

Modelo Integral-Fuzzy para a Análise da Criticidade de Ferrovias

Marcelo Prado Sucena (PET/COPPE/UFRJ – CENTRAL) msucena@central.rj.gov.br

Vladimir Lima da Silva (PET/COPPE/UFRJ) vladimir@pet.coppe.ufrj.br

Amaranto Lopes Pereira (PET/COPPE/UFRJ) amaranto@pet.coppe.ufrj.br

Licínio da Silva Portugal (PET/COPPE/UFRJ) licinio@pet.coppe.ufrj.br

Resumo

Organizações com diversidade construtiva e complexa operação, tais como os sistemas ferroviários, necessitam ser subsidiadas com informações dos componentes críticos, que possam comprometer a segurança, a confiabilidade e a disponibilidade das mesmas, indicando a situação operacional do momento, para que as tomadas de decisão possam ter a eficiência projetada e que os recursos possam ser otimizados, precavendo-se contra a degradação do nível de serviço de transporte, a elevação dos custos operacionais e a perda dos investimentos originais.

Este trabalho baseia-se nos dados obtidos na dissertação de mestrado do primeiro autor e apresenta um modelo baseado na lógica Fuzzy, para tomada de decisão em sistemas complexos, calcando-se na visão sistêmica do sistema e na criticidade dos seus componentes. É apresentado um estudo de caso em uma ferrovia de passageiros.

Palavras-chave: Fuzzy; Ferrovia; Criticidade.

1. Introdução

As empresas de transporte ferroviário, independente dos seus objetivos, são consideradas organizações complexas, pois dependem de várias tecnologias específicas do ramo ferroviário, envolvendo as áreas elétrica, eletrônica, mecânica, civil etc., necessitando de equipamentos e materiais confiáveis e pessoal especializado para o seu funcionamento.

A análise sistêmica do desempenho operacional dos subsistemas de um sistema ferroviário sob esses aspectos, permite uma impressão abrangente das condições operativas dos seus subsistemas, disponibilizando informações gerenciais para o processo decisório. Essas decisões têm alto grau de complexidade, pois envolve quesitos referentes a segurança da sociedade, dos usuários e dos empregados envolvidos no movimento dos trens, além da influência direta nos custos de produção (operação e manutenção) e ambiental.

Bertalanffy (1992) ratifica que a análise dos subsistemas e de seus componentes é tão necessária quanto a análise do sistema disponível para utilização. Ele cita que "o todo é mais que a soma das partes isoladas. As características de todo o complexo, portanto, quando comparadas às dos elementos individualmente, parecem dinâmicas."

2. Fundamentação Teórica

2.1 A Visão Sistêmica

Segundo Honigbaum (1993) um sistema é um conjunto de componentes interligados com vistas a realizar um fim comum. Já a definição do Prof. Chinol *in* Honigbaum (1993) ressalta

a importância da análise das influências entre os componentes de um sistema: “um sistema é um conjunto de elementos dotados de uma organização e sujeitos, por essa razão, a interações mútuas.”

Pereira (2004) unifica em uma definição de sistema os conceitos importantes de outros autores e inclui a necessidade da análise conjunta dos controles dos componentes: “sistema é um conjunto determinado de elementos ou componentes discretos, interconectados ou em interação dinâmica, organizados e agenciados em função de um objetivo, fazendo o referido conjunto, objeto de um controle.” A Figura 1 a seguir expõe resumidamente como é constituído um sistema, quais os seus componentes e como estão inseridos no meio ambiente.

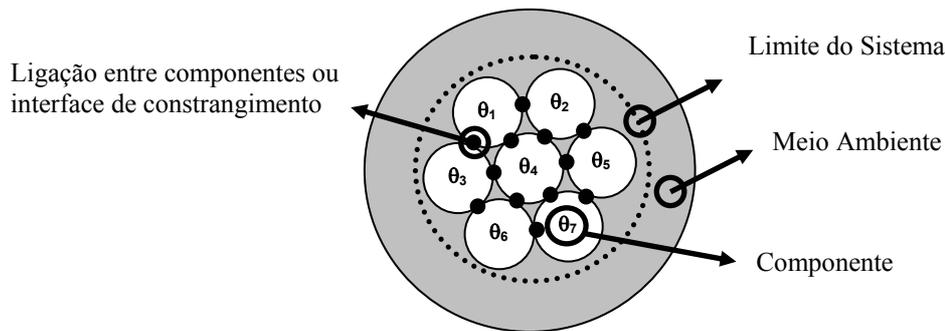


Figura 1 - Representação simbólica de um sistema

De acordo com a sua constituição, os sistemas podem ser:

- Sistemas físicos ou concretos: quando são compostos de equipamentos, de máquinas, de objetos ou coisas reais e;
- Sistemas abstratos ou conceituais: quando compostos de conceitos, planos, hipóteses e idéias.

