

ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE APLICADA A UM SISTEMA DA FROTA “E” MILÊNIO



Maique Dias Luz

21ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

AEAMESP



OBJETIVO

Apresentar, por meio de um estudo de caso, uma proposta prática de utilização da **Engenharia da Confiabilidade** na manutenção do **Sistema de Portas da Frota “E”** com objetivos de **reduzir custos com peças e mão-de-obra** nas manutenções corretivas e **aumentar a disponibilidade de trens.**



RELEVÂNCIA DO ESTUDO

Mesmo com um cenário econômico difícil pelo qual o Brasil atravessa, onde qualquer redução de custos sem afetar a qualidade dos serviços é apreciada, Ferramentas da Confiabilidade se mostraram importantes aliadas na Manutenção do 



DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO ATUAL

- Banco de Dados **Sem** Apontamentos Detalhados
- Mão-de-Obra **Comprometida**

Até quanto em profundidade se investiria na Engenharia da Confiabilidade?

Resultados interessantes já seriam possíveis empregando os recursos em parte dos sistemas de um trem?



DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO ATUAL

A companhia já abrangeu um volume muito grande e simultâneo de projetos de Confiabilidade no passado mas não teve o retorno esperado!

Diante disso, outra pergunta foi:

**A ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE
AINDA VALE A PENA NA
MANUTENÇÃO DO METRÔ-SP?**



DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO ATUAL

SISTEMA DE PORTAS DE UMA FROTA DE TRENS



ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO



ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

- 1) Elaboração do Contexto Operacional e das Árvores de Falha (FTAs) do Sistema de Portas da Frota 'E'**
- 2) Edição das Árvores de Falha e Montagem do Diagrama de Blocos de Confiabilidade (RBD) Dentro dos Softwares**
- 3) Levantamento de Todos os Apontamentos da Manutenção Corretiva de um Período**
- 4) Classificação, Filtragem e Levantamento da Quilometragem da Frota**



ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

- 5) Análise dos Dados de Vida (LDA) de cada causa das diversas Árvores de Falha
- 6) Inserção dos resultados das LDA's nas Árvore de Falha elaboradas dentro do software
- 7) Elaboração do Diagrama Analítico
- 8) Elaboração do Diagrama de Simulação
- 9) Análise dos Resultados
- 10) Conclusões



ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

- 
- 1) Elaboração do Contexto Operacional e das Árvores de Falha (FTAs) do Sistema de Portas da Frota 'E'**
 - 2) Edição das Árvores de Falha e Montagem do Diagrama de Blocos de Confiabilidade (RBD) Dentro dos Softwares**
 - 3) Levantamento de Todos os Apontamentos da Manutenção Corretiva de um Período**
 - 4) Classificação, Filtragem e Levantamento da Quilometragem da Frota**



1) Elaboração do Contexto Operacional e das Árvores de Falha (FTAs) do Sistema de Portas da Frota 'E'

Contexto Operacional

- Papel Desempenhado do Ativo
- Relevância
- Arranjo Físico
- Regimes de Trabalho
- Condições e Meio Ambiente



1) Elaboração do Contexto Operacional e das Árvores de Falha (FTAs) do Sistema de Portas da Frota 'E'



É imprescindível o conhecimento do Subsistema para a execução desta etapa base

A **Engenharia da Confiabilidade** por si só não extrai resultados sem o envolvimento técnico e da experiência do Conhecedor do Sistema!



ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

✓ 1) Elaboração do Contexto Operacional e das Árvores de Falha (FTAs) do Sistema de Portas da Frota 'E'

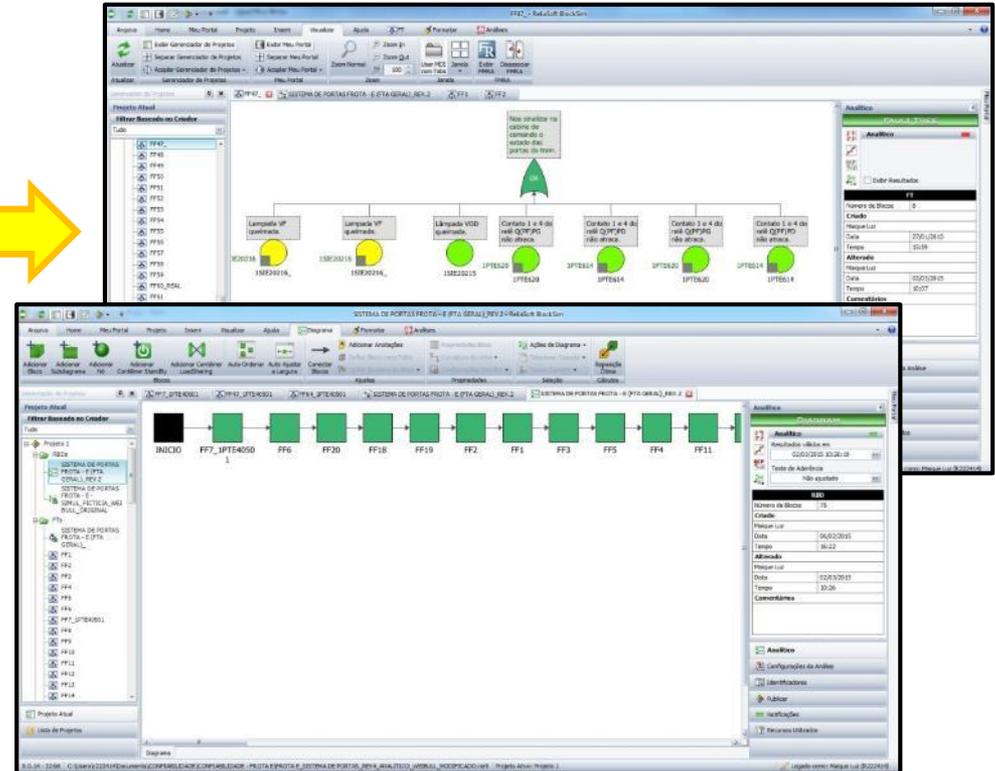
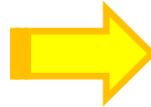
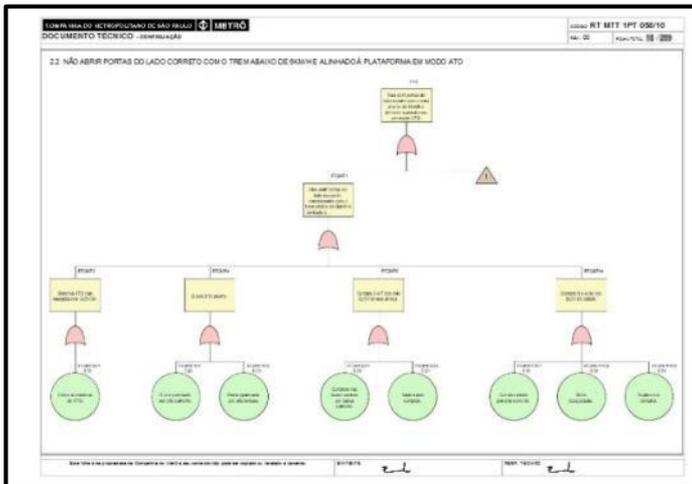
➔ 2) Edição das Árvores de Falha e Montagem do Diagrama de Blocos de Confiabilidade (RBD) Dentro dos Softwares

