

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE

GUILHERME GARCIA DARELLA

**ESTRATÉGIA BASEADA EM ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE  
PARA GESTÃO DA MANUTENÇÃO DE LINHAS DE PRODUÇÃO DE  
ELETRODOMÉSTICOS**

PROPOSTA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA  
2016

GUILHERME GARCIA DARELLA

**ESTRATÉGIA BASEADA EM ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE  
PARA GESTÃO DA MANUTENÇÃO DE LINHAS DE PRODUÇÃO DE  
ELETRODOMÉSTICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso de Especialização em Engenharia da Confiabilidade da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade.

Orientador: Prof. Dr .Marcelo Rodrigues

CURITIBA  
2016

GUILHERME GARCIA DARELA

## Estratégia Baseada em Engenharia de Confiabilidade para Gestão da Manutenção de Linhas de Produção de Eletrodomésticos

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Pós-Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, do curso de Pós-Graduação em Engenharia da Confiabilidade na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 16 de maio de 2016.

---

Prof. Emerson  
Rigoni, Dr.  
Coordenador de  
Curso de Engenharia  
da Confiabilidade

### ORIENTAÇÃO

---

Marcelo Rodrigues, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientador

### BANCA EXAMINADORA

---

Carlos Henrique Mariano, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Emerson Rigoni, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Marcelo Rodrigues, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Marcelo Rodrigues pela orientação desse trabalho de conclusão de curso por sua dedicação e atenção. Agradeço também por todo o coleguismo com o qual nos tratou durante o curso de especialização em Engenharia da Confiabilidade que tive a oportunidade de cursar na UTFPR.

Gostaria de lembrar que momentos incríveis de aprendizado e profissionalismo como os que pudemos desfrutar no decorrer do curso de especialização não são todo o dia que acontecem e por esse motivo agradecer à equipe de professores da UTFPR, à equipe de profissionais da RELIASOFT e também à instituição UTFPR por ter proporcionado esse retorno às raízes.

Agradeço também aos colegas de departamento de manutenção que tive a oportunidade de conviver e desenvolver esse e muitos outros bons trabalhos, e colher os bons frutos deles provenientes. Agradeço ao senhor Emerson Dlugosz, pelo apoio moral, pelo incentivo e pela iniciativa de proporcionar ao departamento esse desenvolvimento.

Deixo registrado nesse último parágrafo o agradecimento especial aos meus pais, à minha esposa e filhos, que me apoiaram e me deram forças nos momentos difíceis que passei durante essa jornada. Esse carinho e amor incondicionais que recebo de todos eles são os alicerces que me mantêm firme e a bússola que me aponta o caminho a seguir.

## RESUMO

DARELA, Guilherme Garcia. **Estratégia Baseada em Engenharia de Confiabilidade para Gestão da Manutenção de Linhas de Produção de Eletrodomésticos**. 2015. 12 f. Proposta de Projeto de Pesquisa (Especialização em Engenharia da Confiabilidade). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

Esse trabalho tem como objetivo principal a criação de uma estratégia para estabelecer estudos de confiabilidade em linhas de produção, aplicando-se ao ambiente de uma indústria produtora de eletrodomésticos. O método proposto foi testado em uma de cinco linhas de produção, na forma de projeto piloto.

Após a concepção da estratégia teve início uma fase de coleta e tratamento de informações e outra fase em que foram analisadas as informações coletadas, já se aplicando a estratégia.

Ao final, são analisados os resultados obtidos com base nos dados de: confiabilidade, probabilidade de falhas, disponibilidade, manutenibilidade, tempo médio entre falhas, tempo médio de reparo, identificação de conjuntos críticos e possibilidades para melhorias no sistema. Também foi analisada a aplicação do método, buscando identificar os pontos positivos e as oportunidades de melhorias na proposta inicial – a criação de uma planilha para utilização de confiabilidade condicional foi um dos resultados desse trabalho.

**Palavras chave:** Confiabilidade. Manutenção. Disponibilidade.

## ABSTRACT

DARELA, Guilherme Garcia. **Strategy Based on Reliability Engineering for Management of Maintenance applied in Home Appliances Production Lines** 2015. 12 p. Proposed Research Project (Specialization in Reliability Engineering). Federal Technological University of Paraná, Curitiba, 2015.

This work has as main objective the creation of a strategy to establish Reliability Studies in Production Lines, applying to the environment of a home appliances producer industry. The proposed strategy will be tested in one of five production lines, in a pilot project.

After designing the strategy will Begin a phase of data collection and processing. In a second phase information collected must be analyzed.

Finally, the results obtained with the strategy will be verified: reliability, failure probability, availability, maintainability, mean time between failures, mean time to repair, identification of critical sets and possibilities for improvement in the systems. Also, it will be analyzed the method in order to identify the strengths and improvement opportunities in the initial proposal.

**Keywords:** Reliability. Maitenance. Availability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curva da Banheira .....	11
Figura 2 - Informações dos subsistemas que compõem a linha de produção.....	12
Figura 3 - Layout Linha 1 .....	21
Figura 4 - Histórico de Perdas de Produção por motivos de manutenção – 2007 a 2012.....	25
Figura 5 – Fluxograma de Análise de Confiabilidade.....	28
Figura 6 - Planilha de Dados de Vida .....	30
Figura 7 - Distribuição Weibull de dois parâmetros (eta e beta) .....	32
Figura 8 - Simulação X Dados reais .....	33
Figura 9 - Distribuições obtidas no software AWB .....	34
Figura 10 - Diagrama macro da Linha 1 – divisão em sistemas.....	37
Figura 11 - Subsistemas que compõem o Sistema Espumação – Injeção de Poliuretano.....	37
Figura 12 - Conjuntos que constituem o Subsistema Espumação Gabinetes.....	38
Figura 13 - Planilha para estimativa de confiabilidade de equipamentos.....	41
Figura 14 - Capacidade média do sistema Linha 1 de seus subsistemas.....	44
Figura 15 - Lista dos 20 equipamentos que mais influenciam na indisponibilidade da Linha 1. .....	46
Figura 16 - Lista dos 20 equipamentos que mais influenciam no número de paradas da Linha 1.....	47

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Resultados das análises para os subsistemas da Linha 1 (3 anos).....	43
Tabela 2 - Ranking dos equipamentos com menor confiabilidade para 3 meses. ....	44



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
1.1	TEMA.....	10
1.1.1	Delimitação do tema .....	11
1.2	PROBLEMA DE PESQUISA .....	12
1.3	OBJETIVOS.....	12
1.3.1	Objetivo geral.....	12
1.3.2	Objetivos específicos .....	13
1.4	JUSTIFICATIVA.....	13
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	13
1.6	EMBASAMENTO TEÓRICO .....	14
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
2.1	COLETA DE DADOS DE CAMPO .....	16
2.2	DIAGRAMA DE BLOCOS DE CONFIABILIDADE .....	17
2.3	CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE CONFIABILIDADE .....	17
2.3.1	Função de Distribuição Acumulada – Probabilidade de Falha.....	18
2.3.2	Função de Distribuição Acumulada Decrescente – Função de Confiabilidade 18	
2.3.3	Taxa Instantânea de Falha.....	18
2.4	DISTRIBUIÇÕES ESTATÍSTICAS .....	19
2.4.1	Distribuição Exponencial: .....	19
2.4.2	Distribuição Weibull:.....	19
2.5	SISTEMAS REPARÁVEIS E NÃO REPARÁVEIS.....	19
<b>3</b>	<b>DETALHAMENTO DO OBJETO DE PESQUISA .....</b>	<b>20</b>
3.1	DESCRITIVO LINHA 1 .....	20
3.2	DESCRITIVO DOS SISTEMAS.....	22
3.3	DESCRITIVO DOS EQUIPAMENTOS .....	23
3.4	IMPORTÂNCIA DO PROBLEMA .....	24
3.5	A MANUTENÇÃO .....	25
3.6	OS INDICADORES DA MANUTENÇÃO .....	27
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO DO MÉTODO UTILIZADO .....</b>	<b>28</b>
4.1	ESTRATÉGIA PARA ANÁLISE DE CONFIABILIDADE .....	28

4.2	ANÁLISE E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS DE VIDA.....	29
4.3	CURVAS DE DISTRIBUIÇÃO DE FALHAS .....	31
4.4	SIMULAÇÃO E COMPARAÇÃO COM A REALIDADE .....	33
4.5	VALIDAÇÃO DOS MODELOS .....	35
4.6	DIAGRAMA DE BLOCOS .....	36
<b>5</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>40</b>
5.1	RESULTADOS DA APLICAÇÃO DA ESTRATÉGIA DE ANÁLISE DE CONFIABILIDADE .....	40
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>48</b>
6.1	DIFICULDADES ENCONTRADAS.....	48
6.2	PROPOSIÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	49
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>50</b>
	<b>GLOSSÁRIO .....</b>	<b>52</b>
	<b>APÊNDICE A - RESULTADOS DAS ANÁLISES PARA OS EQUIPAMENTOS DOS SISTEMAS DA LINHA 1 .....</b>	<b>55</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O capítulo introdutório visa à apresentação do tema e sua delimitação, dos problemas, dos objetivos, das justificativas, dos procedimentos metodológicos, do embasamento teórico, da estrutura proposta para o trabalho de conclusão de curso e do cronograma.

### 1.1 TEMA

Segundo Fogliatto (2009), com o advento da economia globalizada, observou-se um aumento na demanda por produtos e sistemas de melhor desempenho a custos competitivos. Concomitantemente, surgiu a necessidade de redução na probabilidade de falhas em produtos, o que resultou numa ênfase crescente em sua confiabilidade. O conhecimento formal resultante da análise de falhas e da busca da minimização de sua ocorrência provê uma rica variedade de contextos nos quais surgem considerações acerca da confiabilidade.

Fábricas esforçam-se em serem eficazes e produzir com baixo custo. Esse esforço é exigido no ambiente de mudanças dos dias atuais, quando os clientes demandam produtos com qualidade e maior valor agregado (Hansen 2006).

A crescente necessidade de aumentar-se a disponibilidade nos meios de produção tem sido objeto de estudo desde que existe indústria. Vários métodos foram criados, e também filosofias. Entre as mais atuais encontra-se a filosofia do Sistema Toyota de Produção (STP) – cujos estudos iniciaram-se após a Segunda Guerra Mundial.

Quando se trata de aumentar a disponibilidade de equipamentos principalmente no que tange às estratégias de manutenção, existem várias possibilidades. Pode-se aplicar a metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), a filosofia Manutenção Produtiva Total (TPM), Análise dos Modos de Falha e Efeitos (FMEA), Manutenção Enxuta, entre outros. Uma técnica mais recente, que passou a ser mais utilizada com a evolução da computação, é a análise de estatística de falhas. Essa análise possibilita dizer em qual parte da curva da banheira se encontra um dado equipamento.

Pode-se através de análise estatística de dados, estudar em que condições encontra-se um dado equipamento, com a possibilidade de ajustar a melhor política

de manutenção aplicável a ele. A figura 1 representa a curva da banheira, onde é possível verificar três comportamentos de falhas diferentes.