Quanto à sua natureza, os sistemas podem ser:

- Sistemas fechados: são os que não apresentam troca de informações ou energia com o meio externo ao sistema (meio ambiente) e;
- Sistemas abertos: são os que apresentam relações de troca de informações ou energia com o ambiente, através de entradas e saídas.

Pontes (1991) destaca que podem haver definições de sistema de acordo com a área de análise. Ele cita Pereira (1988) que define sistema no campo da engenharia como um sistema técnico: “alguma coisa capaz de pôr em execução um processo operacional, onde alguma coisa é operada para produzir alguma coisa”.

Sendo assim, pode-se considerar um sistema ferroviário como um sistema técnico complexo, concreto, aberto, com vários componentes que interagem entre si dinamicamente, promovendo impactos na prestação do serviço de transporte, bem como no meio ambiente do entorno.

2.2 A Análise da Criticidade

Este modelo baseou-se no método que avalia os Modos de Falhas, Análise dos Efeitos e da Criticidade (*Failure Mode, Effects and Criticality Analysis* - FMECA), derivado do método FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*), para análise dos componentes críticos.

O método FMEA foi desenvolvido em 1949 pelas Forças Armadas Americanas com o intuito de analisar sistematicamente todos os possíveis modos potenciais de falhas de um sistema, assim como, identificar o efeito resultante de tais falhas sobre o sistema.

Como variante do FMEA, o FMECA consiste de um método para examinar todos os modos de falhas de um sistema, seus efeitos potenciais no desempenho e na segurança, além da severidade desse efeito.

Considera-se “Modo de Falha” a descrição da maneira pela qual um item falha ao cumprir com a sua função. Compreende os eventos que levam a uma diminuição parcial ou total da função do item e de suas metas de desempenho. (Lafraia, 2001)

Seixas (2000) e Lafraia (2001) conceituam “Análise de Criticidade” ou “Análise de Risco” como o processo ou procedimento para identificar, caracterizar, quantificar e avaliar os riscos e seu significado. A Análise de criticidade leva em consideração a probabilidade de ocorrência da falha, podendo ser utilizada como uma ferramenta para priorização através de pesos calcados em critérios técnicos específicos.

Os métodos FMEA e FMECA são detalhados em Ireson *et al* (1988), Lafraia (2001), Seixas (2001) e nas normas MIL-STD-1629A e BS-5760.

Utilizaram-se três propriedades importantes caracterizadas no FMECA para valorar o nível de criticidade ou Índice de Risco (IR) de um modo de falha: severidade dos efeitos da falha e as probabilidades de ocorrência e de detecção das mesmas. Para cada componente dos subsistemas foram identificados os valores associados às propriedades do IR, que comporão o valor da criticidade desses componentes em relação ao sistema. O cálculo desse índice é efetuado pela expressão nº 1 a seguir:

$$RPN = PSF \times PPOF \times PPDF \quad (1)$$

Sendo PSF, o peso que representa a severidade do efeito da falha sobre o sistema, PPOF, o peso que representa a probabilidade de ocorrência da falha e PPDF, o peso que representa a probabilidade de detecção da falha antes do sistema ser afetado. Os referidos pesos são obtidos por consultas aos especialistas que atuam na operação e/ou manutenção dos componentes do sistema sob análise. Cabe observar que os distintos estados de conservação do sistema sob análise podem levar a classificações e pesos diferentes, porém, estas diferenças não influem no modelo, apenas nos resultados que refletem às condições reais do problema estudado.

2.3. Lógica Fuzzy

A Lógica Fuzzy nasceu em 1965 a partir da publicação do artigo intitulado *Fuzzy Sets* na revista *Information and Control* por Lofti A. Zadeh da Universidade da Califórnia, Berkeley. A Lógica Fuzzy consiste na modelagem de problemas que comportam variáveis quantitativas e/ou qualitativas por meio da construção de algoritmos baseados na arquitetura do pensamento consensual de especialistas ou usuários dos sistemas. Zadeh *et al* (1975) afirmam que uma das grandes vantagens da Lógica Fuzzy é a de realizar, por meio das propriedades dos conjuntos Fuzzy, a tradução de termos lingüísticos utilizados nas comunicações diárias (linguagem natural) em expressões matemáticas. A Figura 2 resume o descrito.