3) Levantamento de Todos os Apontamentos da Manutenção Corretiva de um Período

4) Classificação, Filtragem e Levantamento da Quilometragem da Frota



2) Edição das Árvores de Falha e Montagem do Diagrama de Blocos de Confiabilidade (RBD) Dentro dos Softwares



Telas do Software Blocksim®

2) Edição das Árvores de Falha e Montagem do Diagrama de Blocos de Confiabilidade (RBD) Dentro dos Softwares

The screenshot displays the ReliaSoft BlockSim software interface. The main workspace shows a Reliability Block Diagram (RBD) for a train door system. The diagram consists of a series of blocks: INICIO, FF7_IPTe4050, FF6, FF20, FF18, FF19, FF2, FF1, FF3, FF5, FF4, and FF11. The software interface includes a menu bar, a toolbar, a project tree on the left, and an analysis panel on the right.

RBD do Sistema de Portas da Frota 'E'

Análisis

DIAGRAM

Análisis

Resultados válidos em
02/03/2015 10:26:19

Teste de Aderência
Não ajustado

RBD

| | |
|--------------------|------------|
| Número de Blocos | 75 |
| Criado | |
| Maique Luz | |
| Data | 06/02/2015 |
| Tempo | 16:22 |
| Alterado | |
| Maique Luz | |
| Data | 02/03/2015 |
| Tempo | 10:26 |
| Comentários | |

Análisis

Configurações da Análise

Identificadores

Publicar

Notificações

Recursos Utilizados

9.0.34 - 32-bit C:\Users\222414\Documents\CONFIABILIDADE\CONFIABILIDADE - FROTA EFROTA_E_SISTEMA DE PORTAS_REV4_ANALITICO_WEB3_1_MODIFICADO.rar9 | Projeto Ativo: Projeto 1 | Logado como: Maique Luz (R222414)

ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

✓ 1) Elaboração do Contexto Operacional e das Árvores de Falha (FTAs) do Sistema de Portas da Frota 'E'

✓ 2) Edição das Árvores de Falha e Montagem do Diagrama de Blocos de Confiabilidade (RBD) Dentro dos Softwares

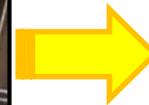
➔ 3) **Levantamento de Todos os Apontamentos da Manutenção Corretiva de um Período**

4) **Classificação, Filtragem e Levantamento da Quilometragem da Frota**



3) Levantamento de Todos os Apontamentos da Manutenção Corretiva de um Período

- Período considerado: **01/01/2012 a 31/12/2014**
- Base de Dados para Análise de Dados de Vida (LDA)



PCMR - Consulta de Material Rodante (PostgreSQL) - v. 1.0.3.6 - 02/03/2015

Trens N Série Ocorrências Filtro Manutenção Diagnóstico

Pedidos Intervenções Núm. Série Progr. Trem Mov. Trens Prog. / Reel Fin. Def. Rep Empreg. Meteris

Período de Início: 01/01/2007 Fim: 22/01/2015

Natureza: MP OC Todas

Fila: E

Trem / Cano: 201

Pedido: Num Rep/Rem: Instalado:

ao Trem: 211

Defeito: Reparo:

Finalidade %: Árvore: Sim

Odds de Intervenções: 36976 Registros

Ordenar por: 1ª Decrescente 2ª Decrescente 3ª Decrescente

Botões: Relatório, Buscar, Transferir, Gráfico

| Pedido | Nat | Lin | OS | Data | Equipe | Trem | km | Cerro | Finalidade | Defeito | Reparo | Eqpto | Rep. |
|--------|-----|-----|----|------------|--------|------|-----------|-------|------------|---------|--------|-------|------|
| DG1549 | OC | 2 | 1 | 22/01/2015 | MC2 | 201 | 1.871.361 | 2011 | 1ACE106 | 14C | 51W | | |
| DG1546 | OC | 2 | 1 | 22/01/2015 | MC2 | 201 | 1.871.361 | 2013 | 1PSE50802 | 024 | 533 | | |
| DG0155 | OC | 2 | 1 | 21/01/2015 | MC2 | 201 | 1.871.105 | 2016 | 1VTE | 232 | 52P | | |
| DG0161 | OC | 2 | 2 | 21/01/2015 | MC2 | 201 | 1.871.105 | 2014 | 1PSE70103 | 14K | 533 | | |
| DG0162 | OC | 2 | 2 | 21/01/2015 | MC2 | 201 | 1.871.105 | 2016 | 1SIE20301 | 088 | 506 | | |
| DF9382 | OC | 2 | 1 | 21/01/2015 | MC2 | 201 | 1.871.105 | 2011 | 1SIE10113 | 024 | 533 | | |
| DF9382 | OC | 2 | 1 | 21/01/2015 | MC2 | 201 | 1.871.105 | 2011 | 1SIE10113 | 024 | 533 | | |
| DF9382 | OC | 2 | 1 | 21/01/2015 | MC2 | 201 | 1.871.105 | 2011 | 1SIE10113 | 024 | 533 | | |
| DF9382 | OC | 2 | 1 | 21/01/2015 | MC2 | 201 | 1.871.105 | 2011 | 1SIE10113 | 024 | 533 | | |
| DF9382 | OC | 2 | 1 | 21/01/2015 | MC2 | 201 | 1.871.105 | 2012 | 1SIE10113 | 024 | 533 | | |
| DF9382 | OC | 2 | 1 | 21/01/2015 | MC2 | 201 | 1.871.105 | 2013 | 1SIE10113 | 024 | 533 | | |
| DF9382 | OC | 2 | 1 | 21/01/2015 | MC2 | 201 | 1.871.105 | 2013 | 1SIE10113 | 024 | 533 | | |
| DF9382 | OC | 2 | 1 | 21/01/2015 | MC2 | 201 | 1.871.105 | 2014 | 1SIE10113 | 024 | 533 | | |

