações de forma mais eficiente através do tratamento dos dados e visualizações gráficas.

A maior compreensão e a maior capacidade de processamento da informação a partir da visualização, contribuem, portanto, para o entendimento de dados coletados, aumentado dessa forma o interesse e a possibilidade de realização de uma visão crítica através da percepção humana. Isso gera, segundo Kerren *et al.* (2008), novos conhecimentos, ideias e teorias a respeito do conteúdo abordado permitindo finalmente, a internalização do conhecimento e

fazendo com que os decisores sejam capazes de usá-las para responder indagações e tomar decisões.

Esse processo que envolve geração de conhecimento, comunicação e tomada de decisão foi ilustrada por Al-Kassab *et al.* (2014), eles identificaram três funções principais da VI que resumem a sua importância no processo decisório. A Figura 2.10 ilustra essas três funções fundamentais da visualização de informação que são: VI como um meio de comunicação, VI como um meio de gestão do conhecimento, e VI como um instrumento de apoio à decisão.

As três funções resumem a importância da visualização da informação para a tomada de decisão através de uma comunicação e de uma geração de conhecimento eficiente. Além disso, é preciso levar em consideração a interdependência entre as funções, onde, se faz necessário qualidade na realização de cada função individualmente, para que haja desse modo, uma eficiência global na aplicação da VI.

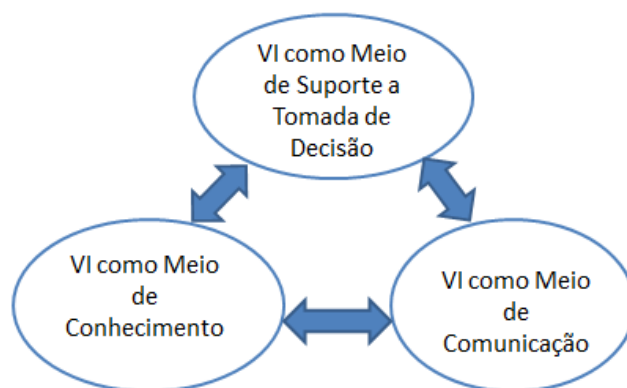


Figura 2.10: Funções de visualização de informação
Fonte: Adaptado de AL-KASSAB et al. (2014)

A próxima seção apresenta algumas técnicas e ferramentas usadas na VI e também faz uma explanação a respeito dos dados que são por sua vez, a matéria prima utilizada para o processo de comunicação.

2.2.2. PRINCIPAIS TÉCNICAS E FERRAMENTAS DA A VI

Através da visualização é possível alcançar vários benefícios para as organizações. Em termos práticos, de acordo com Ware (2012), um dos maiores benefícios da visualização é a grande quantidade de informações que pode ser interpretado rapidamente se for apresentado de maneira adequada.

A maneira adequada de representação da informação além de torná-la mais fácil de ser entendida, gera muitos outros benefícios, sobretudo para a tomada de decisão, todavia, um mal

planejamento e aplicação de técnicas de visualização pode surtir efeito contrário. O desafio, portanto, está na representação da informação, segundo Al-Kassab *et al.* (2014), a maneira que a informação é representada facilita ou dificulta a capacidade do cérebro humano para interpretar a informação.

Diante disso, se faz necessário a representação adequada da informação para diferentes contextos, como também se faz necessário a capacidade de promover a interação homem-máquina no ato da visualização. Isso deve-se ao fato de que, melhoras cognitivas muitas vezes podem estar atreladas a relação interativa entre homem-máquina ou dos indivíduos entre si. Para Ware (2012), melhorar as interfaces de exibição pode substancialmente melhorar o desempenho de todo o sistema de visualização da informação.

Portanto, é fundamental que o uso da ciência de visualização seja feito através da aplicação adequada de suas ferramentas e técnicas. Uma abordagem interessante que pode contribuir para uma melhor representação visual é feita por Keim (2002). Ele propõe uma classificação de visualização da informação e técnicas de mineração de dados visuais. Essa classificação é baseada no tipo de dados a serem visualizados, na técnica de visualização e de técnicas de interação e distorção. Essas três dimensões podem ser vistas na Figura 2.11.

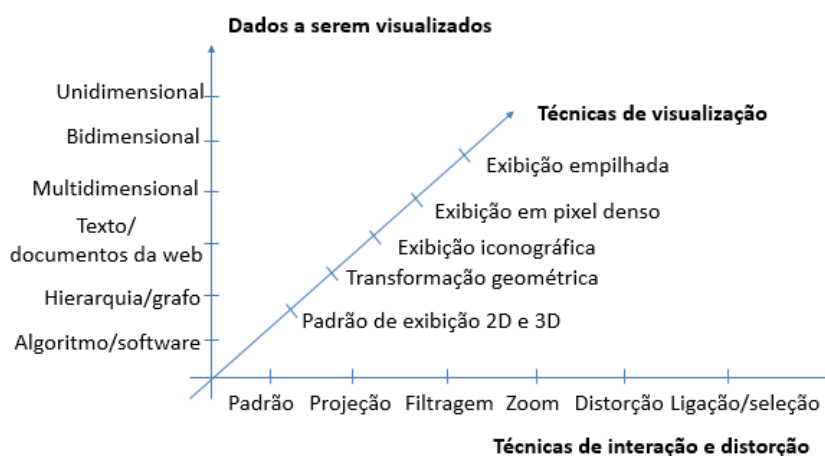


Figura 2.11: Classificação das técnicas de visualização da informação
Fonte: Keim (2002)

O primeiro critério levado em consideração para começar a pensar em uma visualização é o tipo de dados que será visualizado para gerar informação. Conhecendo o tipo de dados, as técnicas de visualização oferecem um direcionamento a respeito de que maneira os dados podem ser representados de modo a oferecer um maior aproveitamento das informações que, uma vez organizados visualmente, podem transmitir. Por fim, as técnicas de distorção oferecem

suporte para que esses dados possam ser analisados e comparados de forma interativa, tendo em vista que a interação torna a aquisição de conhecimento mais eficiente.

A seção segue com três subseções que aborda cada uma das dimensões que tratam da classificação das técnicas de VI mais detalhadamente. A primeira subseção, dando sequência, traz uma abordagem dos tipos de dados e das suas implicações nas técnicas de visualização da informação.

2.2.2.1. Classificação dos dados

Os dados possuem grande importância na ciência da visualização. Segundo Ware (2012), se podemos distinguir de forma generalizada o tipo de visualização para determinado tipo de dado, temos uma verdadeira ciência da visualização. Infelizmente, a classificação dos dados é um grande problema.

Neste trabalho será considerada a classificação em que os dados são subdivididos em entidades, relacionamentos ou relações e atributos. De acordo com Ware (2012), entidades são geralmente os objetos de interesse. Podemos citar como exemplos de entidades máquinas em operação, dados demográficos, etc. Um grupo de indivíduos ou coisas pode ser considerada uma única entidade se é conveniente, por exemplo, um número de pacientes sendo analisados em uma pesquisa de saúde.

Relacionamentos, segundo Ware (2012), formam as estruturas com que se relacionam as entidades. Os relacionamentos podem ser: estruturais e físicos, conceituais, causais e temporais. Atributos são características presentes nas entidades ou relações. De um modo geral, algo que deve ser chamado de atribuir, no caso de uma entidade, por exemplo, refere-se a algo que não pode ser pensado de forma independente, por exemplo, velocidade é um atributo de deslocamento.

Por outro lado, a definição de entidade e atributo nem sempre é simples. Por exemplo, o pneu é um atributo de um carro, sendo o carro uma entidade, no entanto, cada tipo de carro tem um pneu específico, portanto, o atributo seria também uma entidade. Portanto, é preciso em um grande conjunto de dados definir os atributos das entidades e das relações de forma precisa, para que os mesmos sejam tratados adequadamente.

A Figura 2.12 mostra um exemplo de uma classificação dos dados. No exemplo são considerados três atributos para a entidade terremoto. A magnitude do terremoto na escala Richter, o raio de alcance do terremoto em (*km*) e a duração do terremoto em segundos (*s*) são

os atributos considerados. As relações podem ser padronizadas através das análises e comparação dos valores que os atributos possuem.

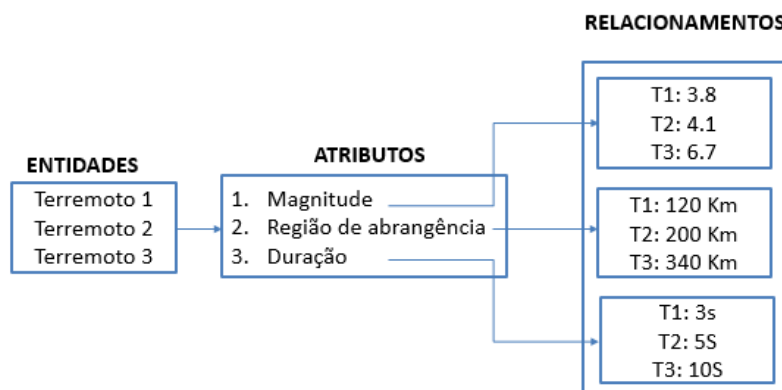


Figura 2.12: Exemplo de atributo, entidade e relacionamento
Fonte: Esta pesquisa

A qualidade de visualização dos atributos de acordo com Ware (2012), muitas vezes está relacionada com a qualidade dos dados que representam esses atributos. Portanto, uma breve explanação a respeito da classificação geral dos dados de acordo com Stevens (1946) e casos mais particulares, de acordo com Keim (2002).

Classificação geral dos dados

Uma maneira útil de considerar a qualidade dos dados é através da taxonomia de escalas dos números apresentada por Stevens (1946), essas escalas são: nominal, ordinal, intervalar e de razão.

Na prática, segundo Ware (2012), apenas três dos níveis de Stevens de medição são amplamente utilizados de forma um pouco distinta. As classes de dados básicos típicos mais frequentemente consideradas na visualização tem sido muito influenciada pelas demandas da programação de computadores. Eles são os seguintes:

- Dados categóricos: isto é, como classe nominal de Stevens.
- Dados de número inteiro: isto é, como o ordinal de classe em que é discreta e ordenada.
- Dados de número real: combina as propriedades das escalas de intervalo e razão.

Essa classificação dos dados, segundo Ware (2012), fornecem um importante suporte para discutir técnicas de visualização. Em termos práticos, usar gráficos de barras para exibir informações de dados categóricos é susceptível de induzir em erro, porque tendemos a interpretar o tamanho como a representação de quantidade. Cor, por exemplo, seria mais

indicado para dados categóricos e em alguns casos dados de número inteiros, já em intervalos, a cor não é muito eficaz.

Dimensão

A dimensão dependerá do atributo, onde cada atributo pode chegar a ter múltiplas dimensões. A dimensão pode ser unidimensional, bidimensional, tridimensional ou multidimensional. Um exemplo de um atributo unidimensional é a ordem cronológica, o lançamento de um projétil é um exemplo de dados de duas dimensões e o campo gravitacional da terra é um exemplo de dados tridimensional (Keim, 2002).

Texto e hipertexto

Os textos e hipertextos diferem dos outros tipos de dados porque eles não podem ser facilmente descritos por números e, por isso, a maior parte das técnicas de visualização padrão não pode ser aplicada. Na maioria dos casos, em primeiro lugar uma transformação dos dados em vetores é necessária antes de técnicas de visualização pode ser utilizado. Um exemplo de uma transformação simples é contagem de palavras, que é muitas vezes combinada com uma análise de componentes principais ou escalonamento multidimensional (Keim, 2002).

Hierárquicos

Um banco de dados hierárquico consiste em uma coleção de registros que são conectados uns aos outros por meio de ligações. Um registro é uma coleção de campos, cada qual contendo apenas um valor de dados. Uma ligação é uma associação entre exatamente dois registros. O modelo hierárquico é, portanto, similar ao modelo de rede, no sentido de que dados e relacionamentos entre dados são também representados por registros e ligações, respectivamente. Os grafos são amplamente utilizados para representar essas interdependências. Um grafo é composto por um conjunto de objetos, chamados de nós e conexões entre esses objetos, chamados bordas (Keim, 2002).

Algoritmos e software

Algoritmos e software formam uma classe de dados que lidam com grandes projetos de software. O objetivo da visualização é apoiar o desenvolvimento de software, ajudando a entender algoritmos, por exemplo, através da visualização de erros.

Essas classificações dos dados apresentada são importantes na escolha das técnicas que serão utilizadas para a visualização da informação. A próxima subseção apresenta algumas ferramentas e técnicas para cada tipo de dado e também alguns exemplos de aplicação dessas ferramentas e técnicas em alguns campos de conhecimento diversos (Keim, 2002).

2.2.2.2. Técnicas de visualização da informação

Nesta subseção serão apresentadas algumas técnicas de visualização importantes para a ciência da VI. As técnicas apresentadas são classificadas de acordo com o tipo de dados que estão sendo considerados para a visualização. Essas técnicas serão apresentadas e detalhadas a seguir.

Visualização dos dados quanto a cor

A cor é extremamente útil na visualização de dados. A cor pode ser muito importante para a rotulagem e categorização, no entanto, não é eficiente para a exibição de forma, detalhe ou espaço. De acordo com Stone (2006), cor utilizada bem pode melhorar e clarificar uma apresentação. Por outro lado, a cor utilizada de forma incorreta pode confundir.

Em primeiro lugar, antes de utilizar cores é preciso conhecer alguns conceitos importantes sobre cores. Esses conceitos podem ajudar no uso adequado e diminuir inconsistências quanto ao uso de cores na visualização. É importante saber a princípio as três propriedades básicas da cor: tonalidade, saturação e brilho.

Tonalidade é o atributo da percepção visual onde uma cor é percebida como vermelho, amarela, verde, azul, etc. Os brancos, pretos e cinza puros não possuem tonalidade. Saturação é o atributo da percepção visual que indica o grau de pureza da cor, ou seja, quanto maior a saturação, maior o grau de pureza da cor. Por fim, brilho é a sensação produzida pela luminância do estímulo (Mogo, 2013).

Essas propriedades podem ser facilmente observadas no sistema de cores proposta de Munsell (vide Figura 2.13). O sistema de cores de Munsell é um sistema de ordenamento de cores perceptualmente uniforme que possibilita um arranjo tridimensional das cores num espaço cilíndrico de três eixos e que permite especificar uma determinada cor através de três dimensões. Foi criado pelo professor Albert H. Munsell na primeira década do século XX e é usado ainda hoje em diversas ciências.

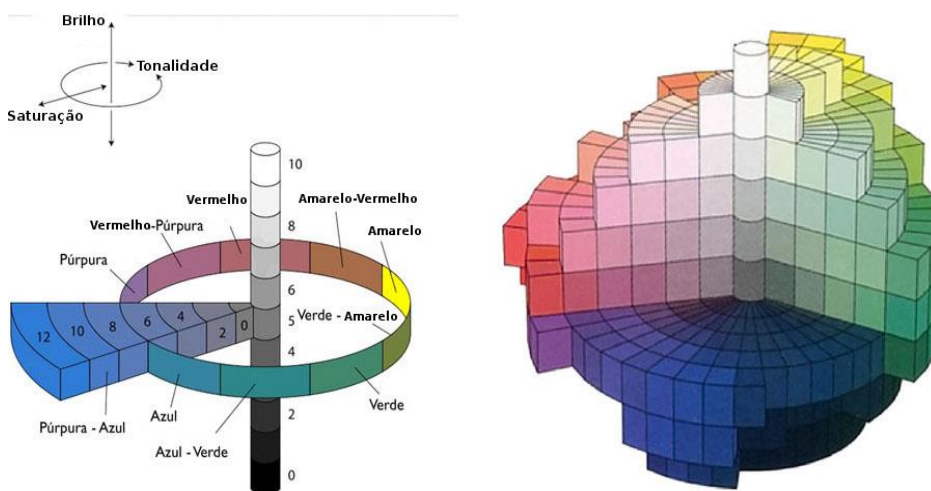


Figura 2.13: Sistema de cores de Munsell
 Fonte: Mogo (2013)

Para tornar mais claro as propriedades apresentadas, a Figura 2.14 retirada de Ware (2012) apresenta sete sequencias de cores diferentes onde: (a) representa uma escala de cinza onde se aplica luminância da esquerda à direita.(b) representa um aproximação em espectro onde é possível observar algumas tonalidades. (c) cores oponentes: vermelho-verde. (d) aumento da saturação da esquerda para a direita na cor vermelha (e, f) Duas sequências que são percebidos por pessoas que sofrem das formas mais comuns de daltonismo. (g) Sequência de cores em que cada cor é mais leve do que o anterior.