Para Ross (1995), em conjuntos clássicos (crisp), a transição de um determinado elemento em um universo entre ser membro e não-membro de um dado conjunto é abrupta e bem-definida. Para um elemento em um universo que contém conjuntos Fuzzy, essa transição pode ser transcrita de modo a que possa ser considerada a fronteira subjetiva que existe entre o pertencer e o não-pertencer a um dado conjunto. Assim, um conjunto Fuzzy é um conjunto de elementos que têm vários níveis de participação no conjunto.

Silva *et al* (2004) apresentam como alguns dos benefícios da aplicação da Lógica Fuzzy a flexibilidade no tratamento de variáveis qualitativas e/ou quantitativas, a facilidade de implementação computacional, e ainda, a minimização dos custos inerentes às fases de modelagem e implantação de seus algoritmos.

Neste trabalho, podem ser citadas as seguintes vantagens pela utilização da lógica Fuzzy:

- Ela viabiliza a representação do sistema e de cada subsistema por meio de uma consistente base teórica;

- Libera o analista do processo lento e complexo da investigação das diversas variáveis que influenciam a operacionalidade do sistema;
- É funcional e de fácil implementação computacional;
- Apóia o processo decisório por meio de um valor final de fácil entendimento para os usuários e que possui seu valor correspondente traduzido em uma escala semântica que indica o nível de criticidade do sistema; e
- É quantitativo e qualitativo e sua medida é intuitiva para o usuário final.

Expressão Discreta (quando o universo é finito) – sendo o Universo X:

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$. Então, um conjunto fuzzy A de X pode ser representado como:

$$A = \mu_A(x_1)/x_1 + \mu_A(x_2)/x_2 + \dots + \sum_{i=1}^n \mu_A(x_i)/x_i$$

(grau de pertinência do elemento i)/(valor do elemento i)

Para o caso de expressões contínuas (quando o universo é infinito), temos:

$$A = \int_x \mu_A(x_i)/x_i$$

Fonte: *An Introduction to Fuzzy Logic for Practical Applications* (Tanaka, 1997).

Figura 2 - Representação dos Conjuntos Fuzzy

3. Metodologia

Esse trabalho foi desenvolvido seguindo-se a seguinte estrutura:

3.1. Caracterização do Sistema e de seus Subsistemas

A ferrovia se insere como um modo de transporte ideal para a movimentação de produtos a longa distância e de pessoas em centros urbanos. Em áreas densamente povoadas, como as grandes metrópoles mundiais, a utilização de trens para o transporte de passageiros contribui para o melhor aproveitamento do uso do solo, para o uso menos intenso de veículos particulares, para a redução de engarrafamentos, de lançamento de poluentes na atmosfera e do nível de ruído, para a queda do número de acidentes e para a redução de gastos em manutenção das vias urbanas, gerando menos interrupções no tráfego em geral.

O sistema ferroviário sob análise, que nesse trabalho foi considerado como transporte de passageiros, foi hierarquizado conforme Sucena (2002). Os três primeiros níveis estão detalhados na Figura 3 a seguir, e no anexo, apresenta-se o detalhamento dessa hierarquização.