R222414 02/03/2015 - segunda-feira 16:14:18

Sistema "Consulta de Material Rodante (PostgreSQL)"

ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

- ✓ **1)** Elaboração do Contexto Operacional e das Árvores de Falha (FTAs) do Sistema de Portas da Frota 'E'
- ✓ **2)** Edição das Árvores de Falha e Montagem do Diagrama de Blocos de Confiabilidade (RBD) Dentro dos Softwares
- ✓ **3)** Levantamento de Todos os Apontamentos da Manutenção Corretiva de um Período
- ➔ **4)** Classificação, Filtragem e Levantamento da Quilometragem da Frota



4) Classificação, Filtragem e Levantamento da Quilometragem da Frota

Sistema "Consulta de Material Rodante (PostgreSQL)"

PCMR - Consulta de Material Rodante (PostgreSQL) - v.1.0.3.0 - 02/03/2015

Trens N Série Ocorrências Filtro Manutenção Diagnóstico

Período de Início 01/01/2007 Fin 22/01/2015

Seleção: 2944 data(s) 36976 Registros

| Pedido | Nat | Lin | OS | Data | Equipe | Trem | km | Carro | Finalidade | Defeto | Reparo | Eqpto Rep |
|--------|-----|-----|----|------------|--------|------|-----------|-------|------------|--------|--------|-----------|
| DG1549 | OC | 2 | 1 | 22/01/2015 | MC2 | 201 | 1.871.361 | 2011 | 1ACE106 | 14C | 51W | |
| DG1546 | OC | 2 | 1 | 22/01/2015 | MC2 | 201 | 1.871.361 | 2013 | 1PSE50802 | 024 | 533 | |
| DG8155 | OC | 2 | 1 | 21/01/2015 | MC2 | 201 | 1.871.105 | 2016 | 1VTE | 232 | 52P | |
| DG0161 | OC | 2 | 2 | 21/01/2015 | MC2 | 201 | 1.871.105 | 2014 | 1PSE70103 | 14K | 533 | |
| DG0162 | OC | 2 | 2 | 21/01/2015 | MC2 | 201 | 1.871.105 | 2016 | 1SIE20301 | 068 | 506 | |
| DF9382 | OC | 2 | 1 | 21/01/2015 | MC2 | 201 | 1.871.105 | 2011 | 1SIE10113 | 024 | 533 | |
| DF9382 | OC | 2 | 1 | 21/01/2015 | MC2 | 201 | 1.871.105 | 2011 | 1SIE10113 | 024 | 533 | |
| DF9382 | OC | 2 | 1 | 21/01/2015 | MC2 | 201 | 1.871.105 | 2011 | 1SIE10113 | 024 | 533 | |
| DF9382 | OC | 2 | 1 | 21/01/2015 | MC2 | 201 | 1.871.105 | 2012 | 1SIE10113 | 024 | 533 | |
| DF9382 | OC | 2 | 1 | 21/01/2015 | MC2 | 201 | 1.871.105 | 2013 | 1SIE10113 | 024 | 533 | |
| DF9382 | OC | 2 | 1 | 21/01/2015 | MC2 | 201 | 1.871.105 | 2013 | 1SIE10113 | 024 | 533 | |
| DF9382 | OC | 2 | 1 | 21/01/2015 | MC2 | 201 | 1.871.105 | 2014 | 1SIE10113 | 024 | 533 | |

R222414 02/03/2015 - segunda-feira 16:14:18



| M | N | O | |
|-------|----------|------------|-------------------|
| CARRO | QTD INST | FINALIDADE | FINALIDADE |
| 2116 | | 1PTE901 | BOTAO LAT ABERTUR |
| 2061 | | 1PTE901 | BOTAO LAT ABERTUR |
| 2026 | | 1PTE901 | BOTAO LAT ABERTUR |
| 2061 | | 1PTE901 | BOTAO LAT ABERTUR |
| 2051 | | 1PTE902 | BOTAO LAT FECHAM |
| 2011 | | 1PTE902 | BOTAO LAT FECHAM |

| Núm. Mat. | Mat. Rodante | Data | Equip. | Carro | QTD INST | Finalidade | Defeto | Reparo | Eqpto Rep |
|-----------|--------------|------------|--------|-------|----------|------------|--------|--------|-----------|
| 2116 | 1PTE901 | 22/01/2015 | MC2 | 201 | 1 | 1PTE901 | | | |
| 2061 | 1PTE901 | 21/01/2015 | MC2 | 201 | 1 | 1PTE901 | | | |
| 2026 | 1PTE901 | 21/01/2015 | MC2 | 201 | 1 | 1PTE901 | | | |
| 2061 | 1PTE901 | 21/01/2015 | MC2 | 201 | 1 | 1PTE901 | | | |
| 2051 | 1PTE902 | 21/01/2015 | MC2 | 201 | 1 | 1PTE902 | | | |
| 2011 | 1PTE902 | 21/01/2015 | MC2 | 201 | 1 | 1PTE902 | | | |