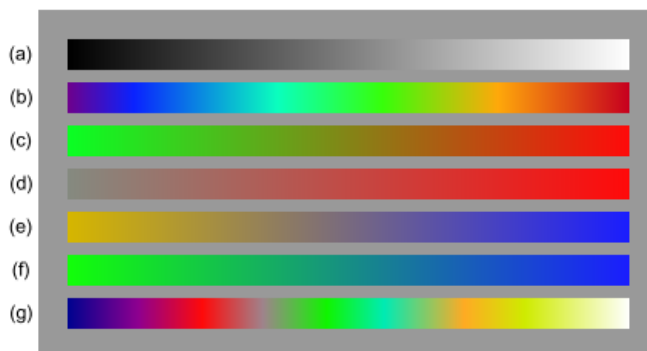


Figura 2.14: Exemplo de sequência de cores
 Fonte: Ware (2012)

Para reforçar as considerações a respeito do uso adequado das cores, Ware (2012) aponta algumas aplicações e sugestões importantes. Essas aplicações e sugestões são detalhadas a seguir.

Cores para codificação

Com o uso de cores é possível atribuir determinada classificação que codifica objetos ou valores nominais através da atribuição de cores. Um código nominal veta a necessidade de

ordenação pois pode ser lembrado e reconhecido. Alguns critérios para escolha de um conjunto de cores para categorização devem ser considerados.

- *Nitidez*: a nitidez é importante para que as diferenças entre as cores sejam observadas de forma clara.
- *Contraste com fundo*: contraste simultâneo com cores de fundo pode alterar drasticamente a aparência das cores, tornando uma cor parecer com outra. Isso é uma razão pela qual é aconselhável ter apenas um pequeno conjunto de códigos de cores. Um método para reduzir efeitos de contraste é colocar uma borda branca ou preta fina em torno do objeto codificado por cores.
- *Daltonismo*: deve-se considerar na visualização as pessoas que tem dificuldade de diferenciar determinadas cores, principalmente entre vermelho e verde. Diante disso, é importante usar cores que podem ser distinguidos, mesmo por pessoas que são daltônicos.
- *Número*: é importante levar em consideração a capacidade de percepção de códigos a partir das cores. As estimativas variam entre cerca de cinco e dez códigos (Healey, 1996).
- *Tamanho do campo*: objetos com código de cores não deve ser muito pequeno. Em geral, quanto maior a área que é um código de cores, mais facilmente as cores podem ser distinguidas. Pequenos objetos que são codificados por cores devem ter cores altamente saturadas.
- *Convenções*: convenções de codificação de cor deve por vezes ser tida em conta. Algumas convenções comuns são o vermelho = quente, vermelho = perigo, azul = frio, verde = vida, verde = ir. No entanto, é importante ter em mente que estas convenções não necessariamente as mesmas para as diversas culturas existentes no mundo.

Uso de cores quanto o tipo de dados

Pseudo-cor é a técnica de representação de valores variando continuamente utilizando uma sequência de cores. A Pseudo-cor é amplamente utilizado para os gráficos de radiação astronômicos, medicina, e muitas outras aplicações científicas.

De acordo com Ware (2012), é útil considerar o problema da seleção de uma sequência de cores de acordo com a taxonomia de escalas de medição de Stevens (1946) que é nominal, ordinal, intervalar e de razão.

Pseudo-cor para sequencias nominais

Uma sequência pseudo-cor nominal é projetado para permitir a classificação visual rápida das regiões em que os valores dentro das regiões não possuem nenhuma ordem particular. As considerações na escolha de cores para sequências nominais são os mesmos no caso da rotulagem de cor. As cores devem ser escolhidas para ser visualmente distintos uns dos outros. A Figura 2.15 mostra um exemplo de cores usadas para classificar pontos de acidentes de trânsito e valores quantitativos.

Na Figura 2.15 observa-se cores nos tons de azul e vermelho para representar as médias de acidentes em determinadas regiões, onde o azul representa uma média que varia de zero à cinco acidentes e o vermelho representa uma média de acidentes maior que cinco. Os intervalos das medias entre zero e cinco são expressos através da saturação da cor azul, quando maior a média, maior a saturação.

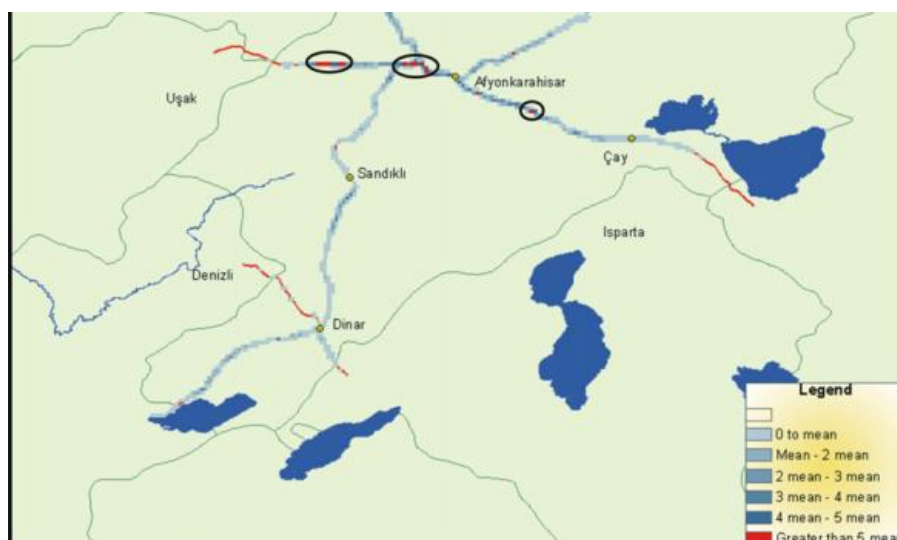


Figura 2.15: Gráfico onde as cores representam a temperatura
Fonte: Erdogan et al.(2008)

Pseudo-cor para sequencias ordinais

Sequência de pseudo-cor ordinal é uma ordenação monótona de valores de dados que pode ser percebida em diferentes partes do display. O valor ordinal pode ser corretamente interpretado rapidamente e é importante que a sequência de cores aumente monotonamente com respeito para um ou mais dos canais de cor do oponente.

Tal ordenação monótona pode ser obtida diretamente usando uma sequência em preto-branco, vermelho-verde ou amarelo-azul. Mas também pode ser obtido com uma sequência de saturação ou com qualquer linha reta através do espaço de cor oponente.

Na Figura 2.16a, os dados de concentração de ozônio são apresentados através uma sequência de escala de cinza, através de uma sequência de saturação de cor. A saturação baixa indica intensidade de concentração alta e a alta saturação indica concentração alta com valores que variam de 177 a 438. A saturação mostra muito menos detalhes. Para efeitos de comparação, a Figura 2.16b mostra uma aproximação em espectro. O exemplo não é perceptivelmente ordinal, mas mostra claramente diferentes regiões do mapa de dados. Às vezes uma sequência de aproximação em espectro pode ser mais eficaz, porque o sistema de percepção tende a segmentá-lo em regiões de vermelho, verde, amarelo e azul, no entanto, é algo particular de cada caso.

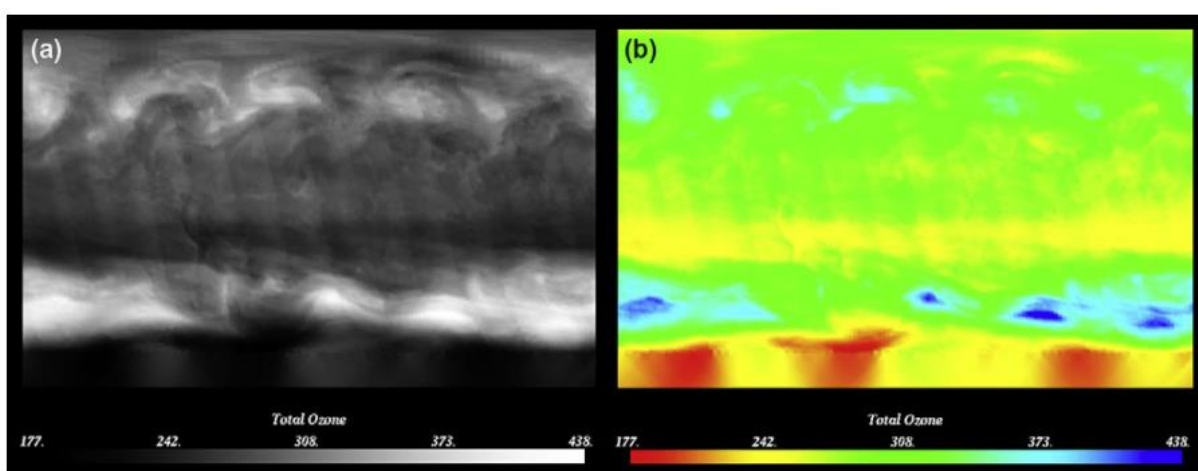


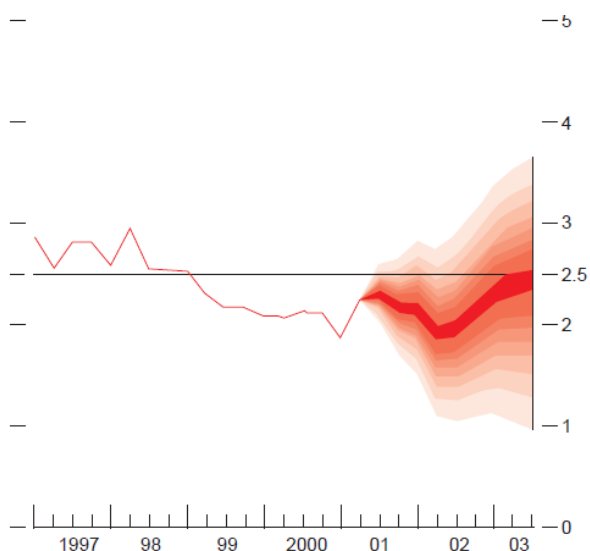
Figura 2.16: Visualização de dados ordinais
Fonte: Ware (2012)

Pseudo-cor para sequências Intervalares

Uma sequência de intervalo é um passo no qual cada unidade da sequência representa uma alteração igual em magnitude da característica a ser exibido. Isso significa o uso de um espaço de cor uniforme em que a igualdade corresponde a métricas iguais. A Figura 2.17 não é um mapa, mas uma previsão econômica. O aumento da incerteza na predição é mostrado através de medidas de cor claramente visíveis, cada um dos quais representa um aumento de 5% no nível de incerteza.

A maneira tradicional de exibir uma sequência de intervalo é através do uso de contornos.

Mapas de contorno mostram o padrão de alturas iguais ou outros atributos físicos com grande precisão, mas usá-los a compreender a forma geral de um terreno ou um campo de energia tem habilidade e experiência consideráveis.



*Figura 2.17: Aumento percentual nos preços do ano anterior uma previsão económica com a incerteza estimada. Cada cor mostra um aumento de 5% na incerteza.
Fonte: Ware (2012)*

Pseudo-cor para sequencias de razão

Uma sequência de proporção é uma sequência de intervalo que tem um zero significativo. Isso permite afirmar que o sinal de um valor é significativo e um valor pode ser n vezes maior que o outro. Nenhuma técnica de visualização conhecida é susceptível de transmitir relações com precisão. No entanto, uma sequência pode ser concebida de forma eficaz que expressa um ponto zero e números acima e abaixo de zero.

As cores podem ser usadas da seguinte forma. Cinza, por exemplo pode ser usada para representar zero, aumentando a vermelhidão representam quantidades positivas, e aumentando a cor azul para representar quantidades negativas.

O exemplo da Figura 2.18 mostra um exemplo onde cada objeto de dados ou item no conjunto de dados é representada por um retângulo, que têm diferentes tamanhos de gravação atributos definidos pelo usuário ou propriedades definidas pelo usuário. A cor de cada retângulo reflete a intensidade do atributo definido.

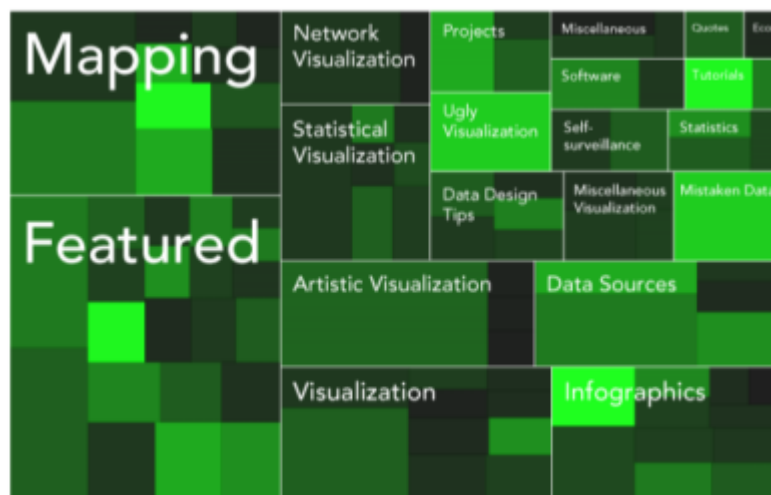


Figura 2.18: Visualização de dados de razão

Fonte: Khan & Khan (2011)

Sequências para daltônico

Algumas sequências de cor não serão percebidas por pessoas que sofrem as formas comuns de daltonismo: protanopia e deuteranopia. Ambos causam uma incapacidade para discriminar o vermelho do verde. Portanto, sequências que variam principalmente em uma escala de preto para branco ou em uma dimensão amarelo para azul, isso inclui o verde para azul e vermelho para azul, pode ser percebido pelas pessoas daltônicas. A Figura 2.19 mostra duas sequências que serão aceitáveis para pessoas daltônicas.



Figura 2.19: Sequências de cores que serão aceitáveis para pessoas daltônicas

Fonte: Ware (2012)

Visualização quanto a dimensionalidade

Para dados de duas ou três dimensões técnicas com gráficos tradicionais como gráficos de barras, pizza, linhas e dispersão são indicados. A Figura 2.20 mostra exemplos dessas ferramentas, onde (a) gráfico de barras, (b) gráfico de linhas, (c) gráfico de pizza e (d) gráfico de dispersão.

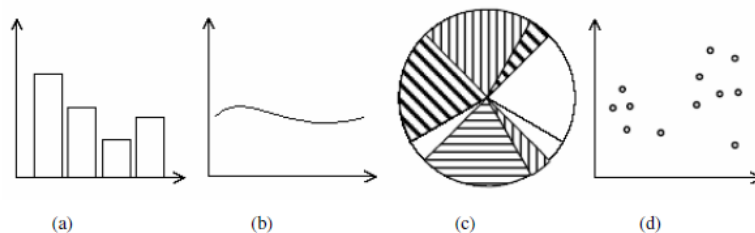


Figura 2.20: Visualização dos dados 2D e 3D
 Fonte: Esta pesquisa

Quando há mais de três dimensões outras técnicas se parentam mais eficientes. As técnicas de exposição geometricamente transformadas são indicadas para esse tipo de dados. Essas técnicas visam encontrar transformações interessantes de conjuntos de dados multidimensionais. A classe de técnicas de visualização geométrica inclui técnicas estatísticas exploratórias tais como matrizes de gráficos de dispersão e técnicas que podem ser subsumidas sob o termo exercício de projeção.