- 1 – Região de falhas prematuras;
- 2 – Região de falhas com distribuição exponencial;
- 3 – Região de frequência de falhas crescente;



**Figura 1 - Curva da Banheira**  
**Fonte: Lafraia, 2011**

### 1.1.1 Delimitação do tema

Este trabalho se limitará a estabelecer um método a ser aplicada na análise de dados de falha de uma linha de produção de eletrodomésticos. A linha em questão possui equipamentos com mais de vinte anos de utilização bem como equipamentos com menos de dois anos de vida – figura 2.

Nesse trabalho se irá estudar uma linha de produção de eletrodomésticos composta dos seguintes tipos de equipamentos:

- transportadores de produtos (correias / correntes / esteiras);
- bombas de vácuo;
- embaladoras e termorretração (embalagem);
- elevadores, giradores e tombadores (posicionar produtos);
- estufa de aquecimento;
- espumadoras de portas e gabinetes;
- carga de gás refrigerante;
- testes de vazamento e testes elétricos;

- impressoras de etiquetas;
- sistema de teste de *performance*;
- carros de transporte.

A linha estudada segundo a estratégia proposta é chamada de linha 1, nela produzem-se eletrodomésticos de vários modelos e tamanhos com alto valor agregado.

Equipamento (Sub-Sistema)	Depreciado	Vida
Cannon Portas Quadrada	R\$ 674.056,79	23
Cannon Gabinetes	R\$ 1.716.296,85	19
Termorretrátil	R\$ 137.731,39	13
Carrossel de Vácuo	R\$ 308.659,61	13
Cannon Portas Sextavada	R\$ 407.894,49	13
Teste de Performance	R\$ 213.864,29	13
<b>Total</b>	<b>R\$ 3.458.503,62</b>	

**Figura 2 - Informações dos subsistemas que compõem a linha de produção**  
**Fonte: Autoria própria (2012)**

## 1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

O problema que se deseja solucionar é: como aumentar a disponibilidade de uma linha de produção pela utilização da engenharia da confiabilidade e suas análises, aplicada aos dados de vida disponíveis de um sistema de gestão de manutenção? De que forma podem-se utilizar os dados de falhas para gerar uma análise capaz de dizer qual estratégia deve-se tomar para cada equipamento.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo geral

Propor uma estratégia para analisar uma linha de produção utilizando-se da engenharia da confiabilidade, obtendo-se informações importantes e com aplicações práticas que possam ser utilizadas de forma a trazer vantagens à empresa.

### 1.3.2 Objetivos específicos

Interpretar os dados de falha existentes em histórico;

Identificar através do estudo, pontos chave onde é possível obter melhores resultados em investimentos;

Propor uma forma de utilizar a confiabilidade condicional na priorização de serviços de manutenção;

Possibilitar a otimização de mão de obra pela aplicação dos resultados da estratégia;

Possibilitar alterações de frequência e periodicidades nos planos de inspeção e manutenção preventiva com base em resultados dos estudos de confiabilidade;

Introduzir os conceitos de confiabilidade na equipe de manutenção.

## 1.4 JUSTIFICATIVA

A justificativa maior para esse trabalho vem dos prejuízos que a empresa tem anualmente, relacionados ao tempo em que a linha de produção está indisponível. A linha estudada possui capacidade produtiva de noventa e quatro produtos hora, devido a problemas ocasionados por de falhas em equipamentos a linha fica indisponível em média doze horas mês – equivalente a R\$ 230.000 mensal de prejuízo (valor médio do período de 2011).

## 1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Essa proposta de projeto trata-se de pesquisa de natureza aplicada (Aguiar, 1991) e explicativa (Medeiros, 2003), cujo interesse é estabelecer uma estratégia que possa ser utilizada em outras linhas de produção similares.

É uma pesquisa de campo (OLIVEIRA, 2000), pois serão analisados dados de histórico de falhas de equipamentos. Essa análise possibilitará estabelecer padrões de comportamento diferentes entre equipamentos.

## 1.6 EMBASAMENTO TEÓRICO

A confiabilidade é definida por Fogliatto (2009) como a probabilidade de sobrevivência de um item até um tempo  $t$  de interesse. Pode-se determinar essa probabilidade por meio da modelagem dos tempos até falha, e comparando-se com distribuições de probabilidade conhecidas.

Segundo Lafraia (2011), podemos analisar dados de falhas de equipamentos segundo distribuições de probabilidades como forma teórica ou ideal de distribuições de frequência de falhas. Havendo nesse grupo as distribuições binomial, Poisson, contínuas, exponencial, Weibull entre outras.

A análise estatística de falhas tem como objetivo determinar a taxa de falhas e o tempo médio entre falhas em equipamentos e produtos. Normalmente esse procedimento depende muito da fonte de dados, que podem ser coletados do campo ou por meio de ensaios (LAFRAIA, 2011).

Pode-se analisar a confiabilidade de sistemas através de diagramas de blocos, onde as relações entre seus subsistemas são estudadas de acordo com critérios de comportamentos existentes – ligações em paralelo ou em série, stand-by, entre outros (LAFRAIA, 2011).

Segundo Hansen (2006) pode-se utilizar o Diagrama de Blocos de Confiabilidade (*RBD – Reliability Block Diagram*) para representar a *performance* de confiabilidade do equipamento e dos vários subsistemas dentro de um sistema global. Os blocos são conectados ou ligados entre si de uma maneira a representar sua associação com o sistema global.

Disponibilidade  $D(t)$  é a probabilidade de que um sistema esteja em condição operacional no instante  $t$  (LAFRAIA, 2011). Segundo Fogliatto (2009) a disponibilidade é a capacidade de um item, mediante manutenção apropriada, desempenhas sua função requerida em um determinado instante de tempo predeterminado.

A Manutenibilidade é definida por Fogliatto (2009) como a capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, mediante condições preestabelecidas de uso. A manutenibilidade é um fator essencial no estabelecimento da disponibilidade de uma unidade.

## 1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho será dividido em seis capítulos, sendo o primeiro a introdução sobre o tema.

No capítulo 2 será apresentado o referencial teórico necessário para o desenvolvimento da estratégia.

O terceiro capítulo apresenta a estratégia proposta.

Os capítulos 4 e 5 tratarão dos resultados obtidos pelas simulações e com a aplicação da estratégia. Também será feita uma análise final dos dados, identificando-se pontos fortes e possibilidades de melhoria na estratégia proposta.

O último capítulo apresenta as conclusões a respeito do trabalho.



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesse capítulo será apresentado o referencial teórico a respeito de Análise de Dados de Vida e de Métodos Para Análise de Falhas que serão utilizados no trabalho de análise de confiabilidade.

### 2.1 COLETA DE DADOS DE CAMPO

A norma NBR 13533 (1995) fornece bastantes informações a respeito de Coleta de Dados de Campo, e deve ser utilizada por qualquer equipe de manutenção em estruturação ou em início de atividades de estudos de confiabilidade.

A coleta de dados de campo é de importância fundamental para um estudo de confiabilidade. Eventuais problemas de coleta, tais como incoerências nas informações de tempo de máquina parada ou tempo entre falhas poderão ter grande impacto nos resultados das análises de confiabilidade. A equipe de manutenção deve ter conhecimento da importância das informações que gera em seus procedimentos.

Nesse trabalho, são utilizadas as informações armazenadas no software de gerenciamento de manutenção conhecido por MANUSIS, presente no mercado brasileiro desde o início dos anos 2000. O software foi implantado na manutenção da empresa no ano de 2008 e desde lá mantém as informações provenientes de ordens de serviço de diversas origens. O software MANUSIS pertence à empresa Wert Solutions (<http://www.wertsolutions.com.br/>)

No chão de fábrica, os técnicos responsáveis pela manutenção têm como responsabilidade apontar numa ordem de serviço informações de grande importância, tais como: identificação do equipamento / conjunto / item; identificação do técnico e demais pessoas que participaram do serviço, bem como dos tempos individuais de cada um; hora de início / fim do serviço; descrição da falha encontrada (caso de manutenção corretiva); descrição do serviço executado; descrição de itens trocados; descrição de pendências para solução futura;

As informações necessárias ao estudo de confiabilidade serão organizadas e exportadas do sistema de gerenciamento sob a forma de planilhas eletrônicas, com colunas devidamente nomeadas. Dessa forma é possível efetuar-se análises de

confiabilidade em softwares específicos e com uma facilidade maior devido à organização preexistente.

A análise de confiabilidade de dados de falha envolve uma pré-investigação do conjunto de causas relacionadas diretamente com os dados correlatos (NBR 13533 - 1995), dessa forma pode-se impedir que se incluam em uma mesma análise dados provenientes de falhas diversas (exemplo).

## 2.2 DIAGRAMA DE BLOCOS DE CONFIABILIDADE

Utiliza-se a estrutura de blocos para estudar confiabilidade em sistemas complexos compostos de um ou mais equipamentos, e até mesmo o mesmo equipamento decomposto em seus conjuntos e subconjuntos. Dessa forma, uma vez estruturados e analisados os dados individuais de vida dos conjuntos que compõem um equipamento, podemos montar em forma estruturada os diagramas dos equipamentos, subsistemas e sistemas.

O diagrama de blocos pode ser utilizado para extrair informações importantes e até mesmo dados de simulações de vida para tempos determinados (ex: simulação da disponibilidade para um mês trabalho). No diagrama de blocos é possível se encontrar sistemas simples e complexos (série, paralelo, misto, k de n ou *stand by*).

## 2.3 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE CONFIABILIDADE

Confiabilidade define-se como a probabilidade de um item funcionar por um determinado tempo de interesse. Para descrever e quantificar a confiabilidade dos equipamentos foram adotadas as distribuições de probabilidades contínuas que modelam o comportamento dos tempos até as falhas. Segundo Carvalho (2011) há várias formas de se obter a distribuição de probabilidade para o tempo até a falha  $T$  tais como: função de distribuição acumulada, densidade de probabilidade, uma função de confiabilidade ou função da taxa instantânea de falha. A distribuição de  $T$  pode ser obtida a partir de qualquer uma dessas representações.

Ainda segundo Carvalho (2011) “a escolha de qual função ou funções de distribuição de probabilidade poderá se utilizar, depende da conveniência de especificação do modelo, das características de variabilidade dos dados existentes e

da interpretação ou do desenvolvimento técnico”. Como todas estas funções são importantes para um determinado fim, para cada equipamento foi realizada uma análise estatística sobre os dados encontrados de variáveis como tempo de vida e duração dos reparos. Também foi verificado qual das distribuições (Weibull, Lognormal, Normal e Exponencial) modelam melhor o comportamento de vida do equipamento analisado.

### 2.3.1 Função de Distribuição Acumulada – Probabilidade de Falha

Sendo  $T$  uma variável aleatória que representa o tempo até a ocorrência da falha e  $t$  é o valor particular da variável aleatória  $T$ . A função de distribuição acumulada de  $T$ ,  $F(t)$ , é a probabilidade de um item falhar antes do tempo  $T=t$ .  $F(t)$  também pode ser interpretado como a proporção de itens na população que irá falhar antes de tempo  $t$  (JAMES, 2004)

### 2.3.2 Função de Distribuição Acumulada Decrescente – Função de Confiabilidade

De acordo com Lawless (1982) a função distribuição acumulada decrescente – também chamada de função de confiabilidade – é uma das principais funções probabilísticas usadas em estudos de confiabilidade. Ela é definida como a probabilidade de um item não falhar até um dado tempo  $t$ , ou seja, a probabilidade de um item sobreviver (não falhar) até o tempo  $t$ .