Excel®

4) Classificação, Filtragem e Levantamento da Quilometragem da Frota

Sistema Consulta de Quilometragem do Metrô-SP

SAT - Quilometragem - Consulta

Frota: E-A66

Opções Período: Mês / Ano Período entre Datas

Mostrar

Início: 01/01/2007 Término: 22/08/2007

| Trem | Hodometro Início | Data Hodometro Início | Hodometro Término | Data Hodometro Término | Km Produzidos | Média (km/dia) |
|------|------------------|-----------------------|-------------------|------------------------|---------------|----------------|
| 1 | 852 893 | 31/12/2006 | 952 377 | 21/08/2007 | 100 158 | 430 |
| 2 | 202 | 880 616 | 973 112 | 21/08/2007 | 59 436 | 423 |
| 3 | 203 | 842 036 | 944 381 | 21/08/2007 | 102 955 | 442 |
| 4 | 204 | 302 095 | 1 007 291 | 21/08/2007 | 105 236 | 462 |
| 5 | 205 | 910 800 | 1 016 795 | 21/08/2007 | 105 995 | 495 |
| 6 | 206 | 723 619 | 825 280 | 21/08/2007 | 101 641 | 436 |
| 7 | 207 | 854 382 | 962 000 | 21/08/2007 | 107 621 | 462 |
| 8 | 208 | 837 607 | 832 609 | 21/08/2007 | 0 | 0 |
| 9 | 209 | 880 235 | 994 795 | 21/08/2007 | 114 500 | 449 |
| 10 | 210 | 844 542 | 949 693 | 21/08/2007 | 105 151 | 461 |
| 11 | 211 | 871 523 | 964 553 | 21/08/2007 | 83 030 | 389 |

Frota E-A66 - Período: <= 01/01/2007 a <= 22/08/2007 - KM Percorrida:1024803 - Média (COLUNA MÉDIA): 0): 439

Historico Totais

03/01/2015 - 08:21:34 - Frota E-A66 - Período: <= 01/01/2007 a <= 22/08/2007 - KM Percorrida:1024803 - Média (COLUNA MÉDIA): 0): 439

03/03/2015 - 08:48:51 - Frota E-A66 - Período: <= 01/01/2007 a <= 22/01/2015 - KM Percorrida:11980208 - Média (COLUNA MÉDIA): 0): 367

Impressão Exportação Saída

R22244 KM PRODUZIDO



Excel spreadsheet showing a detailed list of fleet kilometers with columns for KM FROTA, KM ACUMUL, DATA, EQUIPE, TREM, KM, CARRO, QTD INST, and FINALIDADE. A magnifying glass is overlaid on the data, highlighting specific rows.



Excel®

| | G | H | I | J | K | L | M | N | O |
|------|----------|-----------|------------|--------|------|---------|-------|----------|------------|
| 1 | KM FROTA | KM ACUMUL | DATA | EQUIPE | TREM | KM | CARRO | QTD INST | FINALIDADE |
| 2602 | 41258 | 41258 | 12/01/2012 | MRNC | 205 | 1636500 | 2053 | | 1PTE80201 |
| 2603 | 86789 | 128047 | 06/02/2012 | MRNC | 205 | 1642327 | 2056 | | 1PTE80201 |
| 2604 | 61987 | 190034 | 23/02/2012 | MRLC | 211 | 1551227 | 2113 | | 1PTE80201 |
| 2605 | 138961 | 328995 | 02/04/2012 | MRNC | 201 | 1525383 | 2014 | | 1PTE80201 |
| 2606 | 397549 | 726544 | 20/07/2012 | MC2 | 203 | 1610509 | 2032 | | 1PTE80201 |
| 2607 | 243078 | 969622 | 17/09/2012 | MC2 | 206 | 1479951 | 2062 | | 1PTE80201 |

ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

- ✓ **1)** Elaboração do Contexto Operacional e das Árvores de Falha (FTAs) do Sistema de Portas da Frota 'E'
- ✓ **2)** Edição das Árvores de Falha e Montagem do Diagrama de Blocos de Confiabilidade (RBD) Dentro dos Softwares
- ✓ **3)** Levantamento de Todos os Apontamentos da Manutenção Corretiva de um Período
- ✓ **4)** Classificação, Filtragem e Levantamento da Quilometragem da Frota



ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

- 
- 5) Análise dos Dados de Vida (LDA) de cada causa das diversas Árvores de Falha**
 - 6) Inserção dos resultados das LDA's nas Árvore de Falha elaboradas dentro do software**
 - 7) Elaboração do Diagrama Analítico**
 - 8) Elaboração do Diagrama de Simulação**
 - 9) Análise dos Resultados**
 - 10) Conclusões**