Coordenadas paralelas é uma dessas técnicas. Na representação por coordenadas paralelas, os eixos são paralelos, espaçados uniformemente e cada eixo representam um atributo do conjunto de dados. As linhas poligonais que interceptam esses eixos representam um determinado valor associado ao atributo representado por cada eixo, vide Figura 2.21.

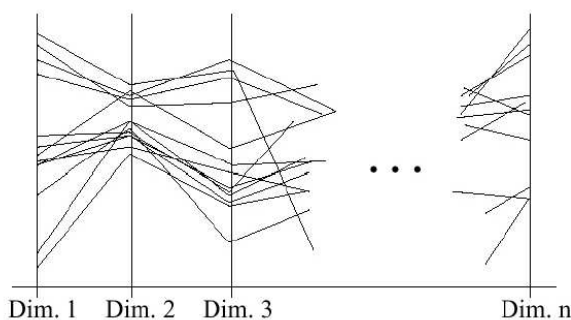


Figura 2.21: Visualização em coordenadas paralelas
 Fonte: Keim (1996)

Exibição em ícones

A ideia da exibição em ícone é mapear os atributos de em um conjunto de dados multidimensional através de atributos visuais de um ícone. Um exemplo de uma técnica de exibição em ícones é o método das faces de Chernoff (Nuñez, 2010). A técnica de Chernoff usa a face e seus membros como olhos, nariz, boca, dentre outros, e associa esses membros com atributos do conjunto de dados. A Figura 2.22 mostra um exemplo onde associa faces com o

grau de escolaridade dos empregados da província de Comarom-Esztergom na Hungria (Nuñez, 2010).

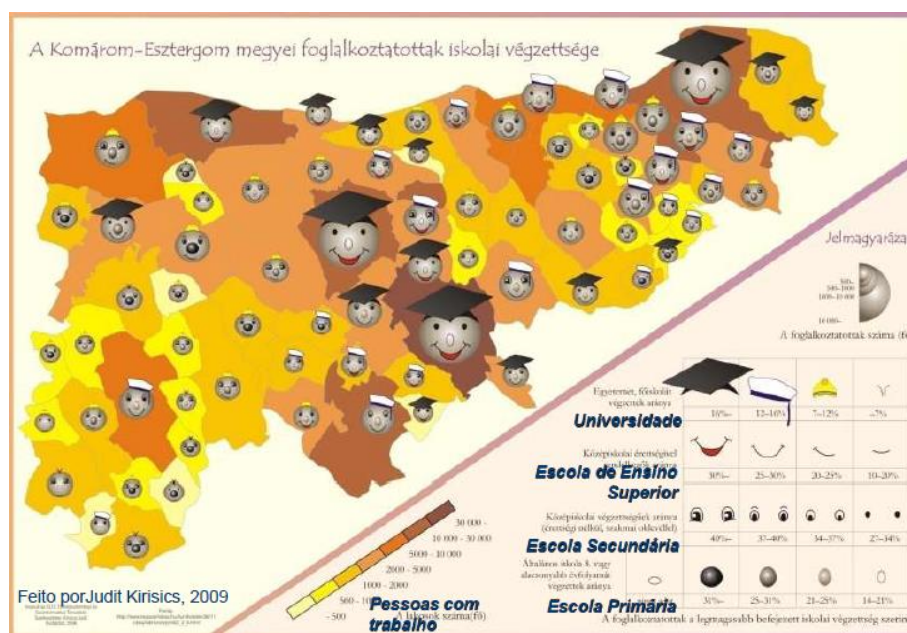


Figura 2.22: Representação visual através das faces de Chernoff
 Fonte: Nuñez (2010)

Como pode-se perceber na Figura 2.22, os símbolos podem variar de tamanho, formato, cor, dentre outras características. Cada variável representa uma característica do contexto ao qual a visualização está sendo feita. Embora os usos de ícones sejam interessantes para que o receptor da informação entenda melhor os padrões e tendências.

Existem alguns aspectos e características dos ícones que são importantes e, por isso, serão abordados a seguir, conforme explanado por Walsum *et al.* (1996).

Os parâmetros (*graus de liberdade*) podem ser atribuídos ao ícone e separadamente associados aos dados. Os parâmetros podem ser divididos em três grupos: espaciais, os quais dizem respeito à posição e orientação do ícone; geométricos, os quais controlam a forma do ícone; e descritivos os quais dizem respeito à cor, textura, transparência, som, etc.

Quanto à forma, existem basicamente dois tipos de ícones: o ícone de modelo-fixo e o de modelo-amorfo. O ícone modelo-fixo tem a forma básica pré-definida. Possui um conjunto de parâmetros de definição que são utilizados para variar a forma básica. Por exemplo, um ícone “seta” tem sempre a mesma forma básica, podendo variar o comprimento, a posição e a direção que são os parâmetros de definição desse ícone. A forma básica de um ícone de modelo fixo

precisa ser projetada. O segundo tipo de ícone é o de modelo amorfo onde a forma não é pré-definida, mas é totalmente determinada pelas propriedades locais de um campo de dados.

O domínio de referência de um ícone é a área que é representada por um único ícone. Os domínios de referência de um ícone podem ser de três tipos: local, que significa um ponto e seu ambiente imediato; global, que significa todo o domínio; intermediário, que é o nível de um subvolume, em uma escala entre o local e o global, o qual pode ser aplicada a características ou seleções (Walsum *et al.*, 1996).

A dimensão de um ícone depende da dimensão do espaço-objeto no qual ele existe. Tempo é considerado como sendo uma dimensão em separado. Variações tempo-dependentes são mostradas como animações, deformações, ou mudanças de cor de um ícone.

A escala é o tamanho e a distinção de um ícone. Micro ícones são discretos, mas não são objetos individuais. Eles só podem existir em grandes quantidades, como elementos de pontos ou padrões de linhas ou como elementos de textura. No macro-escala, ícones são objetos individuais representando atributos de dados de um determinado domínio de referência.

O objetivo da representação através de ícones é obter uma visualização “resumida”. Assim, o primeiro passo é encontrar regiões de interesse para interpretação (características) na base de dados. Simultaneamente, ou no próximo passo, valores para os parâmetros de características (atributos) são calculados. Isso é chamado de extração de características e cálculo de atributos. Como resultado, tem-se um conjunto de valores de atributos que definem aquela característica. Esse conjunto é chamado de conjunto de atributos, e cada valor é um atributo para a característica (Estivalet, 2000).

Exibição orientada a Pixel

A técnicas de pixel tem como objetivo mapear cada valor de dimensão para um pixel e colorir e agrupar os pixels de acordo com os atributos ao qual eles pertencem. Técnicas de pixel usam arranjos diferentes para diferentes fins. Organizando os pixels de forma adequada, a visualização resultante fornece informações detalhadas sobre correlações locais, dependências e pontos críticos. Um exemplo é dado na Figura 2.23 onde mostra uma visualização em pixel. A visualização mostra uma imagem original (a), onde um zoom de uma parte da imagem é dado (b) e dessa parte é obtida dados numéricos para cada pixel (c).

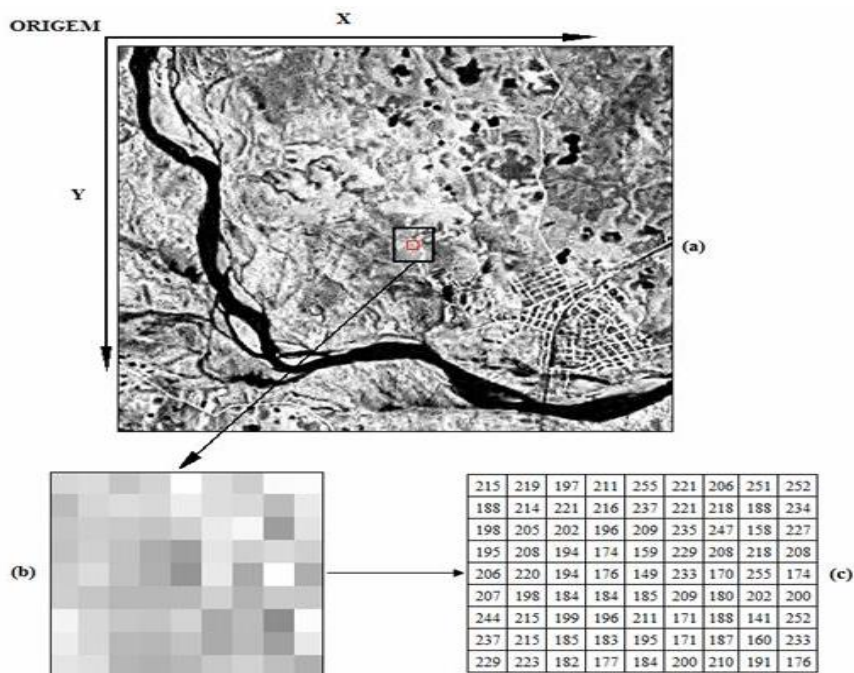


Figura 2.23: Representação de visualização em pixel
 Fonte: UFRGS (2016)

Exibição empilhadas

Técnicas de exibição empilhadas são adaptados para apresentar dados repartido de uma forma hierárquica. No caso de dados multidimensionais, as dimensões de dados a serem utilizadas para dividir os dados e a construção de hierarquia tem que ser selecionado de forma adequada. Um exemplo de uma técnica de exposição empilhadas é a árvore de decisão, que são dados representados de forma hierárquica em formando uma árvore em forma de um cone. Essa técnica pode ser vista na Figura 2.24 onde cada ponto chamado de nó representa uma ação ou uma decisão os arcos representam as relações entre cada nó de forma hierárquica.

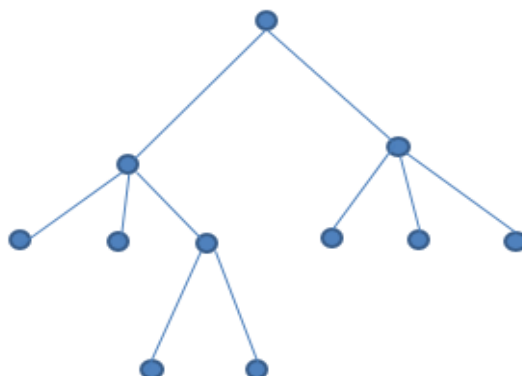


Figura 2.24: Exemplo de exibição hierárquica
 Fonte: Esta pesquisa

O TreeMap, é outro exemplo de gráfico hierárquico. Na visualização de informações, o TreeMap é uma técnica usada para exibir dados hierárquicos na forma de retângulos aninhados ou camadas (Schneiderman & Plaisant, 2009). O TreeMap é usado para visualizar estruturas hierárquicas. mapa de árvore facilitar aos usuários comparar os nós e subnós em vários profundidade e ajudar a reconhecer padrões e resultados esperados. Muitos conjuntos de dados tem características hierárquicas, os objetos são categorizar em diferentes categorias, subcategorias e assim por diante (Khan & Khan, 2011). A Figura 2.18 é um exemplo de gráfico TreeMap.

Visualização de dados do tipo texto e hipertexto

Textos e hipertextos são dados que não podemos classificá-los de acordo com a dimensionalidade. Nesse caso, as técnicas usadas são muitas vezes a procura de relações entre as palavras, por exemplo, contagem de palavras, conteúdo da informação textual, dentre outros.

2.2.2.3. Técnicas de interação e distorção

A forma com que os dados surgem nas organizações se apresenta geralmente de forma complexa e em grande quantidade. Diante disso, representar os dados visualmente apenas não é suficiente, é preciso que haja também uma interação entre homem e a representação visual. Surge, portanto, a Análise Visual (AV), uma subárea da VI que contribui para que grandes quantidades de dados sejam representadas de forma interativa.

De acordo com Stone (2009), a AV é um termo apresentado recentemente e foi pensado para enfatizar o papel da análise, especialmente para tratamento de grandes volumes de dados. Para Thomas & Cook (2005), a AV facilita a cognição através de interfaces visuais interativos que contribuem para uma efetiva compreensão, raciocínio e tomada de decisão.

Tratar grandes quantidades de dados é de suma importância para a ciência da visualização, pois, o conhecimento é gerado a partir da informação e a informação por sua vez, é gerada a partir de dados. Além disso, de acordo com Keim *et al.* (2008) o problema de sobrecarga pode fazer com que os visualizadores se detenham em dados que possam ser irrelevantes para a tarefa atual. A análise visual contribui evitando esse problema oferecendo uma interação entre a análise de dados, habilidades humanas e visualizações (Ham, 2010).

Essa interação, de acordo com Kosara *et al.* (2003), é particularmente importante para a VI pois permite que o usuário forme implicitamente modelos mentais das correlações e relações

nos dados, através do reconhecimento de padrões, marcação ou concentrando-se em esses padrões, formando hipóteses mentais e testá-las, e assim por diante.

As técnicas de interação e distorção podem ser classificadas em: projeção interativa, filtragem interativa, zoom interativo, distorção interativa, linking interativo e escovação. Iremos estudar mais detalhadamente cada uma dessas técnicas.

Projeção interativa

A ideia básica de projeções dinâmicas é dinamicamente alterar as projeções a fim de explorar um conjunto de dados multidimensional. Um exemplo pode ser visto na Figura 2.25, que mostra através do software COGITO uma vista dos produtos de limpeza disponíveis, organizadas de tal maneira que possibilita visualizar todas as características dos produtos em qualquer momento. Cada célula no display mostra uma representação visual do produto bem como seus respectivos valores de atributos para comparação. Alguns desses atributos são irritação na pele, potencial de poluição do ar, quantidade de corante, etc.

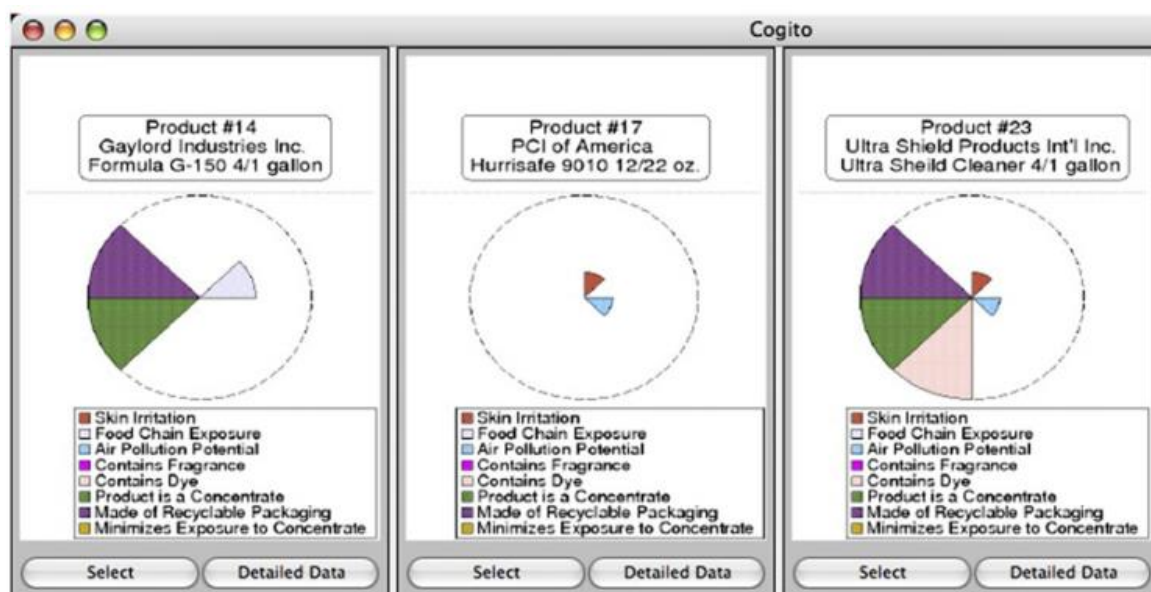


Figura 2.25: Projeção interativa
Fonte: Hepting (2007)

Filtragem interativa

Na exploração de grandes conjuntos de dados, é importante foco em subconjuntos interessantes mantendo a visão de todos no monitor. Isso pode ser feito selecionando diretamente o subconjunto desejado durante a visualização ou por uma especificação das propriedades do subconjunto desejado. Um exemplo de uma ferramenta interativa que pode ser

usado para um filtro interativo são lentes Magic, e pode ser visto na Figura 2.26. Essa técnica consiste no aumento de uma parte da visualização para ser explorada mais detalhadamente.