### 2.3.3 Taxa Instantânea de Falha

A probabilidade de uma falha ocorrer em um intervalo de tempo  $[t_1; t_2)$  é dado por  $R(t_1) - R(t_2)$ . A taxa de falha no intervalo  $[t_1; t_2)$  é definida como a probabilidade de a falha ocorrer neste intervalo, dado que não ocorreu antes de  $t_1$ , dividida pelo comprimento do intervalo (Colosimo e Giolo, 2006).

## 2.4 DISTRIBUIÇÕES ESTATÍSTICAS

Existem diferentes distribuições, tais como a Normal, Exponencial, Weibull, Lognormal, Gama Generalizada, etc., e cada uma delas com uma  $f(t)$  pré-definida (e podem ser encontradas na maioria dos livros e referências estatísticas). Estas distribuições foram formuladas por estatísticos, matemáticos e engenheiros para modelar matematicamente ou representar um certo comportamento populacional. Por exemplo, a distribuição Weibull foi formulada por Waloddi Weibull e portanto recebeu o seu nome. As das distribuições que melhor representam os dados de vida são comumente chamadas de distribuições de vida.

### 2.4.1 Distribuição Exponencial:

A distribuição exponencial é muito utilizada na Engenharia da Confiabilidade. A distribuição exponencial é utilizada para descrever itens que falham com taxa de falha constante.

### 2.4.2 Distribuição Weibull:

A distribuição Weibull é uma das distribuições mais utilizadas na Engenharia da Confiabilidade, devido a sua capacidade de mudar de forma com a variação do valor do parâmetro de forma ( $\beta$ ). Ela pode modelar uma grande variedade de dados e características de vida.

## 2.5 SISTEMAS REPARÁVEIS E NÃO REPARÁVEIS

É importante distinguir entre sistemas reparáveis e não reparáveis quando analisamos confiabilidade pois formas, modelos e ferramentas utilizadas na análise de cada tipo de sistema podem ser diferentes. Em nosso caso, estaremos analisando dados de vida pertencentes a sistemas reparáveis.

De acordo com Dos Santos (2014), um sistema reparável pode ser modelado como estocástico. A natureza estocástica de um processo é devida ao fato de que ao chegar a um estado, permanecerá nele até a próxima ocorrência de um evento. Sendo que tais eventos são dependentes e não identicamente distribuídos. Dentre vários modelos de processos estocásticos aplicáveis ao caso de sistemas reparáveis destaca-se o de Poisson, sendo um dos mais simples e dos mais importantes entre os processos estocásticos.

### 3 DETALHAMENTO DO OBJETO DE PESQUISA

Nesse capítulo dar-se-á um detalhamento mais amplo a respeito da linha de produção em que se aplicará a estratégia proposta. Serão descritos os processos, equipamentos e “*layout*” envolvidos, bem como alguns detalhes importantes a respeito da produção e também do problema a ser resolvido.

#### 3.1 DESCRITIVO LINHA 1

Conforme dito anteriormente a linha 1 é uma de cinco linhas de produção / montagem de eletrodomésticos. Ao longo dos seus 260 metros estão posicionados 210 operadores que trabalham na montagem dos produtos. São ao todo 403 equipamentos divididos em 6 sistemas.

Os 6 sistemas por sua vez estão divididos em conjuntos (equipamentos) e os conjuntos estão divididos em subconjuntos (componentes). Os sistemas que compõem a Linha 1 estão relacionados a seguir (figura 3). A grande maioria dos equipamentos que pertencem a essa linha possuem idade inferior a 10 anos de utilização, mas também existem entre eles equipamentos já depreciados e com idades superiores aos 10 anos da maioria.

Na linha estão presentes equipamentos com tecnologias avançadas, com eletrônica embargada, sistemas de medição de vazão, bombas, controladores lógicos programáveis, sensores de presença, motores, inversores (bem como diversos componentes mecânicos de menor tamanho).

A capacidade produtiva dessa linha é de 110 produtos por hora, totalizando em dois turnos 1760 (produção diária). Dessa forma, considerando-se um mês com 4 semanas pode-se dizer que sua capacidade mensal é de 35.200 produtos.

A produção semanal envolve normalmente uma quantidade de modelos diferentes que pode variar de 3 a 6 produtos diferentes, e a diferente entre produtos pode ser desde formas com diferentes “*designs*”, peso, capacidade, cor a até mesmo a voltagem (110 e 220 Volts).

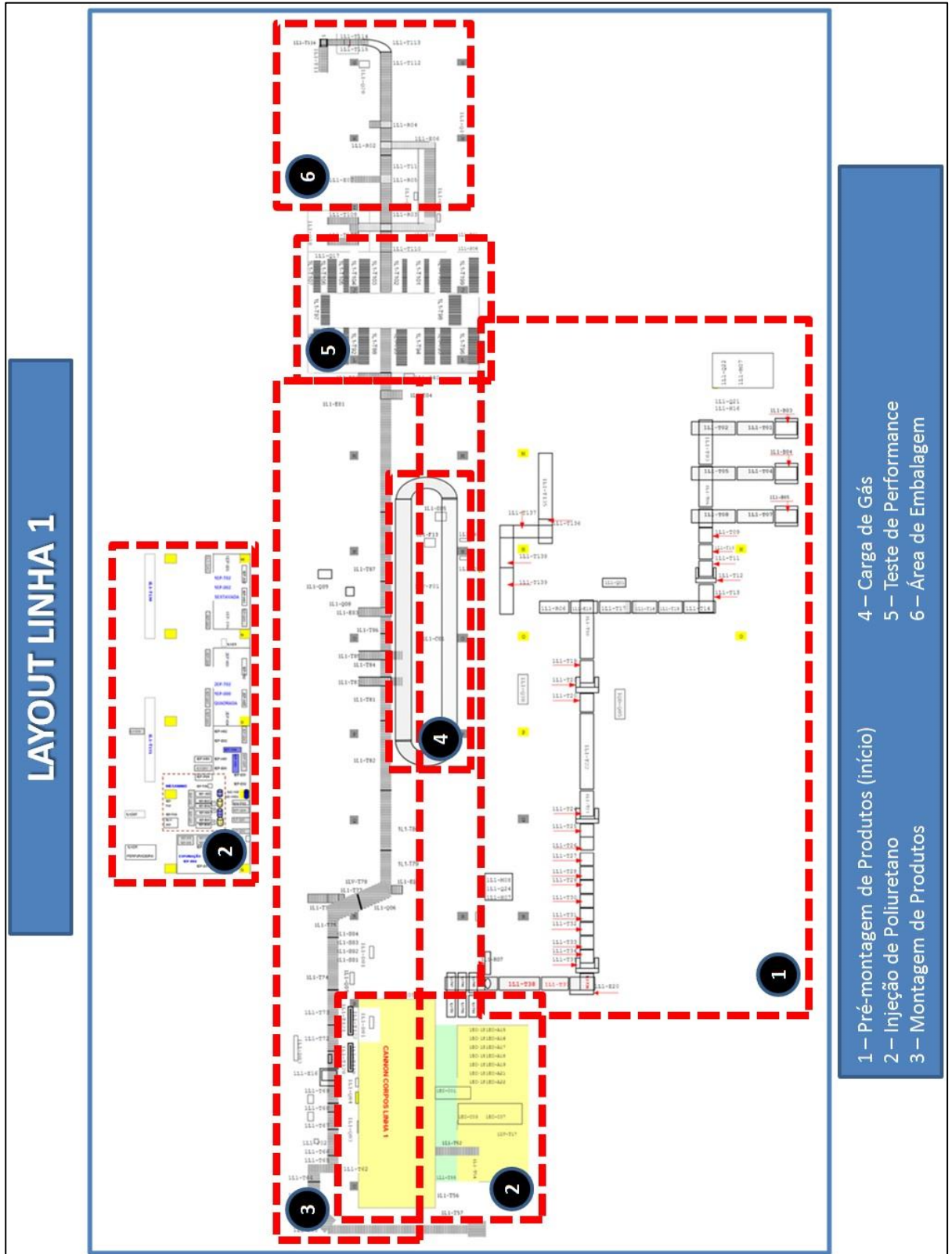


Figura 3 - Layout Linha 1  
 Fonte: Autoria própria (2012)

### 3.2 DESCRITIVO DOS SISTEMAS

- **Pré-Montagem de Produtos:** na pré-montagem são executadas operações de montagem de chapas metálicas e tubos (provenientes dos setores de Metalurgia e Pintura) e de superfícies plásticas (contra porta e gabinete: que vem do setor de Termoformagem). A união desses componentes dá origem ao produto gabinete que é praticamente 70% do produto final;
- **Injeção de Poliuretano:** nessa operação o gabinete entra em moldes limitadores e recebe a injeção de uma mistura de Poliuretano que irá expandir em seu interior. Após a injeção, o gabinete irá aguardar o tempo de polimerização do poliuretano e após é direcionado para a montagem de produtos;
- **Montagem de Produtos:** a montagem é onde o gabinete recebe os componentes que formam o produto final (gavetas, divisórias, placas eletrônicas, compressor, bandejas, entre outros);
- **Carga de Gás:** nesta operação faz-se a injeção de gás refrigerante que irá circular no produto com a função de trocar calor com o exterior (por meio do aletado) e gelar o interior. O equipamento principal dessa área tem a função de reconhecer o modelo do produto e injetar a quantidade especificada de refrigerante para cada modelo;
- **Teste de Performance:** nessa área existem posições para que possam ser testados simultaneamente 100 produtos que ficam alinhados em grupos de cinco em 20 baias. O equipamento do teste de performance executa testes diversos em cada produto e, de acordo com o código de barras individual, faz registros que são mantidos em histórico mantendo a rastreabilidade da produção. Conforme resultados do teste os produtos são aprovados e seguem caminho para embalagem ou são retrabalhados para corrigir pequenos problemas.
- **Área de Embalagem:** essa é a área que faz a inspeção final em cada produto e os prepara para a operação de embalagem que é executada no equipamento conhecido como termorretrátil – produz chama da queima de gás e retrai película plástica envolvendo o produto. Após a termorretrátil os

produtos são encaminhados dos centros de distribuição e ao cliente final (comércio).

### 3.3 DESCRITIVO DOS EQUIPAMENTOS

A seguir uma breve explanação a respeito dos principais equipamentos presentes na Linha 1 e de suas funções.