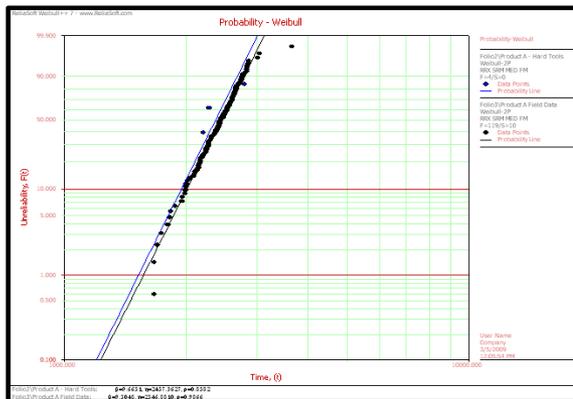


5) Análise dos Dados de Vida (LDA) de cada causa das diversas Árvores de Falha



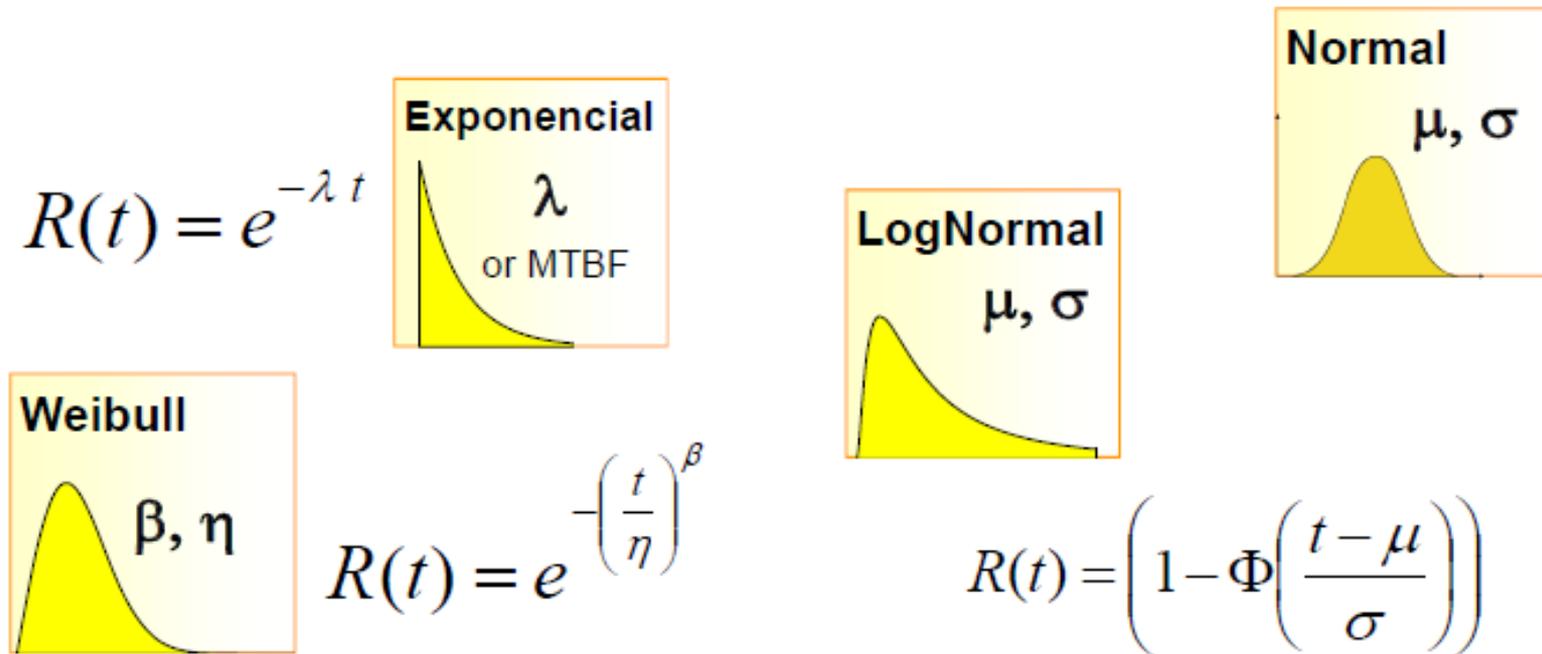
Utiliza teorias estatísticas para construir modelos probabilísticos a partir de dados de falha.

A Engenharia da **Confiabilidade** está diretamente relacionada com a **probabilidade de um item desempenhar uma dada função, sem falhar, por um determinado intervalo de tempo e dentro de certas condições de uso.**



5) Análise dos Dados de Vida (LDA) de cada causa das diversas Árvores de Falha

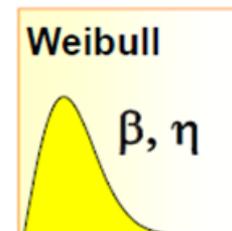
Distribuições - Funções Matemáticas Contínuas - Realizar Interpolações e Extrapolações - Representar o Comportamento de uma População



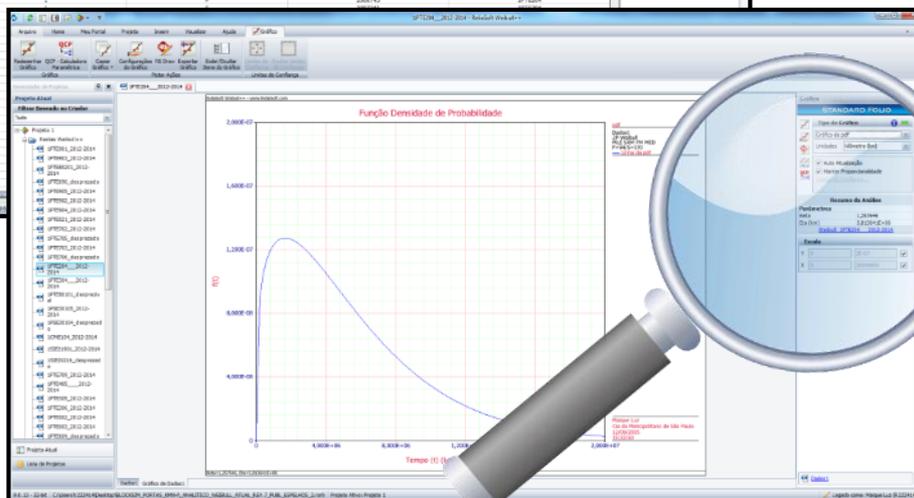
Ref. Reliasoft

5) Análise dos Dados de Vida (LDA) de cada causa das diversas Árvores de Falha

| Quantidade | Causa | Tempo Operação (h) | Subgrupo |
|------------|-------|--------------------|----------|
| 18 | F | 150342 | PT204 |
| 20 | F | 150345 | PT204 |
| 21 | F | 150415 | PT204 |
| 22 | F | 150248 | PT204 |
| 23 | F | 150170 | PT204 |
| 24 | F | 146189 | PT204 |
| 25 | F | 146085 | PT204 |
| 26 | F | 146076 | PT204 |
| 27 | F | 146072 | PT204 |
| 28 | F | 132624 | PT204 |
| 29 | F | 130989 | PT204 |
| 30 | F | 130989 | PT204 |
| 31 | F | 131709 | PT204 |
| 32 | F | 130770 | PT204 |
| 33 | F | 130762 | PT204 |
| 34 | F | 130753 | PT204 |
| 35 | F | 130751 | PT204 |
| 36 | F | 130750 | PT204 |
| 37 | F | 130747 | PT204 |
| 38 | F | 130743 | PT204 |
| 39 | F | 130740 | PT204 |