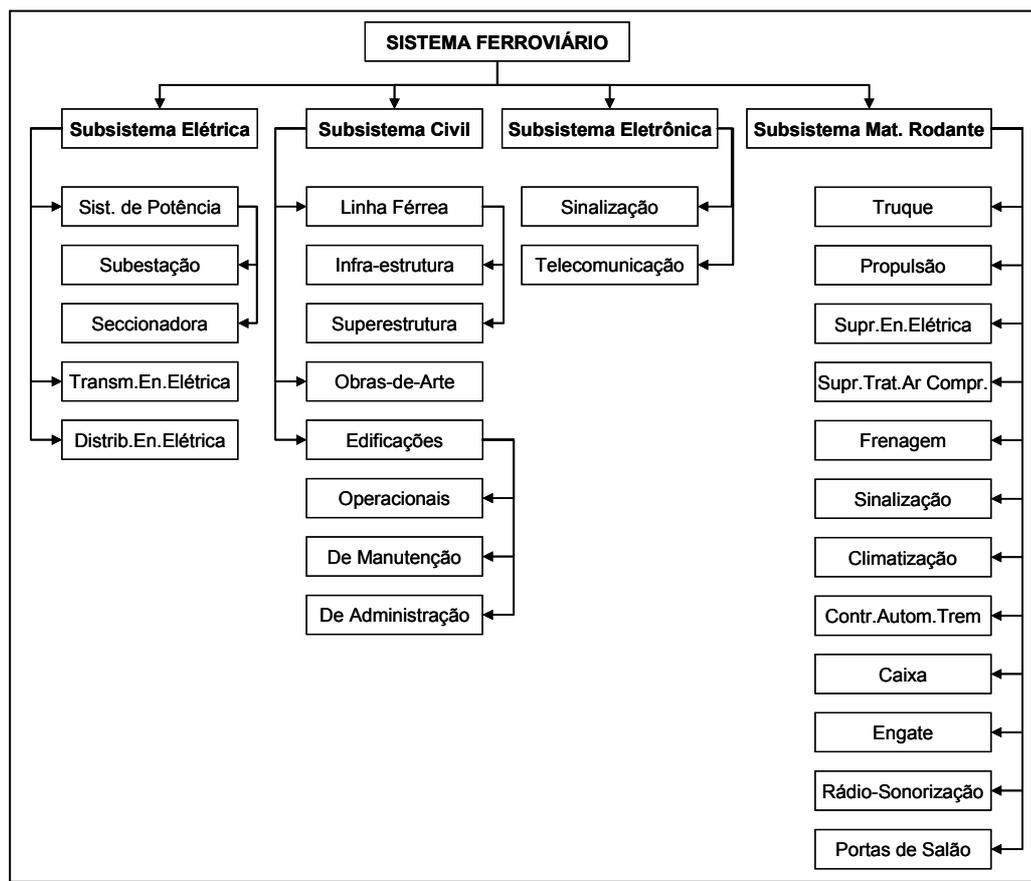


Figura 3 - Variáveis de Entrada do Modelo

3.2. Determinação dos Pesos que Comporão o Índice de Risco

Baseando-se em Sucena (2002), obtiveram-se os dados que representam a severidade, a probabilidade de ocorrência e a probabilidade de detecção das falhas, de cada componente, junto aos especialistas.

3.3. Definição das Variáveis de Entrada (VE) de cada Componente e seus Rótulos

As VE, bem como as suas estruturas de relacionamentos, estão dispostas conforme a estrutura da Figura 2. Os rótulos de entrada e de saída obedecem à escala proposta por Likert *apud* Pereira (1999) de cinco variáveis semânticas.

Para cada variável de entrada, admitiu-se a mudança dos termos empregados para *Negligenciável*, *Marginal*, *Moderada*, *Crítica* e *Catastrófica*, para a Severidade (SEV); *Remota*, *Baixa*, *Ocasional*, *Alta* e *Frequente*, para a Probabilidade de Ocorrência (POC); e *Muito Alta*, *Alta*, *Baixa*, *Muito Baixa*, *Não Detectável*, para a Probabilidade de Detecção (PDE)

3.4. Definição da Variável de Saída (VS) de cada Componente e seus Rótulos

A VS, motivo da avaliação, é o Índice de Risco (IR) do Sistema. Neste caso, consideraram-se os termos lingüísticos como *Muito Baixa*, *Baixa*, *Média*, *Alta*, *Muito Alta*.

A Figura 4 simboliza, para cada componente do nível inferior, as VE e a VS.

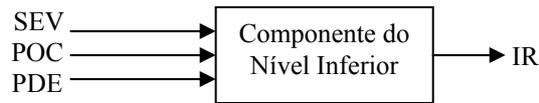


Figura 4 - Esquema Simbólico das VE e VS

3.5. Estabelecimento dos Valores de Suporte

Os valores de suporte considerados correspondem ao intervalo numérico fechado entre 0 e 10. Segundo Pereira *apud* Silva (2004), a escala ordinal permite a distinção entre os atributos, reconhecendo-se ainda relações de igualdade/desigualdade e de ordem (maior, menor).

3.6. Atribuição Numérica Subjetiva e Representação dos Conjuntos Fuzzy

Nesta etapa são atribuídos graus de pertinência ou graus de certeza, ao intervalo numérico [1, 10].