Figura 2.26: Visualização através da técnica lentes Magic
Fonte: Bier et al.(1993)

Zoom interativo

Ao lidar com grandes quantidades de dados, é importante apresentar os dados de modo a fornecer uma visão geral dos dados, mas ao mesmo tempo permitir que uma variável exposição dos dados em diferentes resoluções. Zoom não significa apenas exibir os objetos de dados maiores, mas isso também significa que as representações dos dados mudem automaticamente para apresentar mais detalhes em diferentes níveis de zoom. A Figura 2.27 mostra a direita um conjunto de gráficos de linhas, onde esses gráficos transmitem informação a respeito de um zoom obtido a partir da escolha de um ponto feita no lado esquerdo da imagem. As informações referem-se a dados geográficos e turísticos dos pontos laranja a esquerda da visualização.

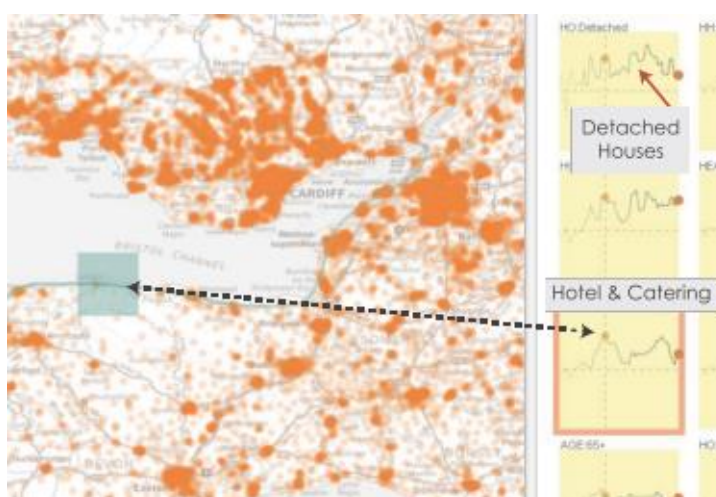


Figura 2.27: Visualização através de zoom interativo
Fonte: Turkay et al. (2014)

Distorção interativa

As técnicas de distorção interativa oferecem suporte a exploração de dados através da preservação de uma visão geral dos dados durante operações de detalhamento. A ideia básica é mostrar partes dos dados com um elevado nível de detalhe, enquanto outros são mostrados com um menor nível de detalhe, vide Figura 2.28. Técnicas de distorção populares são distorções hiperbólicas e esféricas, que são frequentemente usadas em hierarquias ou gráficos, mas também podem ser aplicadas a qualquer outra técnica de visualização.

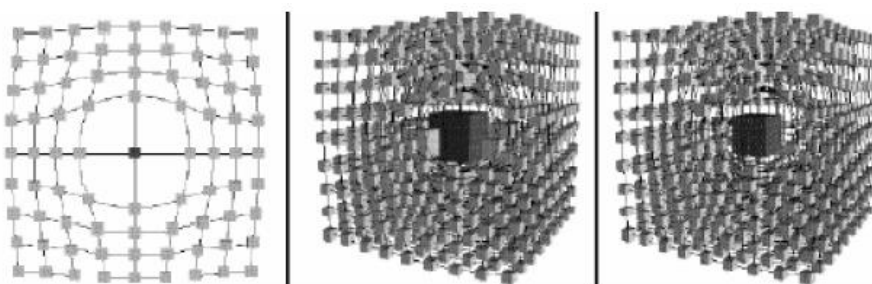


Figura 2.28: visualização usando técnicas de distorção
Fonte: Cowperthwaite & Fracchia (1997)

Seleção e ligação

Há muitas possibilidades para visualizar dados multidimensionais, mas todos eles possuem pontos positivos e negativos. A ideia de seleção e ligação é combinar diferentes métodos de visualização para superar as deficiências de técnicas individuais. Projeções de gráfico de dispersão diferentes, por exemplo, podem ser combinados por coloração e ligados por subconjuntos de pontos em todas as projeções.

De um modo semelhante, ligação e seleção pode ser aplicado a todas as visualizações geradas por técnicas de visualização acima descritos. Como resultado, os pontos são selecionados em destaque a todas as visualizações, tornando-se possível detectar dependências e correlações. Mudanças interativas feitas em uma visualização são automaticamente refletidas nas outras visualizações. Nota-se que ligar várias visualizações através de ligação interativo e seleção fornece mais informações do que considerando as visualizações de componentes de forma independente.

Exemplos típicos de técnicas de visualização que são combinados através do ligação e seleção são vários gráficos de dispersão, gráficos de barras, coordenadas paralelas, displays de pixels e mapas. A maioria dos sistemas de exploração de dados interativos permitem alguma

forma de ligação e seleção. A Figura 2.27 pode ser considerada um exemplo da técnica de seleção e ligação.

Este Capítulo apresentou os conceitos fundamentais para a realização da presente pesquisa. No capítulo seguinte esses conceitos serão tratados de forma mais aprofundada no que se refere a união desses conceitos através da análise do uso de ferramentas de visualização da informação no processo de gerenciamento de risco.

3. VISUALIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO NO GERENCIAMENTO DE RISCO

O capítulo anterior apresentou as definições e conceitos de GR e VI. No presente capítulo esses conceitos serão agregados com o intuito de identificar as ferramentas de VI utilizadas no GR, analisar o uso das ferramentas e sugerir formas alternativas do uso da VI.

3.1 PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES DA VISUALIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO NO GERENCIAMENTO DE RISCO

A principal contribuição da VI para o gerenciamento de risco diz respeito a tomada de decisão. Isso deve-se ao risco envolver ambientes de incerteza em relação a ocorrência de determinados eventos perigosos. A VI é uma ferramenta que pode contribuir para esse processo de tomada de decisão. De acordo com Frick & Hegg (2011), o uso dessas ferramentas da VI agrega valor para análise da situação e tomada de decisão e também proporciona maior facilidade na interpretação de informações.

Segundo Rothrock *et al.* (2003), a visualização da informação pode ser útil para promover decisões que são informados com relação aos riscos e resultados. De acordo com Yingzhuo & Liupeng (2010), a VI no gerenciamento de risco contribui para o controle de tomada de decisão em relação aos riscos, melhora a tomada de decisões e controle em termos de ciência, monitoramento em tempo real e também a capacidade de lidar com os riscos.

Além da tomada de decisão, uma outra contribuição importante da VI no GR é a capacidade de geração de conhecimento para os stakeholders, sobretudo os leigos nos assuntos. De acordo com Eppler & Aeschmann (2008), a comunicação do risco através da VI ajuda os especialistas, tomadores de decisão e leigos para melhor lidar com os riscos nas áreas de gestão, saúde e segurança.

Essa geração de conhecimento, através das técnicas de VI, contribui sobretudo para o compressão e reconhecimento dos riscos. Tanto a compreensão dos riscos quanto o reconhecimento dos riscos são usadas para obter insights e informar os tomadores de decisão e não prescreve as ações mitigatórias, o que para a maioria das situações é a única maneira significativa do uso de análise de risco (Hansson & Aven, 2014).

As ações mitigatórias serão consequência do aprendizado através das técnicas de VI. Esses insights combinados com visualizações interativas promoverão um conhecimento mais consistente para que assim ações mitigatórias possam ser tomadas. De acordo Hansson & Aven (2014), mesmo após terem avaliado o risco, os decisores precisam combinar a informação de

risco que eles receberam com informações de outras fontes e temas. Trata-se da capacidade de interação dos riscos com os cenários em que estão inseridos.

Apesar das dificuldades enfrentadas na ciência da VI em relação a sua formalização, o momento atual é propício para alavancar o tema. Para Card (apud Ware, 2004), ao longo da história as representações visuais sempre estiveram presentes, atualmente a VI, que utiliza representações visuais interativas de resumo dados para ampliar o conhecimento, está sendo difundida. Através de computadores, os dados e informações podem ser apresentados de forma interativa, tornado assim, o processo de visualização interativo e contribuindo para a tomada de decisão.

Por outro lado, todos esses benefícios não serão sentidos se as visualizações não se apresentarem de maneira adequada. Portanto, é importante enfatizar a importância da criação de visualizações que estejam de acordo com o contexto do tipo de risco que está sendo visualizado. De acordo com Eide & Stølen (2012), a VI é um meio eficaz para facilitar a compreensão do risco em situações de emergência, mas que a eficácia do conceito depende do desenho visualização.

A subseção que segue apresenta algumas técnicas, nas quais pode-se avaliar na perspectiva da VI, que são utilizadas no processo de gerenciamento de risco. Essas técnicas são a FMEA, FTA, ETA, Diagramas Bow-Tie, HAZOP, ALARP, Diagrama de Ishikawa.

3.2 TÉCNICAS E FERRAMENTAS DA VISUALIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO APLICADAS NAS ETAPAS DO GERENCIAMENTO DE RISCO

O processo de GR é composto por cinco etapas e duas atividades subjacentes que foram detalhadas no Capítulo 2. As etapas consistem em: contextualização, identificação, análise, avaliação e ações preventivas e corretivas. As atividades subjacentes ao processo são: comunicação e monitoramento e análise. A análise da VI nesse processo foi feita através das ferramentas: FMEA/FMECA, FTA, ETA, Diagrama Bow-Tie, HAZOP, ALARP e Diagrama de Ishikawa.

Ao analisar essas ferramentas de GR notou-se que as mesmas apesar de usarem técnicas da VI para identificar e comunicar o risco, não são tratadas como ferramentas de VI usadas para comunicar o risco visualmente. Portanto, é necessário que haja em primeiro lugar, uma formalização da VI no GR, para que assim, as ferramentas de VI identificadas no GR possam serem usadas como ferramentas de “Visualização do Risco”.

Considerar as ferramentas usadas no gerenciamento de risco não apenas como ferramentas de suporte, mas como ferramenta de “Visualização do Risco” pode ser muito importante para que reflexões sobre a forma como as mesmas são aplicadas e de que modo podem ser melhoradas.

A Tabela 3.1 mostra as ferramentas de VI identificadas nas ferramentas de GR, suas principais funções e algumas sugestões de melhorias. O presente capítulo segue expondo algumas contribuições das ferramentas de VI identificadas no GR, bem como sugestões de melhoria para o processo.

Tabela 3.1: Uso da VI no gerenciamento de risco

GR	Técnicas da VI	Contribuições das técnicas de VI para o gerenciamento de risco	Dificuldades encontradas
FMEA/FMECA	Tabela	Permite uma visualização dos modos de falha e dos índices do RPN no documento FMEA.	A forma como é representada pode se tornar exaustiva, em um sistema onde deve se analisar vários componentes similares. Visualização não-interativa. Dificuldade de perceber inter-relações entres os modos de falha de cada componente e dos fatores componentes do RPN (detecção, severidade e ocorrência).
FTA	Diagrama e símbolos	Possibilidade de visualizar de forma clara o caminho da falha de determinado risco. Ícones facilitam entender o cálculo das probabilidades de ocorrência de determinado evento.	Dificuldade na interpretação das probabilidades. A visualização pode ser complexa quando há um evento que possui muitas causas. Dificuldade de compreender quais eventos secundários são mais e menos críticos.
ETA	Diagrama	Facilidade de visualizar o caminho das possíveis consequências de determinado evento. Permite visualizar as probabilidades referentes a cada consequência.	Dificuldade na interpretação das probabilidades. Dificuldades em distinguir rapidamente quais consequências são mais críticas. Dificuldade de entender as relações entre as consequências.
Bow-Tie	Diagrama	Possibilita visualizar o caminho entre as causas e as consequências de determinado evento.	Dificuldade de entender as combinações entre as causas e consequências, ou seja, até que ponto cada causa tem relação com cada consequência.
HAZOP	Tabela e Matriz	Permite visualizar rapidamente os desvios das condições normais da operação.	Dificuldade de entender de forma detalhada os valores componentes do risco (frequência e severidade)
ALARP	Gráfico e Matriz	Permite visualizar rapidamente em qual região de aceitação pré-determinada o risco se encontra.	Dificuldade de entender de forma detalhada a região ALARP e a relação com o sistema.
Diagrama de Ishikawa	Diagrama	Permite visualizar a causa de determinado efeito. Facilidade de entender o efeito.	Dificuldade de visualização do quanto uma causa pode ter relação com outra causa em termos de ocorrência e efeito.

Fonte: Esta pesquisa

De acordo com a análise feita para identificar as ferramentas de VI usadas no processo de GR e das dificuldades encontradas através da análise, foram feitas algumas considerações a respeito de contribuições que podem ser dadas através das próprias ferramentas e que não são dadas e sugestões de melhorias através de outras ferramentas de VI que não forma identificadas,

mas que podem agregar valor para a construção de visualizações mais interativas. Um resumo das contribuições e sugestões de melhorias é mostrado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Melhorias no Gerenciamento de Risco através de Ferramentas da Visualização da Informação

<i>Ferramenta de Visualização</i>	<i>Ferramenta de Gerenciamento de Risco</i>	<i>Contribuições e sugestões de melhorias</i>
<i>Cor</i>	<i>FMEA/FMECA, ETA e FTA</i>	<i>Contribui para:</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Visualização da planilha FMEA/FMECA</i> • <i>Visualização do RPN</i> • <i>Visualização da incerteza no FTA e ETA</i>
<i>Tabela</i>	<i>FMEA/FMECA, HAZOP</i>	<i>Melhorias através:</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Uso de gráficos de TreeMap para visualização do RPN</i> • <i>Uso de coordenadas paralelas para visualização das relações entre os componentes do HAZOP e FMEA/FMECA</i>
<i>Diagrama</i>	<i>ETA, FTA, Diagrama Bow-Tie e Ishikawa</i>	<i>Melhorias através:</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Técnicas de interação</i> • <i>Uso de grafos para mostrar interpelações entre componentes, eventos, causas, efeitos e consequências</i>
<i>Ícone</i>	<i>FTA e ETA</i>	<i>Contribui para:</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Visualização da incerteza</i> • <i>Visualização das consequências</i>

Fonte: Esta pesquisa

Cor

Cores são geralmente usadas para dados nominais, no entanto, pode-se usar uma sequência de cores para os outros tipos de dados. Nas ferramentas de GR analisadas, as cores podem ser usadas sobretudo nas etapas de avaliação do risco. Uma justificativa para tal situação seria a eficiência do uso das cores para rotulagem e categorização. De acordo com Stone (2006), o uso mais importante de cor na apresentação de informação é a capacidade que a cor possibilita de distinguir uma propriedade de uma outra.

A cor também poder ser uma ferramenta útil na visualização de texto. Nas ferramentas FMEA e HAZOP as informações são visualizadas em forma de texto em uma planilha. Vendo pela ótica da VI, as letras são símbolos, muitas vezes uma letra pode passar uma informação, desde que seja definida previamente. Portanto, é preciso que a letra e o plano de fundo, sigam determinadas taxas de brilho, saturação e tonalidade.

A visualização de texto necessita que as letras e o plano de fundo tenham diferença entre saturação e brilho. Isso sugere que as letras devem ser mais saturadas e o plano de fundo menos

saturado, ou o inverso. É aconselhável a diferença no brilho, ou seja, a fonte e o plano de fundo não devem ter uma proximidade em relação ao brilho.