- **Transportadores de Produtos:** estão presentes em praticamente todo o processo e tem a função de transportar o produto seguindo uma velocidade definida. Os transportadores são basicamente compostos de motores, inversores e sensores e entre eles os principais tipos são os de roletes, os de esteiras e os de correia sincronizada;
- **Giradores e Tombadores:** também estão presentes em muitos pontos do processo e sua função é girar o produto em suas bases de forma a possibilitar a montagem em ambos os lados da linha de produção. Basicamente são estruturas metálicas que efetuam giros mediante acionamentos pneumáticos ou de motorreductores;
- **Carros Transportadores:** são carros acionados por servomotores e tem função de movimentar os produtos nos corredores entre equipamentos;
- **Injetoras de Poliuretano:** tem a função de injetar e dosar a quantidade de poliuretano no interior dos produtos – portas e gabinetes – e são constituídos de unidades de bombeamento, sistemas de medição de vazão e controle de temperatura e pressão;
- **Carrossel de Vácuo:** é como o próprio nome diz uma forma de carrossel onde os produtos são retirados da linha e onde por cerca de 10 minutos ficarão conectados a bombas de vácuo que garantem a ausência de ar em sua tubulação antes da carga de gás;
- **Carga de Gás:** esse é um equipamento delicado e de alta precisão e sua função é de aplicar na quantidade correta para cada modelo uma injeção de gás refrigerante no circuito de refrigeração;
- **Baias do Teste de Performance:** são estações dentro do teste de performance onde são posicionados 5 produtos. Em cada produto serão conectados cabos de sensores para efetuar leituras de temperaturas e



durante o intervalo de 5 minutos o produto é testado. As estações de cada baía comunicam-se com o computador central do teste de Performance enviando as informações que ficarão armazenadas;

- **Termorretrátil:** esse equipamento irá produzir chamas cuja função será a de retrainir o plástico da embalagem do produto;
- **Testes de Vazamento:** são também equipamentos delicados e de alta precisão, utilizados na detecção de vazamento de gás nas tubulações do produto. Estão distribuídos ao longo da linha, sempre onde existe a necessidade de injetar-se gás Hélio ou Nitrogênio para detectar problemas nas soldas;

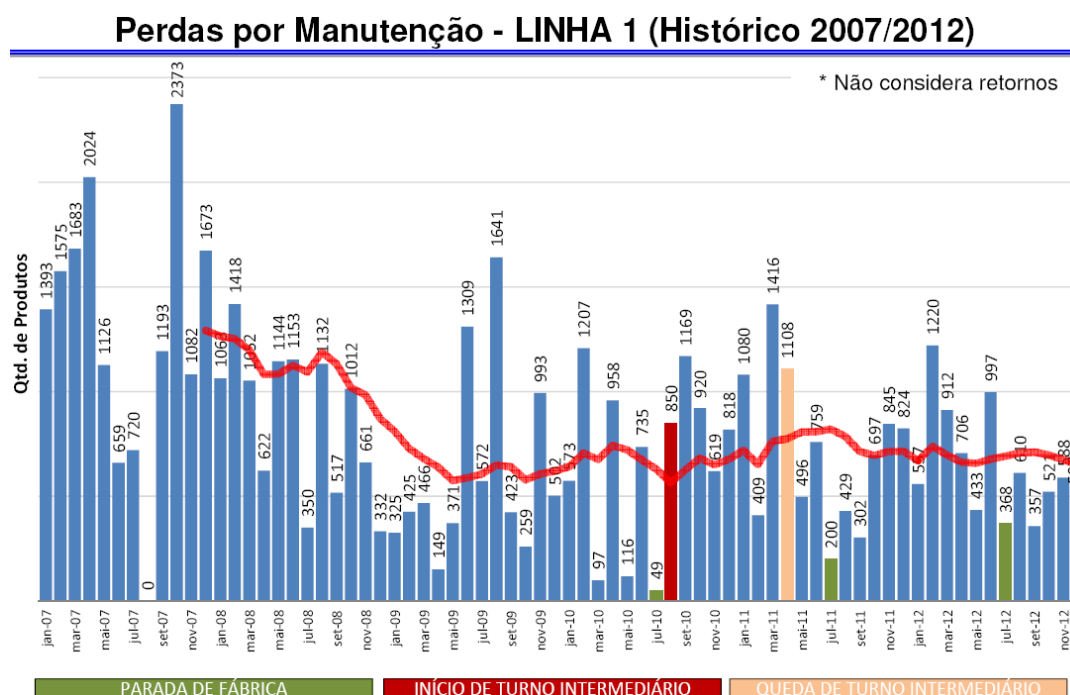
Esses são os principais tipos de equipamentos encontrados na linha de produção, na maioria dos casos estão conectados a controladores lógicos programáveis que irão comandar o funcionamento da linha.

### 3.4 IMPORTÂNCIA DO PROBLEMA

De acordo com informação anterior, a linha em questão tem capacidade de produzir mensalmente cerca de 35.200 produtos. O departamento de manufatura da empresa estabeleceu um custo de produção de R\$ 210,00 por produto, e esse custo será utilizado para identificar o custo de paradas de produção por falhas em equipamentos.

O problema para a fábrica são as paradas ocasionadas por falhas em seus equipamentos. Para que se tenha uma ideia do custo envolvido nessas paradas, cada hora de produção perdida equivale a R\$ 23.100 considerando apenas os produtos que não foram produzidos (sem contar os custos que envolverão horas extras para garantir a produção).

A figura 4 é uma representação do impacto causado pelas falhas em equipamentos na linha 1. Cada ocorrência causada por uma manutenção corretiva reflete em perdas de produção e possíveis falhas também na cadeia logística. Na figura também é possível verificar a existência de instabilidade da linha quanto a sua disponibilidade, e que as manutenções realizadas em paradas de fábrica não tem causado o efeito desejado - reduzir a quantidade de paradas e aumentar a disponibilidade do sistema.



**Figura 4 - Histórico de Perdas de Produção por motivos de manutenção – 2007 a 2012**  
 Fonte: Autoria própria (2012)

Conforme apresentado na figura 4, a Linha 1 teve em 2012 o equivalente a 7.476 produtos que não foram produzidos, pelo motivo de paradas não planejadas. Os 7.476 produtos equivalem a R\$ 1.569.960 e a aproximadamente 68 horas de produção (praticamente uma semana). A produção que não foi realizada impacta diretamente no custo do departamento de manutenção, provavelmente gerou atrasos na entrega ao cliente final e gerou custos não planejados na execução de horas extras da produção.

### 3.5 A MANUTENÇÃO

Aqui será feita uma descrição a respeito de como está estruturado o departamento de manutenção, da mão de obra, das estratégias atuais utilizadas e de seus desafios.

- **Estrutura:** a manutenção é descentralizada, contando com cinco postos de serviços distribuídos pela fábrica. A Linha 1 e a Linha 2 mais alguns equipamentos do setor de componentes são atendidos pelo mesmo posto de manutenção, com uma equipe de 12 pessoas em três turnos;
- **Mão de Obra:** a manutenção conta com 100 funcionários das seguintes especialidades: mecânicos, ferramenteiros, torneiros mecânicos,

lubrificadores, eletricitas e eletrônicos. Além desses funcionários existem os almoxarifes, os coordenadores, a equipe de planejamento de controle de manutenção e de engenharia. Ao todo a estrutura da manutenção conta com 120 funcionários;

- **Sistema de Gerenciamento:** a manutenção conta com um sistema de gerenciamento de informações e nele existem planos de manutenção Preventiva, Inspeções, Rotas de Lubrificação, rotas de preditiva;
- **Estratégia de Manutenção:** as equipes de manutenção se autogerenciam buscando a execução dos planos de inspeção e das atividades corretivas. Aos finais de semana as equipes agendam atividades de planos de preventiva e pendências geradas nas inspeções. Nos feriados e normalmente no mês de julho são planejadas as atividades preventivas de maior importância e com maiores necessidades de mão de obra. Os planos de manutenção preventiva, inspeção e rotas são planejados na grande maioria dos equipamentos da fábrica e normalmente com frequências superiores a três meses;
- **Estrutura Terceirizada:** com o objetivo de canalizar esforços e recursos para os equipamentos de produção, foram elaborados alguns contratos terceirizados entre eles: manutenção predial elétrica, manutenção predial civil, análises de vibrações e termografia, manutenção de geradores e compressores de ar;
- **Necessidade de Homem Hora:** a fábrica trabalha normalmente em dois turnos e em alguns setores em três turnos, então, nos momentos de folga da fábrica a equipe de manutenção precisa atuar com preventivas e pendências. O problema maior nesse caso é a grande quantidade de homem hora necessária para a execução dos planos de manutenção e também a da grande quantidade de pendências. Assim, como dos 100 funcionários que a manutenção possui nos momentos de fábrica parada contamos apenas com 20 ou 30% e não há possibilidades de executar totalmente a maior parte dos planos.

### 3.6 OS INDICADORES DA MANUTENÇÃO

A manutenção utiliza-se dos seguintes indicadores:

- **Custo de Manutenção:** é o resultado da divisão do valor mensal gasto no departamento pela produção mensal (ex: R\$ 1.500.000 / 500.000 produtos = R\$ 3,0 de manutenção por produto produzido);
- **Tempo Médio Entre Falhas (MTBF – Mean Time Between Failures):** resultado da divisão da quantidade de horas disponíveis no mês pelo número de falhas ocorridas no sistema;
- **Tempo Médio Para Reparos (MTTR – Mean Time to Repair):** esse é obtido através da divisão do tempo total de máquina parada em manutenção corretiva pelo número de paradas não programadas;
- **Disponibilidade:** é o percentual resultante da divisão do tempo livre de operação pelo tempo total disponível para produção no período (o tempo livre de operação é a subtração das paradas não programadas do tempo total disponível).

## 4 APRESENTAÇÃO DO MÉTODO UTILIZADO

Nesse capítulo será apresentado o método proposto e em seguida serão explanadas cada etapa do método.

### 4.1 ESTRATÉGIA PARA ANÁLISE DE CONFIABILIDADE

A estratégia para análise de confiabilidade utilizada no método está apresentada abaixo na forma do seguinte fluxo, composto das seguintes etapas:

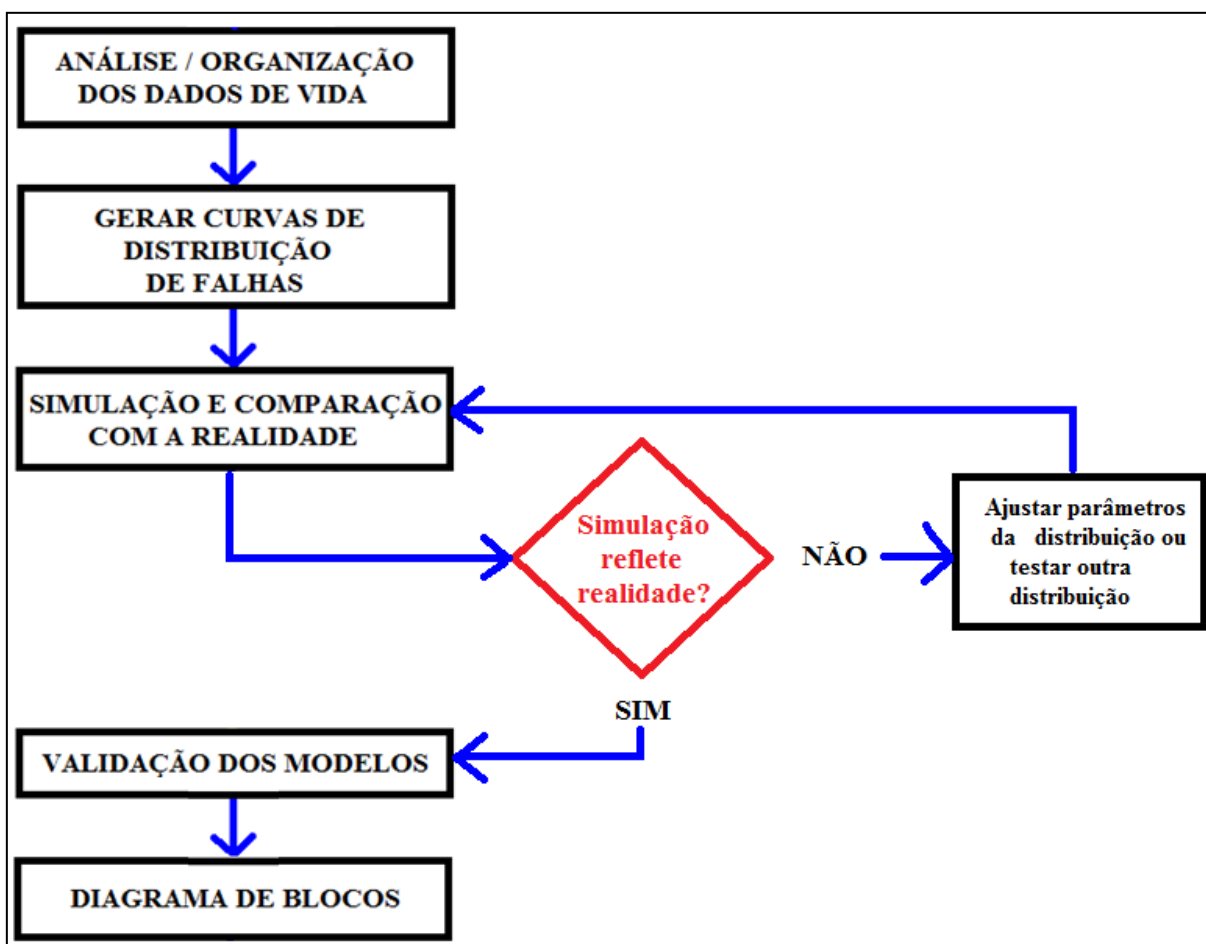


Figura 5 – Fluxograma de Análise de Confiabilidade  
Fonte: Autoria própria (2012)

O fluxo de etapas apresentado na figura 5, foi a forma que a equipe considerou mais adequado ao desenvolvimento da pesquisa, nele aparecem as etapas principais da análise de confiabilidade realizadas na empresa. O projeto levou ao todo dois meses para ser concluído e a equipe de projeto era formada de cinco profissionais: um engenheiro de manutenção, um engenheiro de confiabilidade, uma pessoa responsável pelas informações do sistema de manutenção, um técnico em mecânica e um técnico em eletrônica.

Para a criação dos diagramas e modelos de falhas dos dados de vida foi utilizada uma licença do software **AWB – Availability Workbench**, fornecido pela empresa ISOGRAPH (<http://www.isograph.com/software/availability-workbench/>). No software é possível criar estruturas de blocos de confiabilidade, analisar dados de vida de equipamentos e simular cenários de produção considerando manutenção em equipamentos.

## 4.2 ANÁLISE E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS DE VIDA

Essa é uma das etapas mais importantes do trabalho, pois a qualidade da informação que a equipe gera para as etapas consecutivas pode afetar seriamente os resultados finais obtidos e até mesmo simulações de cenário podem levar a decisões enganosas. A equipe que trabalhou no projeto teve o cuidado de classificar falhas (mecânica / elétrica / operacional), revisar histórico de Ordens de Serviço (manutenções planejadas e não planejadas) e em muitos casos a experiência dos componentes da equipe auxiliou nas classificações de falhas.

Como tarefa mais importante dessa fase a equipe gerou planilhas no software Excel de fundamental importância para a tarefa subsequente de exportação de dados para o software de confiabilidade. A planilha gerada é demonstrada na figura 6.

Na planilha demonstrada, estão presentes informações importantes tais como:

- Descrição de serviço executado;
- Causas de falhas;
- Tempos de manutenção / serviço e mão de obra;
- Classificação de falha ou suspensão;
- Tempo total do intervalo analisado.

OS	Desc. OS	Serr. OS	TEMPO DE PARADA [hrs]	TEMPO DE SERVIÇO [hrs]	TEMPO MÃO DE OBRA HH [hrs]	DATA INICIAL >>>	01/01/2011	TEMPO TOTAL
						DATA FINAL >>>	01/12/2013	26.256
						FALHA / SUSPENSÃO	TEMPO ATÉ A FALHA (hr)	
27702	FIANÇA EM CURTO. (MARÇAL JÁ EXECUTOU SERVIÇO).	FOI VERIFICADO E CONSERTADO ESTUFA DE MASSA,OK.	0,00	0,92	0,92	S	384	
32703	CORREIAS DE ROLAMENTO ARREBENTADAS	TROCA E REPOSIÇÃO DAS CORREIAS EM FALTA.	0,00	0,98	1,96	S	888	
84840	A LINHA NÃO ESTÁ RODANDO.	INVERSOR DESARMANDO DEVIDO AOS ROLOS INFERIORES ESTAREM TRAVADOS COM FITAS TIRAPOOL, COLOCAÇÃO DA LINHA EM CICLO APÓS PARADA DE MAQUINA	0,20	0,45	0,45	F	576	
89106	ELEVADOR NÃO FUNCIONA.	TROCADO SENSOR INDUTIVO DE PRESENÇA DE PALET NO ELEVADOR DE CARGA E DESCARGA.	0,00	1,35	3,85	S	1.056	
98766	PAROU DE FUNCIONAR.	SERVIÇO EXECUTADO, VÁLVULA DE AR FECHADA. ALGUÉM FECHOU SEM QUERER.	0,00	0,08	0,08	S	144	
108242	LINHA DO REFRIGERADOR ESTA FORA DE CICLO.	COLOCADO A LINHA EM CICLO, FEITO E ACOMPANHADO	0,19			F	1.704	
108242	LINHA DO REFRIGERADOR ESTA FORA DE CICLO.	COLOCADO A LINHA EM CICLO, FEITO E ACOMPANHADO	0,00	0,45	0,45	S	0	
112756	NÃO ACIONANDO MOTOR DE ENTRADA DO ELEVADOR	FIANÇA SOLDADA NA CAIXA DE PASSAGEM.	0,00	0,88	1,76	S	816	
115322	ELEVADOR NÃO SOBE	REGULADO FOTOSENSOR SUBSTIUÍDO SUPORTE DO ESPELHO E REALOCADO POSICIONAMENTO	0,00	1,03	2,06	S	528	
115446	SENSOR INTERROMPIDO.	REPOSICIONADO ESPELHO DO SENSOR E ACOMPANHADO.	0,00	2,07	2,65	S	24	
115616	ELEVADOR TRAVADO.	DESTRAVADO GABARITO E POSTO EM CICLO.	0,00	0,07	0,07	S	72	
116112	LINHA FORA DE CICLO - EXECUTADO	RESETADO E ACOMPANHADO.	0,17	0,25	0,50	F	96	
125330	FACEAR TUBO NO COMPRIMENTO E USINAR ALOJAMENTO PARA AS BUCHAS DE NYLON.	USINAGEM TORNO.	0,00	1,50	1,50	S	1.344	

Figura 6 - Planilha de Dados de Vida

Fonte: Autoria própria (2012)

### 4.3 CURVAS DE DISTRIBUIÇÃO DE FALHAS

De posse das planilhas contendo os dados de vidas dos equipamentos foi necessário exportá-los para o software de confiabilidade, de modo a se obter os modelos de distribuição para cada equipamento. A exportação das informações de dados de vida foi feita através das colunas de:

- Falha / Suspensão;
- Tempo até a falha.

O software então analisou as informações exportadas e forneceu uma curva característica mais próxima da realidade de cada equipamento / conjunto (exponencial, normal, Weibull, etc...) e os parâmetros dessa distribuição ( $\eta = \eta$  e  $\beta = \beta$ , exemplos para o caso de uma distribuição de Weibull de dois parâmetros). A curva que o software fornece é baseada em padrões internos, mas pode ser alterada para eventuais comparações de comportamentos.

Para melhores resultados na análise de dados de vida de cada equipamento, no momento em que são exportadas as planilhas a equipe deve deixar predefinidos parâmetros como:

- Modo de Reparo: reparável ou não reparável;
- MTTR: caso exista a informação;
- Stand By: se possui Stand By e se está ligado ou normalmente desligado;
- Dados de operação, informações do ambiente de trabalho;

A definição desses parâmetros de forma correta é uma das garantias da aproximação das simulações com a realidade.

Os modelos de distribuição e parâmetros encontrados serão utilizados nas simulações e ficarão gravados no diagrama de blocos para cada equipamento. A figura 7 é uma demonstração de curva obtida da exportação de dados de vida para o software **AWB**. Nesse caso foi utilizada uma distribuição de Weibull de dois parâmetros ( $\eta = \eta$  e  $\beta = \beta$ ).



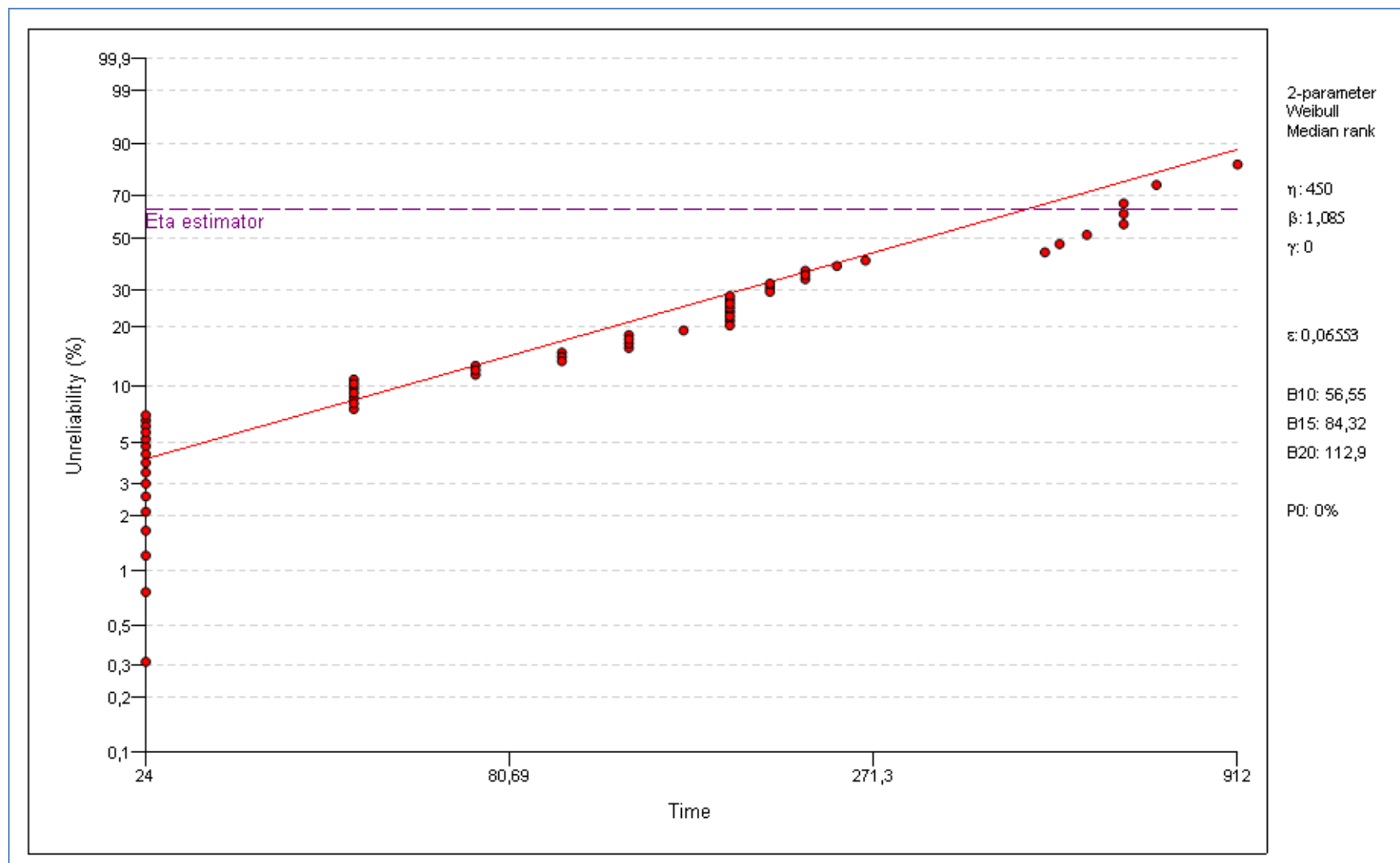


Figura 7 - Distribuição Weibull de dois parâmetros (eta e beta)  
 Fonte: Software AWB – Availability Workbench (2012)

#### 4.4 SIMULAÇÃO E COMPARAÇÃO COM A REALIDADE

Nessa fase é necessário simular para cada distribuição obtida, dentro do mesmo intervalo de tempo fornecido na primeira etapa, o funcionamento do equipamento. A equipe comparou cada simulação com a realidade utilizando as informações de tempo de parada total e número de falhas.