3.7. Estabelecimento das Regras de Inferência

O modelo gera respostas (Rótulos de Saída) em função dos estímulos emitidos pelas variáveis de entrada. O sistema de inferência deste trabalho é constituído pelas Integrais-Fuzzy e tem por base os valores de suporte e o cálculo dos Graus de Pertinência. Os Graus de Pertinência para as variáveis de entrada e de saída foram calculados a partir de formas trapezoidais e triangulares e suas expressões são descritas por meio das Equações que seguem:

- Rótulos: Negligenciável (SEV), Remota (POC), Muito Alta (PDE) e Muito Baixa (IR).

$$\mu(x) = \begin{cases} 2,5 \\ 1 \end{cases} - 0,67x + 1,67 \quad (2)$$

- Rótulos: Marginal (SEV), Baixa (POC e IR) e Alta (PDE)

$$\mu(x) = \begin{cases} 2,5 \\ 1 \end{cases} 0,67x - 0,67 + \begin{cases} 5 \\ 2,5 \end{cases} - 0,4x + 2 \quad (3)$$

- Rótulos: Moderada (SEV), Ocasional (POC), Baixa (PDE) e Média (IR)

$$\mu(x) = \begin{cases} 5 \\ 2,5 \end{cases} 0,4x - 1 + \begin{cases} 7,5 \\ 5 \end{cases} - 0,4x + 3 \quad (4)$$

- Rótulos: Crítica (SEV), Alta (POC e IR) e Muito Baixa (PDE)

$$\mu(x) = \begin{cases} 7,5 \\ 5 \end{cases} 0,4x - 2 + \begin{cases} 7,5 \\ 5 \end{cases} - 0,4x + 4 \quad (5)$$

- Rótulos: Catastrófica (SEV), Freqüente (POC), Não Detectável (PDE) e Muito Alta (IR)

$$\mu(x) = \begin{cases} 10 \\ 7,5 \end{cases} 0,4x + 3 \quad (6)$$

Onde “x” assume o rótulo sob análise.

3.8. Defuzzificação

A defuzzificação é uma transformação inversa que traduz a saída do domínio Fuzzy para o domínio discreto, onde o valor da variável lingüística de saída, inferida pelas regras Fuzzy, é traduzido num valor discreto (Shaw *et al*, 1999).

Neste trabalho, utilizou-se o método “Centro dos Máximos” (C-o-M), que considera os picos das funções de pertinência. Efetuou-se o cálculo a partir da Equação 7:

$$IR = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i(x) \times X_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i(x)} \quad (7)$$

Onde: IR – Valor de saída do componente sob análise;

$\mu(x)$ – Graus de Pertinência, definidos segundo às equações 2 a 6, para cada variável de entrada (Severidade, Probabilidades de Ocorrência e de Detecção);

X_i – Valores de entrada de cada componente “i”, sendo $i = 1.. n$.

3.9. Determinação do IR dos Níveis Imediatamente Superiores

A determinação do IR dos níveis imediatamente superiores é efetuada considerando-se os IR de cada componente dos níveis inferiores daquele ramo (Figura 5), utilizando-se a expressão 7, considerando-se que:

1. O IR calculado pela expressão 7 representa o IR do nível imediatamente superior no ramo em questão;
2. Os Graus de Pertinência ($\mu(x)$) são os dos IR dos componentes do nível inferior no ramo em questão, segundo a aplicação das equações 2 a 6 para cada IR defuzzificado.
3. Os valores de X_i são os resultados da defuzzificação de cada componente “i”, sendo $i = 1.. n$.

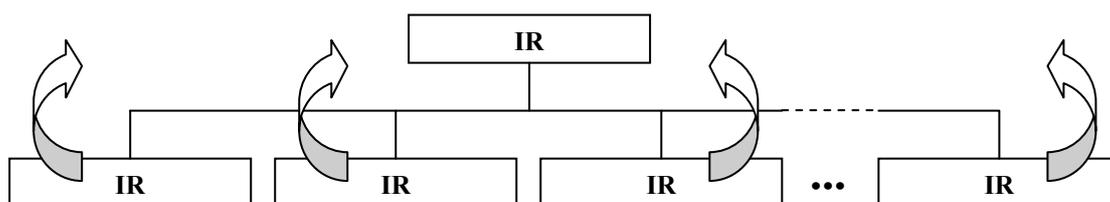


Figura 5 - Representação Esquemática da Avaliação do IR do nível imediatamente superior

Este passo deve ser repetido em todos os ramos dos subsistemas até chegar ao penúltimo nível, ou seja, o nível dos subsistemas.