De acordo com Mullen (1985), os canais cromáticos vermelhos – verde e amarelo-azul são ambos apenas capaz de transportar cerca de um terço a quantidade de detalhes transportados pelo canal de preto-branco, sendo o último aconselhável para texto. A Tabela 3.3 é um exemplo de planilha FMEA usando os canais preto e branco e a Figura 3.1 mostra o uso de um gráfico TreeMap para ser visualizado com a planilha FMEA como forma de aumentar a capacidade de tomada de decisão onde são usadas cores para classificação dos modos de falha.

Tabela 3.3: Exemplo de planilha FMEA

ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHA POTENCIAL								
Nome do componente	Função do componente	Modo de falha	Efeito potencial de falha	Ocorrência	Severidade	Detecção	RPN	Ações recomendadas
Componente X	Função Y	M1	E1	2	5	7	70	A1
		M2	E2	7	3	8	168	A2
		M3	E3	2	2	2	16	A3

Fonte: Esta pesquisa

Muitas vezes ao observar apenas a classificação do risco através da tabela do FMEA pode não ser muito rápido identificar os valores dos níveis de severidade, ocorrência e detecção. Como o cálculo do RPN trata-se de um fator multiplicativo, muitas vezes observar apenas o RPN torna implícito os valores dos níveis de severidade, ocorrência e detecção. Isso pode interferir na tomada de decisão, pois muitas vezes, esses valores separadamente podem interferir na forma como as ações mitigatórias são elaboradas.

Uma opção seria usar coordenadas paralelas para facilitar a análise dessas variáveis para cada modo de falha. Geralmente uma das formas de descobrir os relacionamentos entre as variáveis seria através do uso das coordenadas paralelas. O uso das coordenadas paralelas facilitaria a descoberta dos valores máximos e mínimos de cada variável, a razão entre esses valores para cada modo de falha, a razão dos valores para cada variável, dentre outros.

Outra alternativa seria utilizar o TreeMap para visualizar a intensidade de cada variável no RPN. As três variáveis são visualizadas através de retângulos, onde as áreas ocupadas por cada variável expressa a parcela quantitativa no cálculo do RPN. No exemplo da Figura 3.1 mostra os dados da Tabela 3.3, na qual o RPN é visualizado através do gráfico TreeMap. É notório a facilidade de comparação entre cada modo de falha e de detalhamento dos fatores multiplicativos do RPN.

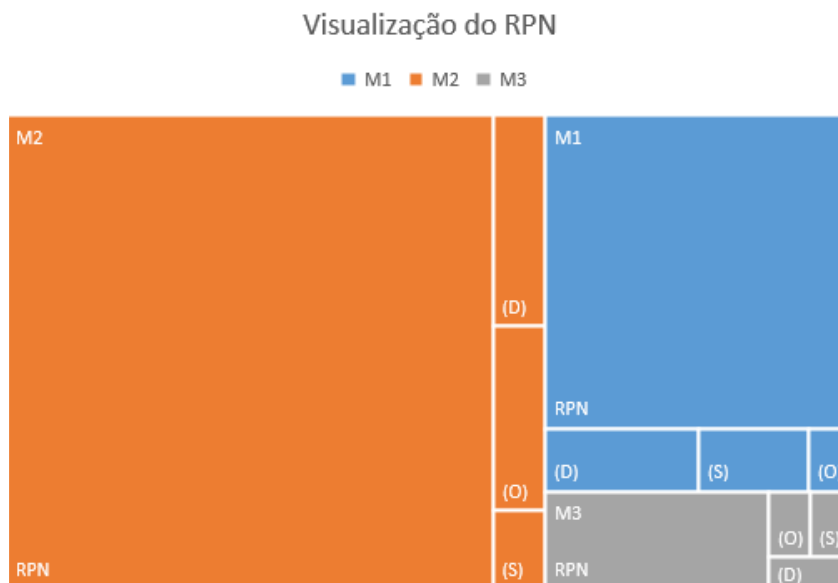


Figura 3.1: Visualização do RPN

Fonte: Esta pesquisa

Outra questão que deve ser analisada para melhorar a tomada de decisão seria através da visualização das inter-relações entre os modos de falha de um componente, ou seja, verificar se uma ação mitigatória em determinado modo de falha causaria alguma alteração no valor da severidade, ocorrência ou detecção de outro modo de falha. Essa sugestão também é feita para a visualização no diagrama de Ishikawa através da visualização das inter-relações das causas.

Tabela

O FMEA e o HAZOP usam tabelas para gerenciar os perigos. Os dados apresentados na tabela são na grande maioria em forma de texto. A tabela é uma ferramenta de fácil visualização para uma pequena quantidade de dados. A tabela também é uma forte aliada na organização dos dados, no entanto pode não ser tão eficiente para o reconhecimento de padrões e tendências.

De acordo com Khan & Khan (2011), a tabela é um formato estruturado, organizado por linhas e colunas que transmitem relacionamentos, é uma das definições mais comuns. Possui sinónimos comuns, como campo, parâmetro, atributo, propriedade etc. As linhas representam as variáveis e as colunas representam os registros com o conjunto de valores.

As tarefas de mineração geralmente exigem técnicas capazes de lidar com grandes quantidades de dados multidimensionais, muitas vezes sob a forma de tabelas de dados ou bancos de dados relacionais. Além disso, mecanismos de interação para filtrar, consulta e

selecionar dados são normalmente necessários para manipulação de conjuntos de dados maiores.

As tabelas usadas no FMEA e HAZOP analisam componentes. A quantidade de dados à serem tratados dependerá das quantidades dos modos de falha do item em análise no caso do FMEA e dos supostos desvios no caso do HAZOP. A quantidade dos itens a serem analisados nos sistemas também influenciará no tratamento dos dados. Quando ambos se apresentam em grande quantidade, a comparação entre os mesmos pode ser um atarefa árdua.

O uso de coordenadas paralelas ou gráfico de radar seria uma ferramenta que iria agregar valor ao FMEA e ao HAZOP uma vez que possibilitaria a visualização dos critérios ou dimensões analisadas e a relação dos modos de falha para cada um desses critérios.

Por fim, uma outra ferramenta usada é a matriz de risco. A matriz de risco é um tipo de tabela, onde geralmente as colunas representam as consequências e as linhas representam as probabilidades. De acordo com Aven (2015), a utilização de tais matrizes poderia tornar-se difícil distinguir entre vários riscos, no entanto, em muitos casos, a matriz de risco eficiente para fornecer uma visão geral do risco. A matriz de risco é comumente usada no HAZOP e ALARP.

Diagramas

As maiorias das ferramentas analisadas neste trabalho usam diagramas em seu escopo, como por exemplo, FTA, ETA e Diagrama Bow-Tie e Diagrama de Ishikawa. É interessante enfatizar a importância dos diagramas no processo de gerenciamento de risco, sobretudo na etapa de identificação e avaliação. Essa importância se dá pelo fato dos diagramas serem capazes de facilitar o entendimento acerca da estrutura de objetos complexos, das propriedades estáticas dos objetos e do estado do comportamento dos objetos.

No caso da FTA e da ETA usa-se a estrutura em árvore. No caso da FTA usa-se diagrama de bloco e estrutura em árvore, onde os nós podem ser do tipo “e” ou “ou” podendo ter (n) ramificações. Já na ETA usa-se a estrutura em árvore, onde os nós seguem uma regra de ramificação binária, ou seja, cada evento subdivide-se em probabilidade de ocorrências e probabilidade de não ocorrência.

De modo geral, estruturas em árvores são adequadas para representar dados de forma hierárquica, ou seja, estão de acordo com os objetivos da FTA e ETA. De acordo com Vaz & Carvalho (2004), árvores são estruturas de dados que representam uma relação hierárquica ou de composição entre os dados, ou seja, um dado é subordinado a outro dado.

O diagrama Bow-Tie objetiva promover uma análise interativa entre as causas e as consequências de determinado evento. No entanto, é preciso que haja uma certa capacidade, não só o diagrama Bow-tie, mas todas as outras ferramentas que identificam risco, de se aproximarem mais da realidade, uma vez que atuam sob ambientes de incerteza.

Como já foi mencionado propriamente, um dos pontos fracos do diagrama Bow-Tie, segundo Badreddine & Amor (2013), seria a dificuldade de uma representação gráfica de diferentes cenários projetados que leve em consideração o aspecto dinâmico de sistemas reais. Nesse sentido, a VI pode ser útil na medida que possibilita uma visualização interativa onde os decisores possam ter uma visão panorâmica sobre alterações e tendências a respeito do estado de determinado sistema. Isso pode ser feito através da combinação de ferramentas de VI que juntas possam tornar evidente alterações e tendências.

A visualização interativa pode ser útil nesse aspecto, pois, tornam evidentes padrões e relações. No diagrama Bow-Tie, além do diagrama em si, outras ferramentas de visualização como, por exemplo, gráficos, figuras e tabelas, poderiam tornar mais evidente a relação entre causa e consequência, causa e ações mitigatórias, ações mitigatórias e consequências, e assim por diante.

O diagrama de Ishikawa é uma ferramenta de VI que tem como objetivo identificar as relações entre causas e um efeito. Possui uma forma gráfica simples, onde de forma hierárquica tem-se um evento a direita de uma linha horizontal e a esquerda estão as possíveis causas desse efeito. O diagrama facilita a visualização das causas por áreas que são previamente definidas, contudo, a diagrama em si não possibilita uma visualização de interações entre essas variáveis que definem as causas.

Por exemplo, é importante para o tomador de decisão entender até que ponto um erro de operação de uma determinada máquina em um sistema de produção qualquer que causa um efeito antagônico tem relação com a mão-de-obra desqualificada. Uma visualização que possibilite a interpretação rápida desse tipo de relação pode contribuir de forma significativa para a tomada de ações preventivas. Uma sugestão seria o uso outros recursos da VI que de forma complementar ao diagrama de Ishikawa pudesse tornar claros tais relações, como por exemplo, grafos.

Ícones

Um ícone ou glifo, de acordo com Estivalet (2000), é um objeto com geometria e aparência paramétricas, as quais podem ser arbitrariamente vinculados a dados. A função de

um ícone é agir como uma representação simbólica que mostra as características essenciais de um domínio de dados ao qual o ícone se refere. Assim é possível obter uma visualização dos dados de uma forma mais clara e compacta. Em geral, ícones são utilizados para representar dados multivariados, ou seja, múltiplos atributos associados a uma posição num espaço qualquer, ou a entidades em estudo.

Na FTA usa-se ícones geométricos que passam a informação do estado atual de um determinado evento, por exemplo, o retângulo significa a descrição de um evento, o círculo significa um evento básico e assim por diante. A FTA usa ícone do tipo, modelo fixo, ou seja, são pré-definidos de forma geral e aceitos por toda a comunidade científica do campo de GR.

Os ícones usados na visualização facilitam a identificação de tal informação, no entanto, é necessário que haja um conhecimento sobre o significado dos ícones. A rapidez com que os ícones são armazenados na memória pode variar de acordo com a quantidade dos ícones e com o volume de informação que cada um representa.

Uma alternativa para minimizar o tempo de aprendizagem do significado dos símbolos seria o uso de cores. Indo mais além, o uso de cores que tenham algum significado social para determinado grupo, tornariam os resultados ainda mais satisfatórios. Por exemplo, o retângulo indica uma falha resultante da combinação de outros eventos, nesse caso, a cor vermelha que indica geralmente emergência ou atenção máxima poderia indicar que aquele evento é gerado por outros eventos, ou seja, existe algo a ser descoberto. A saturação indicaria a probabilidade de ocorrência do evento, por exemplo, quanto mais saturada a cor, maior será a probabilidade de ocorrência.

Já o círculo representa uma falha primária, ou seja, um evento que não depende de nenhum outro para ocorrer, nesse caso uma cor como amarelo ou laranja poderia indicar que não há nenhuma característica a ser descoberta. Da mesma forma a saturação poderia indicar a probabilidade de ocorrência, sendo quando mais saturado, maior a probabilidade. Um exemplo de aplicação de cores para melhorar o reconhecimento dos ícones pode ser visto na Figura 3.2.

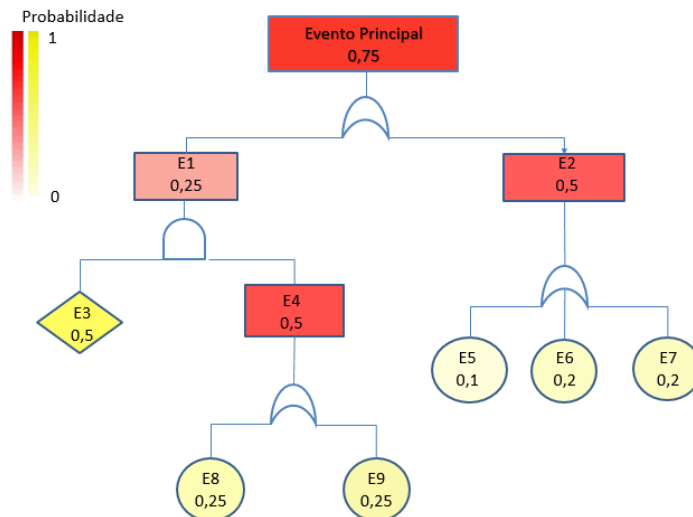


Figura 3.2: Exemplo de uso de cores nos ícones do FTA
 Fonte: Autor

Na Figura 3.2, o retângulo indica um evento falha que ocorre geralmente em virtude de uma combinação de uma série de outros eventos e é representado pela cor vermelha. O círculo indica um evento de falha primária, ou seja, ocorre independentemente de qualquer outro evento e é representado pela cor amarelo. O losango indica um evento falha não totalmente desenvolvido em relação as suas causas, ou seja, é apenas um evento causa assumido e também é representado pela cor amarelo.

Na ETA o foco é dado para as consequências de determinado evento e as respectivas probabilidades de ocorrência. Nesse caso além de cores poderia ser usado o tamanho de ícones para indicar o grau das consequências. Nesse caso apenas um ícone seria usado para indicar o evento onde os tamanhos dos ícones indicariam o nível de severidade de tal consequências, ou seja, quanto maior os ícones, maiores seriam as consequências.

No presente capítulo foram feitas algumas sugestões de melhorias nas ferramentas utilizadas no gerenciamento de risco, embora, o objetivo maior tenha sido identificar as ferramentas de VI usadas no gerenciamento de risco. No próximo capítulo, será feita uma revisão da literatura para avaliação de como essas ferramentas estão sendo usadas no processo de gerenciamento de risco em sistemas elétricos e comparados com as considerações de melhorias feitas no presente capítulo.

4. VISUALIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO NO GERENCIAMENTO DE RISCO NO CONTEXTO DE FORNECIMENTO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

No capítulo anterior foi feita uma análise das ferramentas de VI usadas no processo de GR e feitas sugestões a respeito de melhorias no uso dessas ferramentas. No presente capítulo, será feita uma revisão da literatura com objetivo de realizar uma análise das ferramentas do GR usadas no capítulo anterior quanto as suas aplicações em sistemas elétricos. O capítulo segue com uma introdução aos sistemas elétricos.

4.1. GERENCIAMENTO DE RISCO NO FORNECIMENTO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A segurança do sistema de energia envolve dois aspectos. O primeiro está relacionado com a capacidade do sistema para resistir a falhas internas, perturbações naturais e súbitas, incluindo a sobrecarga de rede, problemas de tensão e problemas de instabilidade. O segundo aspecto está relacionado com a capacidade do sistema para evitar a interferência externa, ataque ou agressão física contra o sistema (Sansavini *et al.*, 2014).

De acordo com Ivey *et al.* (1999), planejadores de sistemas lidam geralmente apenas com o primeiro aspecto da segurança, ou seja, decorrente de problemas de operação do sistema, falhas aleatórias de sistema, perturbações naturais e equipamentos. No entanto, muito ainda tem que se avançar, sobretudo na forma como esse gerenciamento é feito, pois, a interrupção de fornecimento de energia elétrica pode gerar várias consequências com perdas econômicas e perdas sociais de um determinado país (Simonoff *et al.*, 2007).