$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$



Telas do Weibull++®

ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

✓ 5) Análise dos Dados de Vida (LDA) de cada causa das diversas Árvores de Falha

➔ 6) Inserção dos resultados das LDA's nas Árvore de Falha elaboradas dentro do software

7) Elaboração do Diagrama Analítico

8) Elaboração do Diagrama de Simulação

9) Análise dos Resultados

10) Conclusões



6) Inserção dos resultados das LDA's nas Árvore de Falha elaboradas dentro do software

The image illustrates the workflow in BlockSim for inserting LDA results into a fault tree. It consists of three main parts:

- Relatório de Resultados Síntese (Summary Results Report):** A table showing the parameters for the Lognormal distribution used in the analysis.

| Relatório de Resultados Síntese | |
|---------------------------------|---------------------|
| Resultados | |
| Informações do Usuário | |
| Usuário | Maique |
| Empresa | Cia do Metropolitan |
| Data | 3/3/2015 |
| Parâmetros | |
| Distribuição: | Lognormal-2P |
| Análises: | MLE |
| Método do IC: | FM |
| Ranqueando: | MED |
| Log-Média (km) | 16,159867 |
| LogDesvio-Padrão | 1,72245 |
| Valor da LK | -260,91096 |
| F \ S | 15 \ 17 |
| LOCAL VAR/COV MAT | |
| Var-In(Mu)=0,151092 | |
| In(Covar)=0,066603 | |
| Fim do Relatório de Resultados | |
- Diagrama de Árvore de Falha (Fault Tree Diagram):** A schematic diagram showing the relationship between various components. A red arrow points from the 'Lognormal' distribution in the report to a specific block in the fault tree.
- Propriedades do Bloco (Block Properties):** A detailed view of the 'Propriedades' window for a block. A magnifying glass highlights the 'Tipo de Falha' (Failure Type) section, where the 'Lognormal' distribution is selected. The 'Log-Média' is set to 16,159867 and the 'LogDesvio-Padrão' is set to 1,72245. A red arrow points from the report to this window.

Telas do BlockSim®

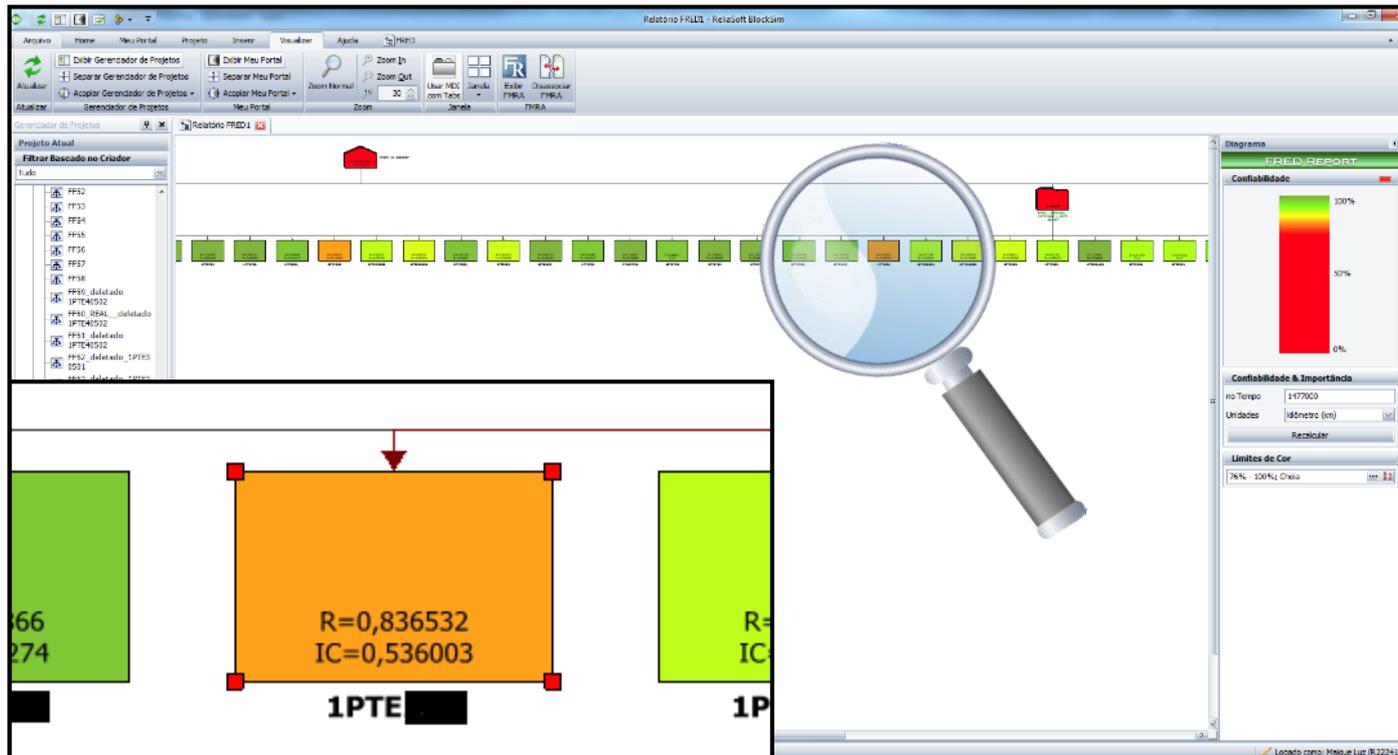
ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

- ✓ 5) Análise dos Dados de Vida (LDA) de cada causa das diversas Árvores de Falha
- ✓ 6) Inserção dos resultados das LDA's nas Árvore de Falha elaboradas dentro do software
- ➔ 7) **Elaboração do Diagrama Analítico**
- 8) **Elaboração do Diagrama de Simulação**
- 9) **Análise dos Resultados**
- 10) **Conclusões**



7) Elaboração do Diagrama Analítico

Confiabilidade do Sistema - Um Ano de Operação ($\approx 1.500.000\text{Km}$)
 - Manutenção Atual - Definição dos “Bad Actors”