Na figura 7 é demonstrada uma distribuição de probabilidade de tempo até a falha, a qual foi ajustada para o equipamento 1L1-C01 com o auxílio do software Availability Workbench. Foram testadas várias distribuições de probabilidades, mas após comparar os erros de ajustes (ou o coeficiente de correlação, dependendo do caso) foi escolhida a distribuição que apresentava o menor erro. Neste caso do exemplo, a distribuição Weibull ( $\beta=1,085$ ;  $\eta=450$ ) apresentou o menor erro, sendo de 0,06553. Deve ser observado que foi utilizada a unidade horas para todas as informações de tempo.

A mesma análise que foi realizada para o equipamento 1L1-C01 foi realizada para todos os equipamentos que apresentaram falhas para o histórico analisado do banco de dados. A figura 8 retrata como cada simulação foi comparada com os dados da realidade:

Equipamento	Total de falhas		diferença	Distribuição	ajuste
	Registradas	Simuladas			
1EC-C01	70	66,16	-5,80%	Weibull - 2 parâmetros	Auto
1EC-C03	32	30,65	-4,40%	Weibull - 2 parâmetros	Auto
1EC-C06	60	69,9	14,16%	Weibull - 2 parâmetros	Auto
1EC-I01	18	14,6	-23,29%	Weibull - 2 parâmetros	Auto
1EC-I02	23	26,34	12,68%	Weibull - 2 parâmetros	Auto
1EC-M01	5	5,391	7,25%	Exponencial	Auto
1EC-M02	12	20,48	41,41%	Weibull - 2 parâmetros	Auto
1EC-M03	5	5,871	14,84%	Exponencial	Auto
1EC-M04	1	1,012	1,19%	Exponencial	Auto
1EC-M05	6	5,951	-0,82%	Weibull - 2 parâmetros	Auto
1EC-M06	3	3,28	8,54%	Exponencial	Auto
1EC-M07	2	2,125	5,88%	Exponencial	Auto
1EC-M08	4	4,054	1,33%	Exponencial	Auto
1EC-M09	3	2,957	-1,45%	Exponencial	Auto
1EC-M10	10	12,27	18,50%	Weibull - 2 parâmetros	Auto
1L1-F13	73	60,82	-20,03%	Weibull - 2 parâmetros	Auto
1L1-M08	32	27,5	-16,36%	Weibull - 2 parâmetros	Auto
1L1-T115	45	40,3	-11,66%	Weibull - 2 parâmetros	Auto
1EC-B02	15	18,13	17,26%	Weibull - 2 parâmetros	Auto
1EC-H02	1	1,012	1,19%	Exponencial	Auto
1L1-T83 + 1L1-T85 - Carr Garfos	32	30,85	-3,73%	Weibull - 2 parâmetros	Auto
1L1-C01 - CARROSSEL E BOMBAS	58	48,92	-18,56%	Weibull - 2 parâmetros	Auto

**Figura 8 - Simulação X Dados reais**  
**Fonte: Autoria própria (2012)**

No final dessa etapa, foram percebidas apenas duas distribuições: Exponencial e Weibull de dois parâmetros, conforme a figura 9:

SUBSISTEMA	TAGS	Inspeção		Preditiva		Preventiva		Distribuição	P1	P2
		Period. [hr]	Duração. [hr]	Period. [hr]	Duração. [hr]	Period. [hr]	Duração. [hr]			
ESPUMAÇÃO GABINETES	1EC-B02 - UNIDADE DE BOMBEAMENTO CANNON COR	1800	0,3	1440				Weibull	1,088	1800
ESPUMAÇÃO GABINETES	1EC-C01 - CARRO DE CARGA E DESCARGA DAS MASCA	1800	0,3			8640	24	Weibull	0,9679	393,4
ESTUFA DE PRODUTOS	1EC-C03 - CAR. DESC. ESTUFA L1	1800	0,3			8640	12	Weibull	0,9652	872,2
ESTUFA DE PRODUTOS	1EC-C06 - CAR. CARGA ESTUFA L1 E L2	1800	0,3			8640	12	Exponencial	444,8	
ESPUMAÇÃO GABINETES	1EC-H02 - UNIDADE HIDRAULICA CANNON CORPOS L	1800	0,2	1440				Exponencial	26780	
ESPUMAÇÃO GABINETES	1EC-I01 - CABEÇOTE DE INJECÃO 01 - CANNON CORPO	1800	0,3			8640	24	Exponencial	1596	
ESPUMAÇÃO GABINETES	1EC-I02 - CABEÇOTE DE INJECÃO 02 - CANNON CORPO	1800	0,3			8640	24	Weibull	1,211	1200
ESPUMAÇÃO GABINETES	1EC-M01 - MASCARA 01 CANNON CORPOS L1	5400	0,3					Exponencial	4872	
ESPUMAÇÃO GABINETES	1EC-M02 - MASCARA 02 CANNON CORPOS L1	5400	0,3					Exponencial	2130	
ESPUMAÇÃO GABINETES	1EC-M03 - MASCARA 03 CANNON CORPOS L1	5400	0,3					Exponencial	4517	
ESPUMAÇÃO GABINETES	1EC-M04 - MASCARA 04 CANNON CORPOS L1	5400	0,3					Exponencial	26590	
ESPUMAÇÃO GABINETES	1EC-M05 - MASCARA 05 CANNON CORPOS L1	5400	0,3					Weibull	0,898	4322
ESPUMAÇÃO GABINETES	1EC-M06 - MASCARA 06 CANNON CORPOS L1	5400	0,3					Exponencial	7944	
ESPUMAÇÃO GABINETES	1EC-M07 - MASCARA 07 CANNON CORPOS L1	5400	0,3					Exponencial	12490	
ESPUMAÇÃO GABINETES	1EC-M08 - MASCARA 08 CANNON CORPOS L1	5400	0,3					Exponencial	6438	
ESPUMAÇÃO GABINETES	1EC-M09 - MASCARA 09 CANNON CORPOS L1	5400	0,3					Exponencial	8744	
ESPUMAÇÃO GABINETES	1EC-M10 - MASCARA 10 CANNON CORPOS L1	5400	0,3					Weibull	0,9375	2500
ESPUMAÇÃO GABINETES	1EC-Q02 - QUADRO ELÉTRICO COMANDO CANNON CC	1800	0,5	3600	0,3	8640	16	Exponencial	1649	
ESPUMAÇÃO PORTAS SEX	1EP-H03 - UNIDADE HIDRAULICA MOVIMENTAÇÃO CA	1800	0,2	1440		8640	2	Weibull	1,055	4500
ESPUMAÇÃO PORTAS SEX	1EP-I05 - CABEÇOTE INJECÃO CANNON PORTAS L1	1800	0,2			8640	3	Weibull	1,09	1669
ESPUMAÇÃO PORTAS SEX	1EP-R04 - UNIDADE DE AGUA GELADA (MECALOR)	1800	0,3			8640	3	Weibull	1,286	596,2
ESPUMAÇÃO PORTAS SEX	1EP-T02 - TAMBOR ROTATIVO SEXT.L 1	1800	0,3			8640	4	Weibull	1,143	650
PRÉMONTAGEM LINHA 1	1L1-B03 - BANCADA DE MONTAGEM PRÉ-MONTAGEM LINHA 1							Exponencial	2437	
PRÉMONTAGEM LINHA 1	1L1-B04 - BANCADA DE MONTAGEM PRÉ-MONTAGEM	5400	0,5					Exponencial	3352	
PRÉMONTAGEM LINHA 1	1L1-B05 - BANCADA DE MONTAGEM PRÉ-MONTAGEM	5400	0,5					Exponencial	8328	
MONTAGEM DA LINHA 1	1L1-B07 - DISPOSITIVO PARA MONTAGEM COMPRESS							Exponencial	6984	
CARROSSEL BOMBAS DE V	1L1-C01 - CARROSSEL TRANSPORTE DE BOMBAS DE VA	1800	4			8640	16	Weibull	1,085	450
MONTAGEM DA LINHA 1	1L1-E16 - ELEVADOR INSERE/REG LINHA1							Weibull	1,293	820

Figura 9 - Distribuições obtidas no software AWB

Fonte: Autoria própria (2012)

As distribuições exponenciais aplicam-se bem na modelagem de modos de falha que ocorrem imprevisivelmente, nesses casos existe taxa de falha constante em relação ao tempo. Nas distribuições exponenciais P1 corresponde ao parâmetro de da distribuição exponencial, e corresponde ao inverso do MTBF. Essa distribuição é típica de equipamentos que encontram-se na região central da curva da banheira – falhas aleatórias.

Nos outros casos onde a distribuição de Weibull aparece, P1 e P1 são respectivamente os parâmetros forma e de escala. A distribuição de Weibull se encaixa melhor nos casos em que  $\beta$  (Beta ou P1) é diferente de 1, podendo representar falhas por desgaste acelerado dos equipamentos e até mesmo falhas prematuras ou de qualidade.

#### 4.5 VALIDAÇÃO DOS MODELOS

Na fase de validação da análise de confiabilidade a equipe compara os dados fornecidos pelo software para cada equipamento com os dados da realidade, conforme apresentado anteriormente na figura 8. Nos equipamentos em que a diferença entre a simulação e realidade ficou, em módulo, acima de 10%, foi necessário ajuste fino nos parâmetros e ou na distribuição encontrada no software.

Nos casos onde houve a necessidade de ajuste fino a equipe realiza pequenas alterações nos parâmetros da distribuição (parâmetro de distribuição nas distribuições exponenciais e parâmetro de forma nas distribuições de Weibull), de forma a aproxima-la da realidade.

Após as alterações, deve-se gerar nova simulação no software e incluir os resultados na planilha, no caso de erros inferiores aos 10% valida-se o modelo. Nos casos onde ainda não se atingiu os 10% de erro realiza-se novo processo.