Um exemplo foi o apagão Southwest, ocorrido em 2011, também conhecido como o Grande Blackout de 2011. Trata-se de uma queda de energia generalizada que afetou a área de San Diego-Tijuana, sul de Orange County, Vale Imperial, Mexicali Valley, e Coachella Valley, e partes do Arizona. Foi a maior falha de energia na história da Califórnia. De acordo com relatório divulgado pela Federal Energy regulatory Commission & Nort American Electric Realiability Corporation, (2012) as causas foram problemas no planejamento de operações e consciência situacional.

É necessário, portanto, que o processo de gerenciamento de risco atenda às necessidades de um sistema dinâmicos e complexos. Isso não é algo trivial, se faz necessário ir além da

identificação de causas e consequências, é preciso que se entenda também como essas causas e consequências se relacionam com o meio e como isso pode interferir no gerenciamento de risco.

Na próxima seção será feita uma análise do uso de algumas ferramentas aplicadas no gerenciamento de risco em sistemas de fornecimento e distribuição de energia elétrica, sobretudo quanto ao uso de ferramentas de VI utilizadas no GR através da revisão da literatura.

4.2. ANÁLISE DAS TÉCNICAS DE VISUALIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO APLICADAS AO GERENCIAMENTO DE RISCO NO FORNECIMENTO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A análise foi feita através de uma revisão da literatura feita através de uma pesquisa realizada nas bases da *Web of Science* (ISI). Na realização da pesquisa foram utilizados dois conjuntos de combinações de palavras: *i*) relacionados aos sistemas elétricos e *ii*) relacionados às ferramentas do gerenciamento de risco, conforme mostrado na Tabela 1. Após a primeira pesquisa na base ISI completa, em todas as combinações foi feito um refinamento para que apenas trabalhos do tipo “*Article*” fossem considerados. Os resultados da pesquisa são mostrados na Tabela 4.1. Para FMEA/ FMECA na base ISI completa pesquisando com as combinações de palavras tipo *(i)* e FMEA OR FMECA OR “*Failure Mode and Effect Analysis*” foram encontrados cinquenta e dois resultados. Foi feito o refinamento no resultado, onde após o qual, apenas treze artigos foram encontrados, dos quais apenas oito foram encontrados disponíveis para baixar (pelo acesso CAPES). Dos oito, dois foram desconsiderados por não tratarem do tema em foco, sendo considerados apenas seis artigos para análise.

Na mesma base pesquisando com as combinações de palavras tipo *(i)* e “*Fault Tree Analysis*” OR FTA foram encontrados sessenta e seis trabalhos dentre os quais apenas vinte e cinco foram considerados após o refinamento. Dos vinte e cinco artigos encontrados, apenas dezessete foram encontrados disponíveis para baixar (pelo acesso CAPES). Dos 17, três não tratavam do tema abordado, logo, foram analisados quatorze artigos.

Pesquisando com as combinações de palavras tipo *(i)* e “*Hazards and Operability Study*” OR HAZOP foi encontrado um artigo. Pesquisando com as combinações de palavras tipo *(i)* e *Bow-Tie* foram encontrados vinte e nove resultados, dos quais apenas onze eram artigos, no entanto, todos tratavam de temas distinto do de interesse. Na pesquisa com as combinações de palavras tipo *(i)* e “*As Low As Reasonably Practicable*” OR ALARP foram encontrados dois artigos.

Pesquisando com as combinações de palavras tipo (i) e “Event Tree Analysis” OR ETA foram encontrados sessenta e seis resultados. Após refinar os resultados foram encontrados trinta artigos. Dos trinta, apenas três tratavam do tema desejado, dos quais apenas um estava disponível para baixar (pelo acesso CAPES). Para o Diagrama de Ishikawa não foram encontrados resultados.

Tabela 4.1: Resultado da pesquisa na base ISI

Área	Número de artigo analisados	Detalhes dos artigos
FTA	14	Mao <i>et al.</i> (2015), Gomez <i>et al.</i> (2015), Kim <i>et al.</i> (2014), Panteli <i>et al.</i> (2014), Ingram <i>et al.</i> (2013), Abdul Rahman <i>et al.</i> (2013), Volkanovski (2009), Hsiao & Lu (2008), Sadiq <i>et al.</i> (2008), Lee & Cha (2005), Bono <i>et al.</i> , (2004), Aem <i>et al.</i> (1999), Elliott (1994), Biswal (2012)
FMEA	6	Ge <i>et al.</i> (2015), Guimarães & Lapa(2007), Yssaad & Abene(2015), Fotuhi-Firuzabad <i>et al.</i> (2012) Fotuhi-firuzabad <i>et al.</i> (2012), Wang <i>et al.</i> (2012)
ALARP	2	Dimopoulos <i>et al.</i> (2012), Dimopoulos <i>et al.</i> (2012)
ETA	1	Kenarangui (1991)
HAZOP	1	Anantasate <i>et al.</i> (2009)

Fonte: Esta pesquisa

Por fim, na próxima subseção, os artigos da tabela 4.1 serão analisados com o objetivo de verificar de que maneira o uso das ferramentas de VI se concretiza no processo de GR em sistemas elétricos e também quanto as suas respectivas contribuições em relação ao processo de tomada de decisão.

4.2.1 FMEA/FMECA

Ben Said *et al.* (2015) apresentam em seu trabalho uma metodologia operacional baseado em uma abordagem Bayesiana simultaneamente com a metodologia FMECA usada para apoiar a renovação de conhecimento e eficácia das ações de manutenção dos analistas de risco. Os autores trouxeram uma abordagem muito importante que trata da interatividade do gestor de risco com o cenário de risco possibilitando um monitoramento em tempo real. Esse tipo de abordagem aumenta a capacidade de detecção do risco e conseqüentemente uma tomada de decisão mais rápida, tendo em vista a possibilidade de monitoramento em tempo real.

Na metodologia proposta, os arquivos FMECA e conhecimentos dos especialistas são combinados com a rede Operacional Bayesiana (O-BN) para fornecer feedback em tempo real sobre as ações de manutenção mal-executados. As redes Bayesianas são modelos gráficos para raciocínio baseado na incerteza. A técnica utiliza grafos para representar as relações

probabilísticas onde os nós representam as variáveis que podem ser discretas ou contínuas e os arcos representam a conexão direta entre elas.

Ben Said *et al.* (2015) não mencionam a técnica de rede bayesiana com uma ferramenta de VI, embora o trabalho tenha contribuído indiretamente de forma significativa para a melhoria da “visualização do risco” e a tomada de ações mitigatórias através do FMEA/FMECA.

Um dos pontos mais importantes que foi detectado através do uso de redes bayesianas no FMEA/FMECA é a possibilidade de ter um monitoramento do cenário de risco de forma mais eficiente através da detecção de mudanças que podem interferir na ocorrência e consequência de um outro determinado modo de falha.

Yssaad & Abene (2015) aplicaram uma abordagem de otimização de manutenção com base em técnicas de modelagem e simulação através da aplicação da abordagem RCM que, com base na análise funcional e de modos de falha da rede usando o FMEA e usando a abordagem *Structured Analysis and Design Technique* (SADT) para decompor as tarefas em hierarquias para classificar o material em termos de criticidade.

O SADT é uma técnica de visualização que possibilita uma representação de hierarquias e relações entre determinados objetos de estudo, no trabalho o SADT foi utilizado para representar a metodologia RCM, no entanto, apesar de não ter agregado nenhum valor ao processo de “visualização do risco”, registra-se a importância e eficiência dessa ferramenta para representação de um sistema complexo.

Foi usada o diagrama de bloco (RBD – *Reliability block diagram*) e Análise de árvore de falha (FTA - *Fault Tree Analysis*) para identificar o caminho das falhas e suas características. Para determinar os índices segurança e confiabilidade foi utilizado métodos dinâmicos como cadeias de Markov e Rede de PetriNet. Em paralelo os autores fizeram uma análise de custo do ciclo de vida para estimar o custo total de propriedade das redes de eletricidade de cada elemento analisado. Por fim, os autores realizam uma simulação de Monte Carlo para dar recomendações importantes para manter o sistema elétrico nas melhores circunstâncias. Toda essa metodologia foi aplicada através de um estudo de caso em uma estação de distribuição de energia elétrica em Rélizane no Noroeste da Algeria.

É interessante a forma como os autores agregam essas ferramentas de modo a tornar o processo de gerenciamento de risco e a apresentação dos resultados dinâmico e interativo. É importante observar o uso do FTA e Diagrama de bloco como ferramentas complementares

para o FMEA, isso evidencia a possibilidade de melhorias de “visualização do risco” através de combinações de ferramentas de gerenciamento de risco entre si.

Os riscos dos componentes foram apresentados através de um gráfico de barras, usando cores vermelha para maior criticidade e verde para menor criticidade, algo interessante de acordo com a teoria das cores oponentes. Na construção do diagrama de blocos e do FTA também foram usadas cores, no entanto, não existe nenhuma legenda ou exploração do significado das cores usadas, pressupõe-se, portanto, uso de cores apenas por padrões estéticos.

Ge *et al.* (2015) realizaram um estudo para propor um método de simulação de Monte Carlo pseudo-sequencial para a avaliação do benefício de baixo carbono em sistema de distribuição, incluindo turbinas eólicas, painel solar e sistemas de armazenamento de energia de bateria. O FMEA foi usado para simplificar a rede, entretanto, não foi mostrado nenhuma aplicação do FMEA no estudo, portanto, não foi possível avaliar a aplicação do FMEA em termos de VI.

Wang *et al.* (2012) realizaram um estudo onde avaliaram o risco em transformadores de potência através do FMEA com base no *Modelo de Nuvem* para priorizar modos de falhas. Segundo os autores, o *Modelo de Nuvem* é um novo modelo para a representação conceito e percepção da transição incerta entre o conceito qualitativo e sua representação quantitativa. Por outro lado, apesar da contribuição para o tratamento da incerteza, o FMEA foi utilizado de forma simples, sem nenhum método de VI para auxiliar na tomada de decisão.

Fotuhi-firuzabad *et al.* (2012) avaliaram a confiabilidade de arquiteturas de subestação acomodando a operação FCL (limitadores de corrente) e, além disso, investigaram os impactos da FCL sobre os índices de confiabilidade da subestação. O trabalho não apresenta uma abordagem clara sobre a aplicação da ferramenta FMEA, impossibilitando, portanto, a análise de supostas melhorias de visualização do risco.

Fischer *et al.* (2011) desenvolveram um modelo quantitativo para a seleção estratégia de manutenção e otimização, e também que pode fornecer um feedback da experiência de campo para melhoria do design de turbinas eólicas. O FMEA foi usado para identificar os modos de falha no RCM (Manutenção Centrada na Confiabilidade). O Artigo também não aborda a questão da visualização do risco como forma de melhorar a tomada de decisão.

Guimarães & Lapa (2007) apresentaram um estudo de caso nuclear, em que um sistema de inferência fuzzy (FIS) é usado como abordagem alternativa em análise de risco através do uso do FMEA. O principal objetivo do estudo foi obter uma compreensão do processo de

envelhecimento de um importante sistema de energia nuclear e como isso afeta a segurança geral da planta. O uso do modelo fuzzy contribui, segundo os autores, para a descoberta de informações que supostamente passam despercebidas.

O estudo focou em sistema de pulverização de contenção e o sistema de refrigeração do ventilador nas plantas de energia nuclear. A princípio, o FMEA foi realizado, no entanto, o trabalho apenas disponibilizou o cálculo do RPN. Em seguida o modelo fuzzy foi aplicado sem agregar muito valor em termos de “visualização do risco”. Em suma, não houve efetivas contribuições para o processo de visualização do risco.

De modo geral, nota-se uma atenção voltada para melhoria da aplicação do FMEA em termos de agregar ferramentas que possibilitem uma melhor interpretação dos modos de falha através da aproximação do problema ao seu estado real. Essa questão da modelagem é complexa e merece muita atenção e que já vem sendo trabalhado, como constatado. Nos artigos analisados, apesar de haver uma atenção em relação a melhorias no FMEA, não foi percebida uma atenção para a forma de como os decisores poderiam ser beneficiados e também a não formalização da VI no GR.

4.2.2 FTA

Biswal (2012) realizaram um estudo sobre o sistema de monitoramento do sistema de refrigeração de hidrogênio (HCS) usado para o resfriamento de dois geradores tamanho 660MW de centrais de ciclo combinado usando a metodologia *seven-stage hot redundant structure* (SeSHRS). Os autores usaram o FTA para fins de uma comparação entre a proposta.

Quanto ao uso do diagrama de falha, a representação é feita de forma tradicional no sentido de não possuir nenhum tipo de diferencial na representação visual. Percebe-se um foco para a forma como identificar, contudo, a forma como essa identificação será visualizada não é contemplada. É importante essa observação, pois, as ferramentas de VI identificadas nas ferramentas de GR neste trabalho, possuem certo potencial que devem ser explorados para melhor “visualização do risco”.

Bono *et al.* (2004) fizeram uma abordagem a respeito do conceito e aplicação do FTA em casos simples e complexo de um sistema de distribuição elétrica. Os autores não trazem inovações em termos de VI e em relação a tomada de decisão. Mao *et al.* (2015) apesar de não tratarem diretamente do FTA, fazem uma abordagem interessante a respeito do uso das Redes

Bayesianas (BN) como forma de suprir as necessidades de cálculo de probabilidades que se aproxime mais da realidade.

Gomez *et al.* (2015) apresentaram uma aplicação da análise de árvore de falha para calcular a probabilidade de falha de um sistema de monitoramento de subestações com base em Unidades de Medição Fasorial (PMU). Kim *et al.* (2014) usaram o FTA para mostrar eficiência de sistemas de controle de mitigação contra ciberataques em sistemas de potência no Smart Grid. Ingram *et al.* (2013) apresentaram uma avaliação quantitativa da confiabilidade PTP usando análise de árvore de falhas. Em relação a aplicação do FTA, em nenhum dos trabalhos foram encontrados melhorias referente a “visualização do risco” através da VI.

Panteli *et al.* (2014) propuseram um método baseado numa modelagem usando Markov e FTA para avaliar a confiabilidade de um SIPS genéricos. O Trabalho não apresenta melhorias diretas no FTA, no entanto, foram notados uso de cores em mapas e gráficos.

De modo geral, os artigos que trataram do FTA demonstraram atenção para o tratamento da incerteza e a forma como pode-se representar as inter-relações e mudanças nos sistemas em que as causas estão sendo identificadas. Embora seja importante essa atenção, é necessário também que haja atenção para a forma de comunicação, pois, quando nos referimos a “visualização do risco”, falamos de algo mais abrangente que envolve a mobilização de atividades que estão além de simples visualizações.

4.2.4 HAZOP

Anantasate *et al.* (2009) usaram o HAZOP para avaliar o risco de um projeto elétrico de uma atualização do sistema principal de uma planta de produção de petróleo e gás da Tailândia. A técnica EESOR (*Electrical Engineering Safety and Operability Review*) também foi usado com a mesma finalidade. O EESOR foi desenvolvido como um método prático para a identificação do problema do projeto do sistema elétrico nas indústrias de petróleo e gás. O trabalho trata em sua maior parte da metodologia EESOR, sendo dessa forma limitada a avaliação da ferramenta HAZOP, apesar de ser usada.

4.2.6 ALARP

Dimopoulos *et al.* (2012) propuseram um método para identificar todos os fatores significativos que afetam o risco de electrocução em subestações e leva em conta a sua natureza probabilística. A avaliação do risco probabilística é aplicada a um estudo de caso prático de

uma subestação de transmissão. O ALARP ("tão baixa quanto razoavelmente exequível") é aplicado na metodologia para avaliação do sistema de aterramento.

Quanto ao uso do ALARP, foi apresentada apenas a delimitações das regiões onde o risco é aceitável, a região ALARP e a região inaceitável. Não foi usada nenhum outro tipo de método de visualização como gráficos 2D e matriz de risco. No artigo, as regiões são mostradas através do triângulo que é geralmente usado nas definições de ALARP usando valores para delimitar as regiões e cores na visualização do que cada região representa.