Relatório do BlockSim®

7) Elaboração do Diagrama Analítico



Em Um Ano de Operação ($\approx 1.500.000\text{Km}$)...

| FINALIDADE | R(t)_atual | R(t)_simu | R(t)_SIS_atual | R(t)_SIS_simu |
|------------|------------|-----------|----------------|---------------|
| 1CMEAAA | 96,21% | | 0,3560% | |
| 1PTEAAA | 97,68% | | | |
| 1PTEBBB | 98,48% | | | |
| 1PTECCC | 91,62% | | | |
| 1PTEDDD | 90,36% | | | |
| 1PTEEEE | 89,67% | | | |

Valores de Confiabilidade Atual dos Seis Respectivos Itens/Conjuntos que **Mais Custam à Manutenção Corretiva**
- Confiabilidade do Sistema

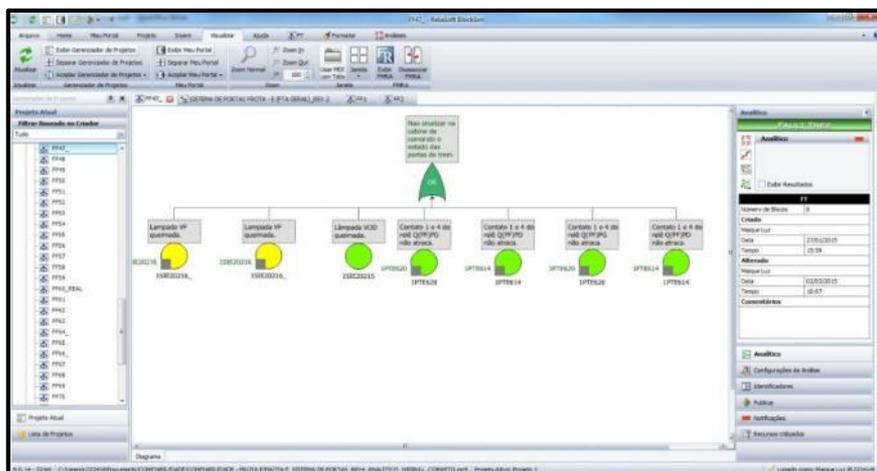
ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

- ✓ 5) Análise dos Dados de Vida (LDA) de cada causa das diversas Árvores de Falha
- ✓ 6) Inserção dos resultados das LDA's nas Árvore de Falha elaboradas dentro do software
- ✓ 7) Elaboração do Diagrama Analítico
- ➔ 8) **Elaboração do Diagrama de Simulação**
- 9) **Análise dos Resultados**
- 10) **Conclusões**



8) Elaboração do Diagrama de Simulação

Estudo de **Três Cenários** – Melhora da Confiabilidade dos Itens/Conjuntos Mais Críticos e Nova Projeção dos Custos de Manutenção Corretiva do Sistema



8) Elaboração do Diagrama de Simulação

Três Cenários - Todos Para um Intervalo de Dois Anos de Operação ou 3.000.000Km Rodados de Frota

- 1- Aumento da Confiabilidade dos Seis Itens/Conjuntos que **Causam o Maior Número de Falhas**
- 2- Aumento da Confiabilidade dos Seis Itens/Conjuntos que **Mais Provocam a Indisponibilidade do Sistema de Portas**
- 3- Aumento da Confiabilidade dos Seis Itens/Conjuntos que **Mais Custam em Manutenção Corretiva**



8) Elaboração do Diagrama de Simulação

1- Aumento da Confiabilidade dos Seis Itens/Conjuntos que **Causam o Maior Número de Falhas**

| FINALIDADE | R(t)_atual | R(t)_simu | R(t)_SIS_atual | R(t)_SIS_simu |
|----------------|---------------|---------------|----------------|----------------|
| 1PTEZZA | 83,65% | 99,80% | 0,3560% | 2,0360% |
| 1PTEOZI | 97,38% | 99,80% | | |
| 1PTEAAB | 95,56% | 99,80% | | |
| 1PTEAAA | 97,68% | 99,80% | | |
| 1PTEDDD | 90,36% | 99,80% | | |
| 1PTEEEE | 89,67% | 99,80% | | |



| | ANTES | DEPOIS | DIFERENÇA |
|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| \$ TOTAL PEÇAS | R\$ 398.054,32 | R\$ 354.705,37 | R\$ 43.348,95 |
| \$ TOTAL MÃO-DE-OBRA | R\$ 120.477,30 | R\$ 87.641,33 | R\$ 32.835,97 |
| \$TOTAL | R\$ 518.531,62 | R\$ 442.346,70 | R\$ 76.184,92 |

8) Elaboração do Diagrama de Simulação

2- Aumento da Confiabilidade dos Seis Itens/Conjuntos que **Mais Provocam a Indisponibilidade do Sistema de Portas**

| FINALIDADE | R(t)_atual | R(t)_simu | R(t)_SIS_atual | R(t)_SIS_simu |
|------------------|---------------|---------------|----------------|----------------|
| 1PTEAO5 | 78,59% | 99,80% | 0,3560% | 2,9148% |
| 1PSEFFFFF | 96,86% | 99,80% | | |
| 1PTEZZA | 83,65% | 99,80% | | |
| 1PTEAA2 | 91,51% | 99,80% | | |
| APTEAA3 | 86,59% | 99,80% | | |
| 1PTEXXX1 | 94,73% | 99,80% | | |



| | ANTES | DEPOIS | DIFERENÇA |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| \$ TOTAL PEÇAS | R\$ 398.054,32 | R\$ 278.889,69 | R\$ 119.164,63 |
| \$ TOTAL MÃO-DE-OBRA | R\$ 120.477,30 | R\$ 62.364,72 | R\$ 58.112,58 |
| \$TOTAL | R\$ 518.531,62 | R\$ 341.254,41 | R\$ 177.277,21 |