Certificando-se das aproximações entre a realidade e as simulações, a equipe envia os dados para um diagrama de blocos, etapa seguinte.

#### 4.6 DIAGRAMA DE BLOCOS

Essa é a etapa onde a equipe de projeto delineou os equipamentos, conjuntos e subconjuntos na forma de um diagrama de blocos de confiabilidade.

Nesse diagrama foram considerados:

- as sequencias dos equipamentos ao longo da linha de produção;
- as interações de dependências entre os equipamentos (série, paralelo e misto);
- as subdivisões dentro dos equipamentos até o nível de conjunto (um nível anterior ao de componente);

A seguir algumas figuras demonstrando visualmente as estruturas de blocos de confiabilidade criadas. A figura 10 é a demonstração do diagrama de blocos na visão macro da linha, ou seja, os blocos correspondem aos sistemas. Enquanto a figura 10 nos mostra a visão macro dos sistemas, na figura 11 pode-se ver um nível adentro do sistema Espumação e seus dois subsistemas.

Seguindo o mesmo raciocínio das figuras 10 e 11, é possível ainda adentrar mais um nível no diagrama de blocos e analisar os conjuntos e caso seja necessário é possível ir ao nível de componentes. A figura 12 é a representação do diagrama de blocos referente aos conjuntos que compõem o subsistema Espumação Gabinetes, nela é possível perceber também a existência de associações tanto em série quanto em paralelo.

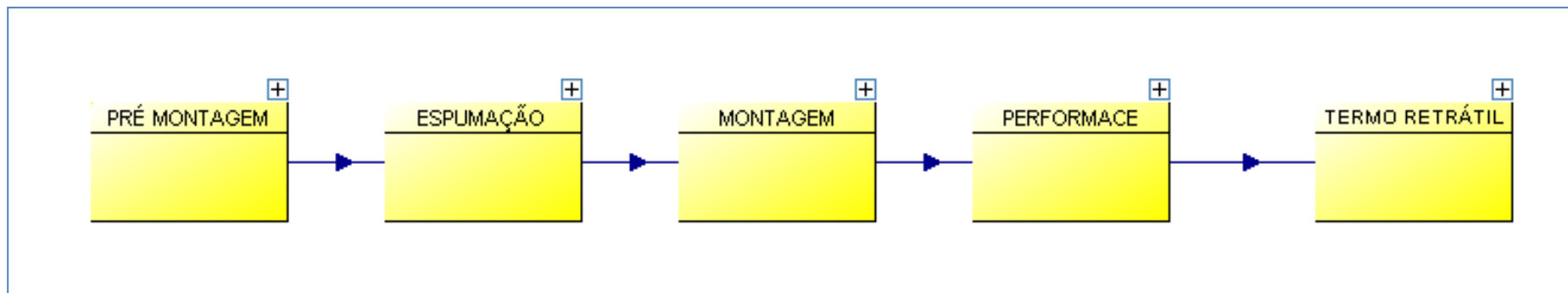


Figura 10 - Diagrama macro da Linha 1 – divisão em sistemas.  
Fonte: Software AWB – Availability Workbench (2012)

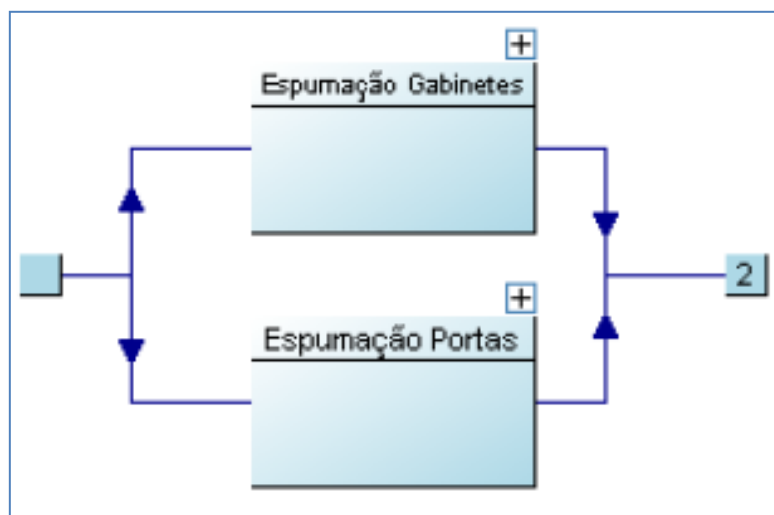


Figura 11 - Subsistemas que compõem o Sistema Espumação – Injeção de Poliuretano  
Fonte: Software AWB – Availability Workbench (2012)

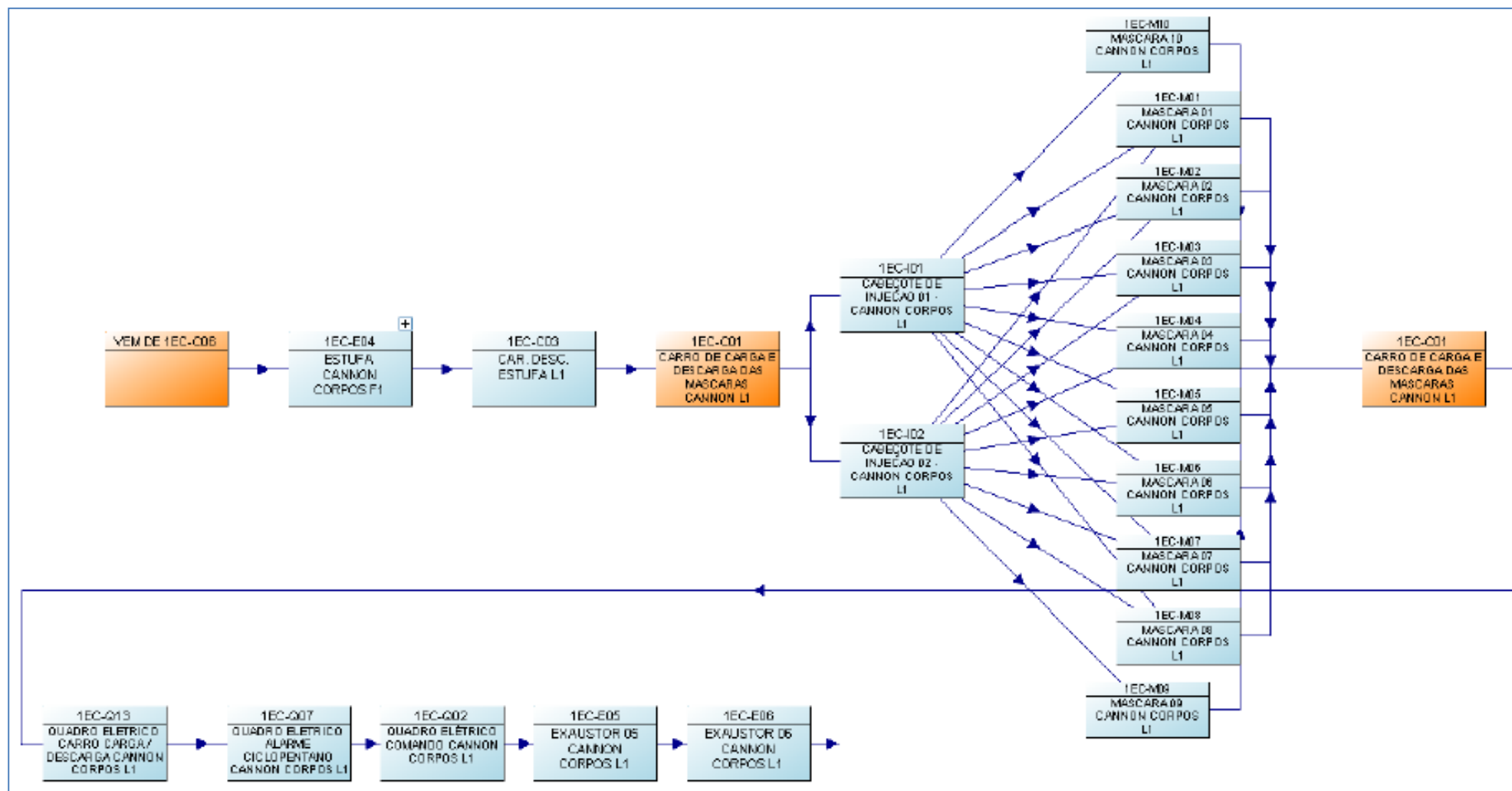


Figura 12 - Conjuntos que constituem o Subsistema Espumação Gabinetes  
 Fonte: Software AWB – Availability Workbench (2012)

Da mesma forma que foi apresentada nas figuras anteriores, foram criados blocos para todos os conjuntos que constituem os subsistemas e sistemas. Assim, o diagrama MACRO da linha pode conter as informações importantes de dados de vida e com um software de confiabilidade pode-se simular os cenários de produção.



## 5 RESULTADOS

Nesse capítulo são apresentados os resultados encontrados, as dificuldades e algumas propostas para trabalhos futuros. No início do nosso trabalho foi dito que o problema principal era aumento de disponibilidade em uma linha de produção e de que forma dados de vida de equipamentos podem ser utilizados em análises que possibilitem dizer qual estratégia deve-se tomar em cada equipamento.

### 5.1 RESULTADOS DA APLICAÇÃO DA ESTRATÉGIA DE ANÁLISE DE CONFIABILIDADE

A estratégia proposta provou ser de fácil aplicação na maior parte de suas etapas. É necessário conhecimento especializado na fase em que os dados são exportados ao software de confiabilidade, pois a pessoa que é responsável pela etapa deve saber como fazer os ajustes finos sem perder as características principais das distribuições propostas pelo software.

Foram realizadas análises de Weibull para 133 equipamentos que compõem a Linha 1 – para o restante dos equipamentos não foram realizadas análises por se tratarem de equipamentos de pequena importância na disponibilidade da linha. Com estes resultados, foi elaborada uma planilha para estimativa de confiabilidade condicional. Na figura 13 encontra-se uma ilustração da planilha que permite estimar confiabilidade e conhecer os parâmetros das diferentes distribuições empregadas na modelagem os dados de vida dos equipamentos.

Por meio da planilha para cálculo de confiabilidade condicional o usuário pode:

- a) Estimar a confiabilidade de equipamentos para diferentes períodos, uma vez que a vida operacional se inicia em zero;
- b) Estimar a confiabilidade em diferentes sobrevidas, uma vez que o equipamento já acumula tempo de vida (confiabilidade condicional).

A planilha é uma criação da equipe com o intuito de auxiliar na previsão de falhas e leva em consideração do tipo de distribuição, os parâmetros cadastrados, e das datas das últimas intervenções realizadas no equipamento – preventiva, preditiva e corretiva – para melhor utilização deve ter ser atualizada periodicamente.