Dimopoulos *et al.* (2012) investigaram o risco de electrocussão nas subestações de transmissão e locais de terceiros próximas como resultado de uma falha do sistema de fio terra em um sistema de energia. O ALARP é usado para fins de comparação do risco individual com os níveis de saúde e de risco de segurança aceitáveis. O artigo não disponibilizou nenhuma aplicação do ALARP apesar de ter usado, isso impossibilitou a análise da aplicação da mesma.

4.2.7. ETA

Kenarangui (1991) usaram a técnica Fuzzy para avaliação qualitativa da árvore de eventos para obter os resultados quantitativos em um sistema de proteção de energia elétrica para avaliar a viabilidade do método em situações complexas. O trabalho apresenta uma importante contribuição para o tratamento da incerteza, logo, podemos considerar que essa contribuição se entende ao longo do processo de gerenciamento de risco, uma vez que há uma qualidade nos dados que estão sendo tratados.

Na próxima seção será feita uma análise mais aprofundada a respeito dos resultados encontrados na pesquisa detalhada na seção atual. A análise será importante para que conclusões sejam feitas a respeito do gerenciamento de risco em sistemas de fornecimento e distribuição de energia elétrica e do uso da VI nesse processo.

4.3. RESULTADOS DA PESQUISA

A subseção anterior descreveu como foi feita a pesquisa e detalhou os artigos analisados. Os resultados serão apresentados e discutidos nesta presente seção juntamente com os resultados da análise das ferramentas de GR feita no Capítulo 2.

Ao analisar as ferramentas de VI usadas no GR e posteriormente analisar o uso das mesmas no GR em sistemas elétricos, nota-se a necessidade de formalização da VI como ciência de acordo como que foi explanado por *Purchase et al.* (2008). Usa-se diagramas, tabelas,

gráficos, cores dentre outras técnicas, despercebidas de uma rotulação adequada quanto a sua classificação de ferramentas de VI.

Essa falta de abordagem adequada muitas vezes faz com que haja uma reprodução automática ou até mesmo inadequada das ferramentas de GR e VI. Ao identificar as ferramentas de VI usadas no GR, como feito no presente trabalho, é desencadeada a possibilidade de uma reprodução mais coerente das técnicas de VI, pois, uma vez que considerada como ferramenta de VI, contempla-se toda teoria de VI subjacente a cada técnica.

Em relação à aplicação em sistemas elétricos, observa-se um número baixo de trabalhos que tratam do uso das ferramentas de VI no gerenciamento de risco. Além do número baixo, não apareceram resultados adequados para análise do Diagrama Bow-Tie e nenhum resultado para o diagrama de Ishikawa. Embora tais conclusões sejam feitas, não pode haver uma generalização, as conclusões são apenas validas para sistemas elétricos em virtude da alta gama de aplicações da VI em vários campos da ciência. Dos artigos analisados, as ferramentas de gerenciamento de risco se apresentaram em sua forma tradicional. Embora alguns autores usem ferramentas que auxiliaram no GR, a atenção maior deu-se para a etapa de identificação e análise do risco, sem respaldo a forma como o processo será visualizado pelos stakeholders.

Nos artigos que usaram o FMEA, nota-se uma visualização de forma simples através da própria tabela do FMEA. Não foi identificado outro tipo de ferramenta da VI ou ao menos a intenção de fomento da forma com que “visualização do risco” é usada para a tomada de decisão.

A forma como o risco é visualizado é importante tendo em vista a otimização de recursos, a rapidez e a consistência das decisões. Seria interessante, portanto, refletir sobre o uso de uma visualização que possibilitasse um entendimento maior referente a relação entre os RPNs. Isto seria possível através de uma visualização que oferecesse uma análise mais rápida dos valores (O), (S) e (D). Essa visualização poderia ser feita através das sugestões feitas no Capítulo 3.

No artigo analisado sobre a aplicação do FTA em sistemas elétricos, notou-se algo parcialmente análogo. Apesar de alguns autores terem usado cores, as mesmas tiveram pretensões apenas estéticas para a árvore de falha. Notou-se uso de gráficos de barras e colunas, no entanto, para fins de resultados da aplicação das ferramentas, não como auxiliares para as técnicas de GR aplicadas. Em suma, todas as considerações até aqui contemplam as ferramentas ALARP e HAZOP.

De modo geral, melhorias na visualização não tem o objetivo de mostrar qual decisão seria a correta, mas sim de torna cada vez mais claro todas as informações necessárias para que o decisor de acordo com suas preferencias possa tomar a decisão certa em sua concepção.

É preciso realizar melhorias nos processos de GR tendo em vista a tomada de decisão por parte dos gestores, pois, na pratica, os mesmos que irão decidir a respeito de ações mitigatórias que serão tomadas. Uma alternativa é, portanto, partir desse principio, em que o tomador de decisão deve compreender o que significa determinados riscos e de que forma se relacionam entre si em um determinado sistema.

A visualização interativa é uma forte aliada para promover entendimento dinâmico e aumentar o entendimento da forma real do problema, através de visualizações que possibilitam o reconhecimento de padrões, tendências e descobertas de eventuais desvios do cenário atual. Os resultados indicam que está se tomando o caminho certo, no entanto, é preciso mais compreensão em relação ao uso de algumas ferramentas, que apesar de não serem conhecidas como ferramentas de VI, utilizam ferramenta de visualização em sua estrutura, tomando como exemplo, as ferramentas de GR analisadas nesta pesquisa. O reconhecimento das ferramentas de VI que estão sendo utilizados pode contribuir para reflexões sobre o uso adequado e que melhor contribua para a tomada de decisão.

A Tabela 4.2 mostra um resumo de algumas ferramentas usadas no GR em Sistemas elétricos e de que forma podem contribuir para a visualização do risco. Verificou-se uma atenção voltada para o tratamento da incerteza. Isso é uma questão importante para a “visualização do risco”, uma vez que a mesma não se resume apenas em oferecer visualizações de dados, mas também engloba ferramentas que garantam a qualidade dos dados que estão sendo visualizados.

Tabela 4.2: Ferramentas usadas no Gerenciamento de Risco em Sistemas Elétricos

Ferramentas	Contribuições
Conjuntos Fuzzy	Contribui para o processo de GR através de melhorias no tratamento da incerteza.
Modelo de elicitação Nuvem	O modelo de nuvem permite uma melhor calculo do RPN por considerar os componentes através da elicitação de pesos para cada componente.
Rede Bayesiana operacional (O-BN)	O método apresenta uma visualização das mudanças de cenários através do uso de diagramas, ícones e cores através de um diagrama usando nos em forma de círculo e setas.
Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM)	Apesar de ser uma filosofia, pode contribuir indiretamente para a “visualização do risco” através da combinação de ferramentas que contribuam sobretudo para o entendimento do processo como um todo, tornando claro dessa forma, relações entre os componentes do sistema.
EESOR (<i>Electrical Engineering Safety and Operability Revie</i>)	A técnica EESOR foi desenvolvido como um método prático para a identificação do problema do projeto do sistema elétrico nas indústrias de petróleo e gás. O EESOR é um método para estimular a criatividade e um procedimento para a geração de ideias.

Fonte: Esta pesquisa

Em resumo, pode-se entender os resultados apresentados de dois pontos de vistas: por um ponto de vista de algo negativo, uma vez que pouco tem se dado atenção da VI ao GR em sistemas de fornecimento e distribuição de energia elétrica; e uma outra visão positiva no sentido de promover pesquisas que utilize a VI no GR com propostas de melhorias como as sugeridas no Capítulo 3 desse presente trabalho.

5. CONCLUSÃO

A pesquisa teve como objetivo investigar de que forma a Visualização da Informação (VI) está sendo abordada no processo de Gerenciamento de risco (GR) e sua aplicação como apoiadora no processo de suporte a tomada de decisão em sistemas elétricos.

Percebe-se que a VI é um forte aliada para os processos decisórios, pois através dela tem-se uma maior compreensão da informação. É necessário, porém, que haja um consenso entre a decisão que irá ser tomada, os dados que a organização dispõe e os conhecimentos importantes para suporte a tomada de decisão. Por último, pensa-se como os dados serão organizados visualmente tendo em vista que as informações importantes sejam apresentadas adequadamente.

Com o intuito de propor o uso da VI no GR, o presente trabalho realizou uma análise das ferramentas FMEA, HAZOP, FTA, ETA, Diagrama Bow-Tie, Diagrama de Ishikawa e ALARP com o objetivo de entender como tais ferramentas são aplicadas. Foram identificadas o uso de algumas ferramentas da VI como por exemplo, tabelas, diagramas, gráficos, cores, dentre outras. No entanto, essas ferramentas de VI no gerenciamento de risco não são abordadas como ferramentas de visualização do risco. Isso muitas vezes pode tornar o uso das ferramentas de gerenciamento de risco apenas uma replicação sem nenhuma motivação de melhoria.

Observa-se um forte potencial das ferramentas de gerenciamento de risco analisadas que não são aproveitadas, sobretudo para apoio a tomada de decisão, como por exemplo, uso de cores, gráficos de RPN, combinações entre as ferramentas de GR entre si, dentre outras ferramentas que podem agregar valor ao processo de gerenciamento de risco através das ferramentas já existentes.

Em relação a análise em sistemas elétricos, as pesquisas indicaram uma baixa aplicação de estudos na literatura que tratam do uso do FMEA, FTA, ETA, Diagrama Bow-Tie e Diagrama de Ishikawa, HAZOP e ALARP no processo de gerenciamento de risco em sistemas de energia elétrica. Se faz necessário, portanto, estudos que foquem sobretudo em aplicações empíricas como forma de além de difundir a VI como ciência, provar supostas vantagem de seu uso no GR nos mais diversos campos da ciência, sobretudo em sistemas elétricos.

5.1. DIFICULDADES E LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Apesar de ter sido alcançados os objetivos geral e específicos do trabalho, algumas dificuldades e limitações devem ser consideradas para que possam serem levadas em consideração na realização de trabalhos futuros.

Quanto as dificuldades destacam-se o fato de estudos na área ainda não serem consolidados, portanto escassos, quanto a aplicação empírica das técnicas de VI em diversas áreas, sobretudo em sistemas elétricos. As sugestões de melhorias dadas foram apenas embasadas na literatura, não havendo nenhuma pesquisa empírica. O tempo nesse caso foi um fator que limitou os estudos e, conseqüentemente de gerar resultados mais consistentes.

Quanto as limitações, vale ressaltar a questão da aplicação da VI no gerenciamento de risco ser muito ampla, a pesquisa atual exploratória não permite uma generalização das conclusões dos resultados obtidos. Outro ponto é o fornecimento e distribuição de energia elétrica fazerem parte de um sistema complexo e de muitos componentes, aos quais a pesquisa realizada nas bases ISI não o contemplaram completamente.

5.2. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Diante dos resultados encontrados através do referencial teórico e da revisão da literatura, foram identificadas as seguintes oportunidades para trabalhos futuros:

- Analisar o uso de ferramentas de VI no gerenciamento de risco em outras áreas com o intuito de formalizar o uso da VI e obter melhorias no processo de GR.
- Realizar melhorias através da VI nas ferramentas de GR com o intuito de dar suporte a “visualização do risco”
- Aplicações empíricas que comprovem a eficiência do uso da VI no GR no fornecimento e distribuição de energia elétrica.

REFERÊNCIAS

- ABDUL RAHMAN, F. et al. Application of fault tree analysis for customer reliability assessment of a distribution power system. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 111, p. 76–85, mar. 2013.
- AEM, A. P. et al. **Reliability Analysis of Torino Sud District Heating System**. Symposium A Quarterly Journal In Modern Foreign Literatures. p.336-342 , janeiro, 1999
- AL-KASSAB, J. et al. Information visualization to support management decisions. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, v. 13, n. 02, p. 407–428, mar. 2014.
- ALMEIDA, A. T.; RAMOS, F. DE S. **Gestão da Informação na competitividade das organizações**. 2ª Edição ed. Recife, 2002.
- AMUNDRUD, Ø.; AVEN, T. On how to understand and acknowledge risk. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 142, p. 42–47, out. 2015a.
- ANANTASATE, S. et al. **Application of hazard & operability study to safety evaluation of electrical design for a major power system upgrade of oil & gas production plant**. International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, v. 1, n. 6., Tailândia, p. 178-181, maio, 2009.
- ANDREWS, J. D.; DUNNETT, S. J. Event-tree analysis using binary decision diagrams. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 49, n. 2, p. 230–238, jun. 2000.
- AVEN, T. **Risk analysis: assessing uncertainties beyond expected values and probabilities**. [s.l.] John Wiley & Sons, 2008.
- BADREDDINE, A.; AMOR, N. BEN. A Bayesian approach to construct bow tie diagrams for risk evaluation. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 91, n. 3, p. 159–171, maio 2013.
- BARTOO, G. Risk management. **IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine**, v. 22, n. 4, p. 166–172, jul. 2003.
- BEN SAID, A. et al. Experts' knowledge renewal and maintenance actions effectiveness in high-mix low-volume industries, using Bayesian approach. **Cognition, Technology & Work**, v. 18, n. 1, p. 193–213, 19 fev. 2016.
- BEN-DAYA, M.; RAOUF, A. A revised failure mode and effects analysis model. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 13, n. 1, p. 43–47, fev. 1996.
- BIER, E. A et al. **Toolglass and magic lenses**. Proceedings of the annual conference on Computer graphics and interactive techniques - SIGGRAPH '93. New York, n. 20, p. 1-10, agosto, 1993.

- BISWAL, G. R.; MAHESHWARI, R. P.; DEWAL, M. L. System Reliability and Fault Tree Analysis of SeSHRS-Based Augmentation of Hydrogen: Dedicated for Combined Cycle Power Plants. **IEEE Systems Journal**, v. 6, n. 4, p. 647–656, dez. 2012.
- BONO, R. et al. Analyzing Reliability-A Simple Yet Rigorous Approach. **IEEE Transactions on Industry Applications**, v. 40, n. 4, p. 950–957, jul. 2004.
- BROWN, B. L. Risk management. **American Journal of Infection Control**, v. 9, n. 3, p. 82–86, ago. 1981.
- CARPENDALE, M. S. T.; COWPERTHWAITTE, D. J.; FRACCHIA, F. D. Extending distortion viewing from 2D to 3D. **IEEE Computer Graphics and Applications**, v. 17, n. 4, p. 42–51, 1997.
- CHOUDHRY, R. M.; IQBAL, K. Identification of Risk Management System in Construction Industry in Pakistan. **Journal of Management in Engineering**, v. 29, n. 1, p. 42–49, jan. 2013.
- COLAÇO, D. F. et al. Sistema de Monitoramento de Chaves Seccionadoras por Visão Computacional e Redes Neurais Artificiais para Suporte ao Sistema de Controle Supervisório da CHESF. **Congresso de inovação tecnologica em energia eletrica**. n. 4, p. 1-7, novembro, 2007.
- FERC and NERC. Federal Energy Regulatory Commission and the North American Electrical Reliability Corporation Arizona-Southern California Outages on September 8, 2011. Julho, 2012.
- DEDIANOUS, V.; FIEVEZ, C. ARAMIS project: A more explicit demonstration of risk control through the use of bow-tie diagrams and the evaluation of safety barrier performance. **Journal of Hazardous Materials**, v. 130, n. 3, p. 220–233, 31 mar. 2006.
- DIMOPOULOS, A. et al. Proposal for Probabilistic Risk Assessment in Grounding Systems and Its Application to Transmission Substations. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 27, n. 4, p. 2219–2226, out. 2012.
- EBRAHIMIPOUR, V.; REZAIE, K.; SHOKRAVI, S. An ontology approach to support FMEA studies. **Expert Systems with Applications**, v. 37, n. 1, p. 671–677, janeiro, 2010.
- EIDE, A. W.; STØLEN, K. **Geographic visualization of risk as decision support in emergency situations**. International Conference on Human System Interactions Geographic. n. 5, p. 81-88, junho, 2012.
- ELLIOTT, M. S. Computer-assisted fault-tree construction using a knowledge-based approach. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 43, n. 1, p. 112–120, mar. 1994.
- EPPLER, M. J.; AESCHIMANN, M. A systematic framework for risk visualization in risk management and communication. **Risk Management**, v. 11, n. 2, p. 67–89, abr. 2009.