8) Elaboração do Diagrama de Simulação

3- Aumento da Confiabilidade dos Seis Itens/Conjuntos que Mais Custam em Manutenção Corretiva

| FINALIDADE | R(t)_atual | R(t)_simu | R(t)_SIS_atual | R(t)_SIS_simu |
|------------|------------|-----------|----------------|---------------|
| 1CMEAAA | 96,21% | 99,80% | 0,3560% | 1,9138% |
| 1PTEAAA | 97,68% | 99,80% | | |
| 1PTEBBB | 98,48% | 99,80% | | |
| 1PTECCC | 91,62% | 99,80% | | |
| 1PTEDDD | 90,36% | 99,80% | | |
| 1PTEEEE | 89,67% | 99,80% | | |



| | ANTES | DEPOIS | DIFERENÇA |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| \$ TOTAL PEÇAS | R\$ 398.054,32 | R\$ 121.095,96 | R\$ 276.958,36 |
| \$ TOTAL MÃO-DE-OBRA | R\$ 120.477,30 | R\$ 94.255,77 | R\$ 26.221,53 |
| \$TOTAL | R\$ 518.531,62 | R\$ 215.351,73 | R\$ 303.179,89 |

ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

- ✓ 5) Análise dos Dados de Vida (LDA) de cada causa das diversas Árvores de Falha
- ✓ 6) Inserção dos resultados das LDA's nas Árvore de Falha elaboradas dentro do software
- ✓ 7) Elaboração do Diagrama Analítico
- ✓ 8) Elaboração do Diagrama de Simulação
- ➔ 9) **Análise dos Resultados**
- 10) **Conclusões**

9) Análise dos Resultados

| Cenário (6 itens mais críticos) | Antes | | Depois | | Diferença |
|---------------------------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|
| | R\$ | Confiab. (%) | R\$ | Confiab. (%) | R\$ |
| Maior # Falhas | 518531,62 | 0,3560% | 341254,41 | 2,0360% | 177277,21 |
| Mais Causam Indisp. | 518531,62 | 0,3560% | 442346,70 | 2,9148% | 76184,92 |
| Maior \$ em Man. Corretiva | 518531,62 | 0,3560% | 215351,73 | 1,9138% | 303179,89 |



.....economia mais significativa para um dos Cenários



.....valores baixos de confiabilidade para os três Cenários

Outros Itens/Conjuntos além dos 6 mais críticos também estão prejudicando o valor total da Confiabilidade do Sistema!!!

9) Análise dos Resultados

Cenário Adicional – Aumento da Confiabilidade dos 6 Itens/Conjuntos mais Críticos de Todos os Três Cenários Anteriores Reunidos

| | ANTES | DEPOIS | DIFERENÇA |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| \$ TOTAL PEÇAS | R\$ 398.054,32 | R\$ 82.648,87 | R\$ 315.405,45 |
| \$ TOTAL MÃO-DE-OBRA | R\$ 120.477,30 | R\$ 42.521,40 | R\$ 77.955,90 |
| \$TOTAL | R\$ 518.531,62 | R\$ 125.170,27 | R\$ 393.361,35 |

9) Análise dos Resultados

| Cenário | Código Item | R(t)_atual | R(t)_simu | R(t)_S_atual | R(t)_S_simu |
|---------------------|-------------|------------|-----------|--------------|-------------|
| # Falhas | 1PTEZZA | 83,65% | 99,80% | 0,3560% | 21,4234% |
| | 1PTE0ZI | 97,38% | 99,80% | | |
| | 1PTEAAB | 95,56% | 99,80% | | |
| | 1PTEAAA | 97,68% | 99,80% | | |
| | 1PTEDDD | 90,36% | 99,80% | | |
| | 1PTEEEE | 89,67% | 99,80% | | |
| Causam mais Indisp. | 1PTEAO5 | 78,59% | 99,80% | | |
| | 1PSEFFFFF | 96,86% | 99,80% | | |
| | 1PTEZZA | 83,65% | 99,80% | | |
| | 1PTEAA2 | 91,51% | 99,80% | | |
| | APTEAA3 | 86,59% | 99,80% | | |
| | 1PTEXXX1 | 94,73% | 99,80% | | |
| (\$) Man. Cor. | 1CMEAAA | 96,21% | 99,80% | | |
| | 1PTEAAA | 97,68% | 99,80% | | |
| | 1PTEBBB | 98,48% | 99,80% | | |
| | 1PTECCC | 91,62% | 99,80% | | |
| | 1PTEDDD | 90,36% | 99,80% | | |
| | 1PTEEEE | 89,67% | 99,80% | | |

ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

- ✓ 5) Análise dos Dados de Vida (LDA) de cada causa das diversas Árvores de Falha
- ✓ 6) Inserção dos resultados das LDA's nas Árvore de Falha elaboradas dentro do software
- ✓ 7) Elaboração do Diagrama Analítico
- ✓ 8) Elaboração do Diagrama de Simulação
- ✓ 9) Análise dos Resultados
- ➔ 10) **Conclusões**



10) Conclusões

A Engenharia da Confiabilidade empregada na Manutenção Corretiva do Sistema de Portas permite:

- 😊 **Resultados financeiros importantes mesmo quando empregada num único subsistema;**
- 😊 **Quantificar a criticidade de cada item/conjunto que compõe o Sistema de Portas;**
- 😊 **Quantificar (com ênfase na Confiabilidade) quão crítico é o Sistema de Portas para o funcionamento de um trem;**



10) Conclusões

Permitiu (cont.):

- 😊 Verificar que não é condição obrigatória dispor de um Banco de Dados com apontamentos detalhados;
- 😊 Definir um cenário que possibilita maior redução de custos de manutenção com a menor interferência no projeto atual do trem;
- 😊 Verificar que as ferramentas da Confiabilidade são flexíveis.



ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE APLICADA A UM SISTEMA DA FROTA “E” MILÊNIO

AGRADECIMENTO ESPECIAL

ANTÔNIO MÁRCIO Barros Silva

Fernando SERAFIM

João Carlos TORRAQUE

José Carlos MORA

JULIUS Cezar Baracho

Marcelo Sanchez TURRINI

Marcio Annibal PIMENTA

Obrigado



ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE APLICADA A UM SISTEMA DA FROTA “E” MILÊNIO

Maique Dias Luz

mdluz@metrosp.com.br

Obrigado