4. Resultados

Avaliou-se 71 componentes nos níveis inferiores, de cada ramo, de cada subsistema, obtendo-se para cada um desses a classificação exposta na Tabela 1.

Subsistemas	Criticidade	IR	Grau de Pertinência
Material Rodante	Alta	6,39	0,55
Eletrônica	Baixa	3,20	0,72
Elétrica	Média	4,34	0,73
Civil	Baixa	2,65	0,94

Tabela 1- Criticidade dos Subsistemas

Dentre os componentes avaliados no subsistema Material Rodante, o mais crítico no sistema ferroviário sob análise, identificou-se o de Propulsão e o de Frenagem como os mais críticos. A Tabela 2, a seguir, apresenta a criticidade dos cinco componentes mais críticos desse subsistema.

Componentes	Criticidade	IR	Grau de Pertinência
Propulsão	Alta	8,75	0,50
Frenagem	Alta	8,75	0,50
Supr. de Energia Elétrica	Alta	8,15	0,74
Rádio-Sonorização	Alta	8,09	0,76
Portas de Salão	Alta	7,70	0,92

Tabela 2 - Criticidade dos Componentes do Subsistema Material Rodante

5. Conclusões e Considerações Finais

Um dos requisitos fundamentais para o planejamento tático e operacional de sistemas complexos é o entendimento das partes que o compõem e como essas influenciam o seu funcionamento.

A utilização do diagrama hierarquizado e da lógica Fuzzy como suporte para o modelo, proporciona ao tomador de decisão uma visão sistêmica da estrutura funcional do sistema ferroviário sob análise, além da facilidade de representação do sistema utilizando-se consistente base teórica.

A carência de informações técnicas consistentes e homogêneas de todos os subsistemas envolvidos no sistema, principalmente aquelas que indicam a sua condição de operação, dificulta a tomada de decisão, principalmente pelos analistas que se encontram distantes das áreas de manutenção e operação.

Estes profissionais, que geralmente não detém o conhecimento técnico de todas as áreas operacionais, ficam expostos a pressões políticas e pessoais, podendo influenciar a sua decisão. Sendo assim, esse modelo apresenta forte apelo, pois disponibiliza uma ferramenta gerencial de fácil implementação computacional e que libera o analista do processo lento e complexo de investigação de variáveis que influenciam diretamente a operacionalidade do sistema.

A utilização da FMECA como principal método da área de engenharia de manutenção é fundamentada internacionalmente, prestando-se como uma importante referência para análise das condições de desempenho do sistema global, podendo ser utilizada como indicador para alocação de recursos financeiros, humanos e materiais.

Além disso, o uso da criticidade credencia a utilização do modelo para ser adotado na análise de sistemas nas fases de projeto e operação, pois são baseados na interação de dados quantitativos e qualitativos.

Como o desempenho pode ser influenciado por vários fatores, a criticidade também pode ser utilizada como indicador das condições de execução da manutenção, da necessidade de

treinamento para pessoas das áreas de operação e manutenção e de necessidades de modificação dos processos de controle.

Por intermédio da lógica Fuzzy puderam-se avaliar as características da criticidade baseando-se em regras que representam o conhecimento, unindo-se avaliações qualitativas com resultados quantitativos.