- ERDOGAN, S. et al. Geographical information systems aided traffic accident analysis system case study: city of Afyonkarahisar. **Accident Analysis & Prevention**, v. 40, n. 1, p. 174–181, jan. 2008.
- ESTIVALET, L. F. O Uso de Ícones na Visualização de Informações. Porto Alegre, dezembro de 2000. N.º de páginas: 90. Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Informática, Programa de Pós-Graduação em Computação.
- FERDOUS, R. et al. Methodology for Computer-Aided Fault Tree Analysis. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 85, n. 1, p. 70–80, jan. 2007.
- FISCHER, K.; BESNARD, F.; BERTLING, L. Reliability-Centered Maintenance for Wind Turbines Based on Statistical Analysis and Practical Experience. **IEEE Transactions on Energy Conversion**, v. 27, n. 1, p. 184–195, mar. 2012.
- FOTUHI-FIRUZABAD, M.; AMINIFAR, F.; RAHMATI, I. Reliability Study of HV Substations Equipped With the Fault Current Limiter. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 27, n. 2, p. 610–617, abr. 2012.
- FRICK, J.; HEGG, C. Can end-users' flood management decision making be improved by information about forecast uncertainty? **Atmospheric Research**, v. 100, n. 2-3, p. 296–303, maio 2011.
- GARCEZ, T.; ALENCAR, M.; DE ALMEIDA, A. Information visualization to support the decision-making process on risk assessment. In: **Safety and Reliability of Complex Engineered Systems**. Zurique, CRC Press, 2015. p. 3455–3460.
- GE, S. et al. Low-carbon benefit analysis on DG penetration distribution system. **Journal of Modern Power Systems and Clean Energy**, v. 3, n. 1, p. 139–148, 22 mar. 2015.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa**. 2ª Edição. São Paulo, Editora Atlas, 2008.
- GOMEZ, O.; PORTILLA, C.; RIOS, M. A. Reliability analysis of substation monitoring systems based on branch PMUs. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 30, n. 2, p. 962–969, 2015.
- GRAVES, K.; SIMMONS, D.; GALLEY, M. D. Cause-and-effect Mapping of Critical Events. **Critical Care Nursing Clinics of North America**, v. 22, n. 2, p. 243–251, jun. 2010.
- GUIMARÃES, A. C. F.; LAPA, C. M. F. Fuzzy inference to risk assessment on nuclear engineering systems. **Applied Soft Computing**, v. 7, n. 1, p. 17–28, jan. 2007.
- HAIGHT, F. A. Risk, especially risk of traffic accident. **Accident Analysis & Prevention**, v. 18, n. 5, p. 359–366, out. 1986.
- HAM, D.-H. The State of the Art of Visual Analytics. In: **EKC 2009 Proceedings of the EU-Korea Conference**. n. 1, p. 213–222, Zurich, Switzerland, 2015.
- HANSSON, S. O.; AVEN, T. Is Risk Analysis Scientific? **Risk Analysis**, v. 34, n. 7, p. 1173–1183, jul. 2014.

- HAUER, E. Traffic conflicts and exposure. **Accident Analysis & Prevention**, v. 14, n. 5, p. 359–364, out. 1982.
- HEALEY, C. G. **Choosing effective colours for data visualization**. Proceedings of Seventh Annual IEEE Visualization '96. San Francisco, p. 263-670, novembro, 1996
- HEPTING, D. H. Decision support for local environmental impact assessment. **Environmental Modelling & Software**, v. 22, n. 4, p. 436–441, abr. 2007.
- HUANG, D.; CHEN, T.; WANG, M.-J. J. A fuzzy set approach for event tree analysis. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 118, n. 1, p. 153–165, fev. 2001.
- IFAC. The Evolving Nature of Financial Reporting : Disclosure and Its Audit Implications. n. January, p. (FRC), F. R. C. (2011). Cutting Clutter. Writing., 2011.
- INGRAM, D. M. E. et al. Quantitative Assessment of Fault Tolerant Precision Timing for Electricity Substations. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, v. 62, n. 10, p. 2694–2703, 2013.
- ISO-31000. **ABNT NBR ISO 31000, Gestão de riscos - Princípios e diretrizes**. Rio de janeiro, 2009.
- JERÓNIMO, H. M. A peritagem científica perante o risco e as incertezas. **Análise Social**, v. 41, n. 181, p. 1143–1165, 2006.
- NUÑEZ, Jose. Métodos Alternativos de Representação Temática: Aplicações Cartográficas do Método Chernoff e os Cartogramas (Mapas Anamórficos). Dept. de Cartografia e Geoinformática, Universidade Eötvös Loránd. 2010.
- KEIM, D. A. Information visualization and visual data mining. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 8, n. 1, p. 1–8, 2002.
- KENARANGUI, R. Event-tree analysis by fuzzy probability. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 40, n. 1, p. 120–124, abr. 1991.
- KERREN, A. et al. **Evolutionary Computation, Machine Learning and Data Mining in Bioinformatics**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012. v. 7246
- KHAN, F. I.; ABBASI, S. A. Mathematical model for HAZOP study time estimation. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 10, n. 4, p. 249–257, jul. 1997.
- KHAN, M.; KHAN, S. Data and information visualization methods, and interactive mechanisms: A survey. **International Journal of Computer Applications**, v. 34, n. 1, p. 1–14, 2011.
- KIM, M.; KIM, Y.; JEON, K. Cyber Threat and a Mitigation Method for the Power Systems in the Smart Grid. **J ElectrEngTechnol**, v. 9, n. 3, p. 1043–1050, 2014.
- KIRBY, B.; KUECK, J.; RIDGE, O. Consortium for Electric Reliability Technology Solutions Grid of the Future White Paper on Review of the Structure of Bulk Power Markets. 2000.

- KOSARA, R.; HAUSER, H.; GRESH, D. L. **An interaction view on information visualization.** The Eurographics Association. Junho, 2003
- KOSTOV, P.; LINGARD, J. Risk management: a general framework for rural development. **Journal of Rural Studies**, v. 19, n. 4, p. 463–476, out. 2003.
- KROPOSKI, B.; KOMOMUA, C. Visualization of Electric Power System Information. Nacional Renewable Energy Laboratory. January, 2013.
- LEE, J.-S.; CHA, S.-D. Fault tree construction of hybrid system requirements using qualitative formal method. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 87, n. 1, p. 121–131, jan. 2005.
- LEVINE, T. Using colour in figures: let's agree to differ. **Traffic**, v. 10, n. 3, p. 344–347, mar. 2009.
- LILLIESTAM, J. Vulnerability to terrorist attacks in European electricity decarbonisation scenarios: Comparing renewable electricity imports to gas imports. **Energy Policy**, v. 66, p. 234–248, mar. 2014.
- LIN, L.; FAN, L.; ZHUO, W. **Life-Cycle Risk Management and Accident Forensic of Major Public Construction Projects.** 2009 First International Conference on Information Science and Engineering. p. 4371-4373, dezembro, 2009.
- LIN, X. Map displays for information retrieval. **Journal of the American Society for Information Science**, v. 48, n. 1, p. 40–54, jan. 1997.
- MA, C.; CHOU, D. C.; YEN, D. C. Data warehousing, technology assessment and management. **Industrial Management & Data Systems**, v. 100, n. 3, p. 125–135, abr. 2000.
- MAO, C. et al. System-Level Vulnerability Assessment for EME : From Fault Tree Analysis to Bayesian Networks — Part II : Illustration to Microcontroller System. v. 58, n. 1, p. 1–9, 2015.
- MARCONI, M. DE A.; LAKATOS, E. M. Técnicas de pesquisa. **Atlas**, n. 1, p. 1–5, 2002.
- MARCONI, M. DE A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica.** 5ª Edição. São Paulo, Editora Atlas, 2003.
- MARKOWSKI, A. S.; MANNAN, M. S.; BIGOSZEWSKA, A. Fuzzy logic for process safety analysis. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 22, n. 6, p. 695–702, nov. 2009.
- MENTES, A.; HELVACIOGLU, I. H. An application of fuzzy fault tree analysis for spread mooring systems. **Ocean Engineering**, v. 38, n. 2-3, p. 285–294, fev. 2011.
- MOGO, S. **Percepção da cor.** Departamento de Física, Universidade da Beira Interior. Covilhã, Portugal, 2013.
- MOLHANEC, M.; POVOLOTSKAYA, E. **Model based FMEA - An efficient tool for quality management of the free lead soldering.** 2012 35th International Spring Seminar

- on Electronics Technology. n.35, p. 230-236, maio, 2012.
- MULLEN, K. T. The contrast sensitivity of human colour vision to red-green and blue-yellow chromatic gratings. **The Journal of Physiology**, v. 359, n. 1, p. 381–400, 1 fev. 1985.
- NASCIMENTO, H. DO; FERREIRA, C. Visualização de Informações—uma abordagem prática. **XXV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação**, n. 62, p. 1262–1312, 2005.
- NIELSEN, K. R. Risk Management: Lessons from Six Continents. **Journal of Management in Engineering**, v. 22, n. 2, p. 61–67, abr. 2006.
- NOPSEMA. National Offshore Petroleum Safety and Environmental Management Authority. Guidance note Core concepts. v. 26, n. June, p. 1–25, 2015.
- OLIVEIRA, A. J. DE; MARTINES, DANIEL ALEXANDRE DA SILVA, J. E. C. V. L. V.; FILHO, RAPHAEL ALVES STAPASSOLI, E. A. D. Summary for Policymakers. In: Intergovernmental Panel on Climate Change (Ed.). **Climate Change 2013 - The Physical Science Basis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. v. 53p. 1–30.
- PANTELI, M.; CROSSLEY, P. A.; FITCH, J. **Determining the reliability requirements of system integrity protection schemes**. 2014 International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS). v. 8, p. 1-6, julho, 2014.
- REILING, J. G.; KNUTZEN, B. L.; STOECKLEIN, M. FMEA : the Cure For Medical Errors. **Quality Progress**. v.36, p. 67–71. Abril, 2003.
- PURCHASE, Helen C.; Andrienko, Natalia; Jankun-Kelly , T.J.; Ward, Matthew. Theoretical Foundations of Information Visualization. In: KERREN, A. et al. Information Visualization. Springer, New York, 2008.
- ROTHROCK, L. et al. **Systematic analysis of risk visualization strategies for homeland defense**. SMC'03 Conference Proceedings. 2003 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Conference Theme - System Security and Assurance. v.3, p. 2083-2088. Outubro, 2003
- SADIQ, R.; SAINT-MARTIN, E.; KLEINER, Y. Predicting risk of water quality failures in distribution networks under uncertainties using fault-tree analysis. **Urban Water Journal**, v. 5, n. 4, p. 287–304, 2008.
- SANSAVINI, G. et al. A stochastic framework for uncertainty analysis in electric power transmission systems with wind generation. **Renewable Energy**, v. 64, p. 71–81, abr. 2014.
- SCHNEIDERMAN, B.; PLAISANT, C. Treemaps for Space Constrained Visualization of Hierarchies. p. 1-9, junho, 2009.
- SILVA, T. E. DA; TOMAÉL, M. I. A gestão da informação nas organizações. **Informação & Informação**, v. 12, n. 2, p. 148, 15 dez. 2007.
- SIMONOFF, J. S.; RESTREPO, C. E.; ZIMMERMAN, R. Risk-Management and Risk-

- Analysis-Based Decision Tools for Attacks on Electric Power. **Risk Analysis**, v. 27, n. 3, p. 547–570, jun. 2007.
- STAIR, R. M.; REYNOLDS, G. W. **Princípios de sistemas de informação**. 6ª Edição norte americana. São Paulo, Editora Cengage Learning, 2013.
- STEVENS, S. S. On the Theory of Scales of Measurement. **Science**, v. 103, n. 2684, p. 677–680, 7 jun. 1946.
- STONE, M. Information Visualization: Challenge for the Humanities. In: **Working Together or Apart: Promoting the Next Generation of Digital Scholarship (review)**. p. 43–56.
- THEOBALD, R. Estudo De Perigos E Desestabilização De Emulsões De Petroleo Via Micro-Ondas. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2013.
- THOMAS, J. J.; COOK, K. A. Illuminating the path: The research and development agenda for visual analytics. **IEEE Computer Society**, v. 54, n. 2, p. 184, 2005.
- TSUN-YU HSIAO; CHAN-NAN LU. Risk Informed Design Refinement of a Power System Protection Scheme. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 57, n. 2, p. 311–321, jun. 2008.
- TURKAY, C. et al. Attribute Signatures: Dynamic Visual Summaries for Analyzing Multivariate Geographical Data. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 20, n. 12, p. 2033–2042, 31 dez. 2014.
- U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Quadrennial Technology Review - An Assessment of Energy Technologies and Research Opportunities**. p. 1- 99, setembro, 2015.
- UFRGS. **Estrutura das Imagens de SR**. Disponível em: <www.ufrgs.br/engcart/PDASR/estrim.html>. Acesso em: 1 dez. 2015.
- VAN WALSUM, T. et al. Feature extraction and iconic visualization. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 2, n. 2, p. 111–119, jun. 1996.
- VAZ, F. R.; CARVALHO, C. L. DE. Visualização de Informações. Instituto de Informatica, Universidade Federal de Goiás. p. 0–20, Goiânia, 2004.
- VOLKANOVSKI, A.; ČEPIN, M.; MAVKO, B. Application of the fault tree analysis for assessment of power system reliability. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 94, n. 6, p. 1116–1127, jun. 2009.
- WANG, X.; ZHANG, Y.; SHEN, G. An improved FMECA for feed system of CNC machining center based on ICR and DEMATEL method. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 83, n. 1-4, p. 43–54, 19 mar. 2016.
- WARE, C. **Information visualization: perception for design**. 2ª Ed. Waltham, USA. Elsevier, 2013.
- XIE, Y.; LI, J.; ZHANG, A. **Extended FMEA method applied in the field of functional safety**. The Proceedings of 2011 International Conference on Reliability, Maintainability and Safety. n. 9, p. 615-618. Junho, 2011

- YINGZHUO, XU; LIUPENG, WANG. Research of Visualization Intelligent Decision Support System for Drilling Risk Control. Chinese Control and Decision Conference. p. 3822-3827, maio, 2010.
- YANEIRA E. SAUD, KUMAR (CHRIS) ISRANI, AND J. G. **Bow-Tie Diagrams in Research of Visualization Intelligent Decision Support System for Drilling Risk Control.** Downstream Hazard Identification and Risk Assessment. **Process Safety Progress**, v. 25, n. 4, p. 326–330, 2013.
- YAOLONG WANG et al. **Cloud model-based risk assessment of power transformer.** International Conference on High Voltage Engineering and Application. P. 544-547, setembro, 2012.
- YOUNG, P.; TOMSKI, M. An introduction to risk managemnet. Physical medicine and rehabilitation clinics of nort américa. v. 13, p. 1–20, 2002.
- YSSAAD, B.; ABENE, A. Rational Reliability Centered Maintenance Optimization for power distribution systems. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, v. 73, p. 350–360, dez. 2015.
- ZHAO, D.; ZHOU, N. **Analysis of the Present Applications of Information Visualization in E-Commerce Websites.** International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. n. 4, p. 1-4. outubro, 2008.
- ZOU, P. X. W.; CHEN, Y.; CHAN, T.-Y. Understanding and Improving Your Risk Management Capability: Assessment Model for Construction Organizations. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 136, n. 8, p. 854–863, ago. 2010.