Referências

- BERTALANFFY, VON L. *Teoria Geral de Sistemas*. São Paulo: Ed.Vozes, 1992.
- BRITISH STANDARD INSTITUTION *BS 5760 – Reliability of Systems, Equipment and Components-Part 5. Guide to Failure Modes, Effects and Criticality Analysis (FMEA and FMECA)*, 1991.
- DEPARTMENT OF DEFENSE – UNITED STATES OF AMERICA *Military Standard MIL-STD-1629A: Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*, USA, 1980.
- HONIGBAUM, G. *Uma Contribuição ao Estudo de Confiabilidade e Disponibilidade em Sistemas de Transporte Metro-Ferrovários*. Rio de Janeiro: Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, 1993.
- LAFRAIA, J. R. B. *Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade*. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2001.
- PEREIRA, A. L. *Teoria Geral de Sistemas*. Apontamentos da Disciplina, Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2004.
- PEREIRA, J. C. R. *Análise de Dados Qualitativos: Estratégias Metodológicas para as Ciências da Saúde, Humanas e Sociais.*, São Paulo: EDUSP, 1999.
- PONTES, M. V. V. *Uma Contribuição ao Estudo de Confiabilidade e Segurança de Sistemas de Transporte Metro-Ferrovários*, Rio de Janeiro: Dissertação de Mestrado, COOPE/UFRJ, 1991.
- ROSS, T. J. *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. U.S.A: Ed. McGraw-Hill, 1995.
- SEIXAS, E. S. *Failure Mode and Effect Analysis – FMEA*. , Rio de Janeiro: Qualytek – Qualidade, Tecnologia e Sistemas LTDA, 2001.
- SHAW I. S. et al. *Controle e Modelagem Fuzzy*. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda, FAPESP, 1999.
- SILVA, V. L. et al. *Uma Contribuição ao Gerenciamento da Mobilidade: Modelo Integral-Fuzzy para Avaliação de Intervenções em Vias Urbanas*. X SIMPEP – Simpósio de Engenharia de Produção – UNESP, 2004.
- SILVA, V. L. *Modelo de Avaliação de Desempenho de Empresas Aéreas de Transporte Regular de Passageiros – O Caso Brasileiro*. Rio de Janeiro: Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia, 2004.
- SUCENA, M. P. *Subsídios para Alocação de Recursos Financeiros em Sistemas de Transportes Sobre Trilhos Baseado em Critérios Técnicos*. Rio de Janeiro: Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia, 2002.
- TANAKA, K.. *An Introduction to Fuzzy Logic for Practical Applications*. New York: Springer-Verlag, 1997.
- ZADEH, L. A., et al. *Fuzzy Sets and their Applications to Cognitive and Decision Process*. New York: Academic Press, 1995.

ANEXO

Componentes Avaliados nesse Trabalho – Subsistemas Elétrica, Eletrônica, Civil Material Rodante

A. Elétrica

- ✓ Sistema de Potência
 - Subestação
 - Suprimento da Operadora
 - Transmissão de Energia Elétrica
 - Distribuição de Energia Elétrica
 - Sinalização
 - Tração
 - Serviços Auxiliares
 - Aterramento
 - Seccionadora
 - Tração
 - Serviços Auxiliares
 - Aterramento
- ✓ Transmissão de Energia Elétrica
 - Tração
 - Retorno
 - Sinalização
 - Distribuição
 - Transmissão Interna
 - Transmissão Externa
 - Estrutura de Sustentação
 - Aterramento
- ✓ Distribuição de Energia Elétrica
 - Baixa Tensão
 - Alta Tensão

B. Eletrônica

- ✓ Sinalização
 - Intertravamento
 - Supervisão e Controle
 - Alimentação
 - Cabeamento
- ✓ Telecomunicações
 - Telefonia
 - Rádio-Comunicação
 - Meio Físico de Transmissão de Informação
 - Multiplex
 - Sonorização
 - Bilhetagem Automática
 - Cronometria
 - Painel Informativo

C. Civil

- ✓ Linha Férrea
 - Infra-estrutura
 - Plataforma
 - Corte
 - Aterro
 - Superestrutura
 - Linha Principal
 - Aparelho de Mudança de Via e Cruzamento
 - Passagem de Nível
 - Desvio e Linha Secundária
- ✓ Obras-de-Arte
 - Drenagem
 - Bueiro
 - Pontilhão
 - Ponte
 - Passagem Inferior e Superior
 - Muro de Arrimo
 - Corta-Rios
 - Viaduto
- ✓ Edificação
 - Edificação Operacional
 - Cabine
 - Centro de Controle Operacional
 - Estação e Terminal
 - Parada
 - Instalação para Equipe
 - Instalação para Equipamento
 - Subestação e Seccionadora
 - Edificação para a área de Manutenção
 - Edificação Administrativa

D. Material Rodante

- ✓ Truque
 - Amortecimento
 - Rodeiro
 - Freio
 - Transmissão
- ✓ Propulsão
- ✓ Suprimento de Energia Elétrica
- ✓ Suprimento e Tratamento de Ar Comprimido
- ✓ Frenagem
- ✓ Sinalização
- ✓ Climatização
- ✓ Controle Automático de Trens
- ✓ Caixa
- ✓ Engate
- ✓ Rádio-Sonorização
- ✓ Portas de Salão