20/12/2015		CONFIABILIDADE		QUANTIDADE			
		0% ≤ C < 20%	CRÍTICO		2		
		20% ≤ C < 80%	ALERTA		7		
		80% ≤ C	SEGURO		9		
TAGS	Tempo projetado	FitDistribution	P1	P2	Confiabilidade	Status	
1EC-B02 - UNIDADE DE BOMBEAMENTO CANNON CORPOS L1	720,00	Weibull	1,088	1800	69,14%	ALERTA	
1EC-C01 - CARRO DE CARGA E DESCARGA DAS MASCARAS CANNON L1	720,00	Weibull	0,9679	393,4	16,61%	CRÍTICO	
1EC-C03 - CAR. DESC. ESTUFA L1	720,00	Weibull	0,9652	872,2	43,56%	ALERTA	
1EC-C06 - CAR.CARGA ESTUFA L1 E L2	720,00	Exponencial	444,8	2	19,82%	CRÍTICO	
1EC-H02 - UNIDADE HIDRAULICA CANNON CORPOS L1	720,00	Exponencial	26780	2	97,35%	SEGURO	
1EC-I01 - CABEÇOTE DE INJECÃO 01 - CANNON CORPOS L1	720,00	Exponencial	1596	2	63,69%	ALERTA	
1EC-I02 - CABEÇOTE DE INJECÃO 02 - CANNON CORPOS L1	720,00	Weibull	1,211	1200	58,35%	ALERTA	
1EC-M01 - MASCARA 01 CANNON CORPOS L1	720,00	Exponencial	4872	2	86,26%	SEGURO	
1EC-M02 - MASCARA 02 CANNON CORPOS L1	720,00	Exponencial	2130	2	71,32%	ALERTA	
1EC-M03 - MASCARA 03 CANNON CORPOS L1	720,00	Exponencial	4517	2	85,27%	SEGURO	
1EC-M04 - MASCARA 04 CANNON CORPOS L1	720,00	Exponencial	26590	2	97,33%	SEGURO	
1EC-M05 - MASCARA 05 CANNON CORPOS L1	720,00	Weibull	0,898	4322	81,87%	SEGURO	
1EC-M06 - MASCARA 06 CANNON CORPOS L1	720,00	Exponencial	7944	2	91,34%	SEGURO	
1EC-M07 - MASCARA 07 CANNON CORPOS L1	720,00	Exponencial	12490	2	94,40%	SEGURO	
1EC-M08 - MASCARA 08 CANNON CORPOS L1	720,00	Exponencial	6438	2	89,42%	SEGURO	
1EC-M09 - MASCARA 09 CANNON CORPOS L1	720,00	Exponencial	8744	2	92,10%	SEGURO	
1EC-M10 - MASCARA 10 CANNON CORPOS L1	720,00	Weibull	0,9375	2500	73,25%	ALERTA	
1EC-Q02 - QUADRO ELÉTRICO COMANDO CANNON CORPOS L1	720,00	Exponencial	1649	2	64,62%	ALERTA	

Figura 13 - Planilha para estimativa de confiabilidade de equipamentos  
 Fonte: Autoria própria (2012)

Além disso, a planilha faz uma classificação dos equipamentos quanto à confiabilidade de cada um, divididos em três intervalos:

- 1) CRÍTICO - ocorre quando a confiabilidade for maior ou igual a 0% e inferior a 20%;
- 2) ALERTA - ocorre quando a confiabilidade for maior ou igual a 20% e inferior a 80%;
- 3) SEGURO – ocorre quando a confiabilidade for maior ou igual a 80%. A partir destas planilhas, o usuário pode realizar análises de forma rápida, empregando uma ferramenta já amplamente conhecida que é o Excel.

Todos os cálculos das análises foram realizados para um tempo de simulação de 3 anos. As Tabelas 1 e 2 apresentam os resultados da análise para os sistemas da Linha 1, sendo as estatísticas apresentadas:

- Rendimento operacional;
- Disponibilidade média;
- Número esperado de falhas;
- MTTR = tempo médio de manutenção corretiva;
- MTTF = tempo médio até a primeira parada;
- MTBF = tempo médio entre as paradas.

É muito importante resaltar que para as simulações obtidas nesse trabalho foram levados em consideração os tempos de mão de obra e tempo entre manutenções preventivas / inspeções. O software utilizado permite ao usuário inserir dados de manutenções planejadas em seus diagramas de blocos, assim, no momento da simulação todas as informações que foram inseridas nos blocos foram utilizadas.

**Tabela 1 - Resultados das análises para os subsistemas da Linha 1 (3 anos).**

Subsistema	Rendimento Operacional	Disponibilidade Média	Nº esperado de paradas	MTTF	MTBF	MTTR
<i>Linha 1</i>	<i>96,69</i>	<i>96,791</i>	<i>2023</i>	<i>5,171</i>	<i>12,99</i>	<i>0,4168</i>
<b>Pré Montagem</b>	99,41	99,4177	332,2	38,7	79,11	0,4606
<b>Espumação</b>	98,54	98,595	730	47,03	36	0,5056
<b>Montagem</b>	99,26	99,2672	575,2	20,76	45,69	0,3348
<b>Performance</b>	99,57	99,6002	327,7	111,8	80,21	0,3207
<b>Temo retrátil</b>	99,87	99,8741	107,1	206,7	245,4	0,309

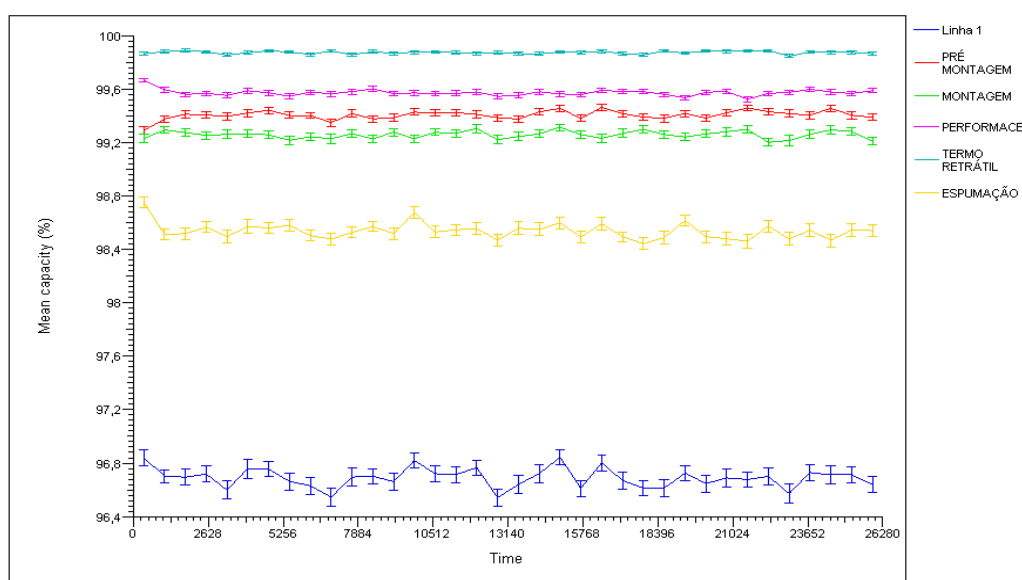
Analisando os resultados da Tabela 1, com a simulação do sistema para 3 anos de operação para Linha 1, foi obtido um rendimento operacional de 96,69% e uma disponibilidade de 96,791%. Um maior valor de disponibilidade em relação ao rendimento operacional significa que o sistema está disponível, mas alguns equipamentos não, implicando em perda de rendimento do sistema. Isto pode ocorrer, por exemplo, no caso em que existir equipamentos em redundância.

Também se ressalta que o subsistema que apresentou um menor rendimento operacional e uma menor disponibilidade média foi a Espumação, enquanto que o subsistema com maior rendimento operacional e maior disponibilidade média foi o Termo retrátil.

No APÊNDICE A são apresentados os resultados de MTTR (tempo médio para reparo – corretiva), MTBF (tempo médio entre as paradas), MTTF (tempo médio até a primeira falha), disponibilidade média e número esperado de paradas. Estes resultados são os previstos para o período de 3 anos de operação dos sistemas Linha 1.

A partir do número de falhas para cada equipamento e do MTTR, pode-se estimar que são gastas 1.174,28 horas de manutenção corretiva efetivamente nos equipamentos para um período de 3 anos de simulação.

Na figura 14 encontram-se o rendimento operacional simulado para 3 anos de operação (26.280 horas) para o sistema Linha 1 e também para os seus subsistemas. É possível observar o rendimento operacional médio simulado pelo software para o sistema Linha 1, bem como para o subsistema Espumação, com um desempenho menor que os demais subsistemas.



**Figura 14 - Capacidade média do sistema Linha 1 de seus subsistemas.**  
**Fonte: Software AWB – Availability Workbench (2012)**

Na Tabela 2 encontra-se o ranking dos equipamentos que apresentaram os menores resultados de confiabilidade para 3 meses de operação.

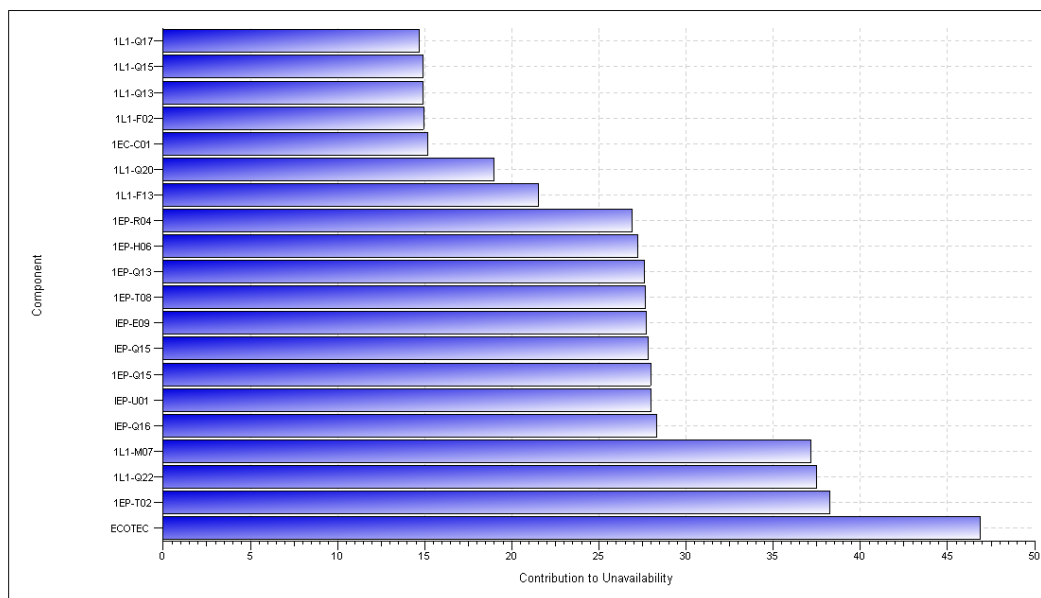
**Tabela 2 - Ranking dos equipamentos com menor confiabilidade para 3 meses.**

Ordem	Equipamento	Confiabilidade	Disponibilidade média	Ordem	Equipamento	Confiabilidade	Disponibilidade média
1	IEP-I07	0,00%	99,90%	21	1L1-Q22	5,00%	99,85%
2	IEP-Q16	1,00%	99,87%	22	1L1-T94	6,00%	99,95%
3	1L1-Q15	1,00%	99,94%	23	1L1-T102	6,00%	99,95%
4	IEP-Q15	2,00%	99,90%	24	1EP-T08	6,00%	99,91%
5	1L1-T105	3,00%	99,95%	25	1L1-Q11	6,00%	99,94%
6	1EP-H06	3,00%	99,91%	26	1EP-Q13	6,00%	99,89%
7	1L1-Q14	3,00%	99,94%	27	1L1-Q12	6,00%	99,95%

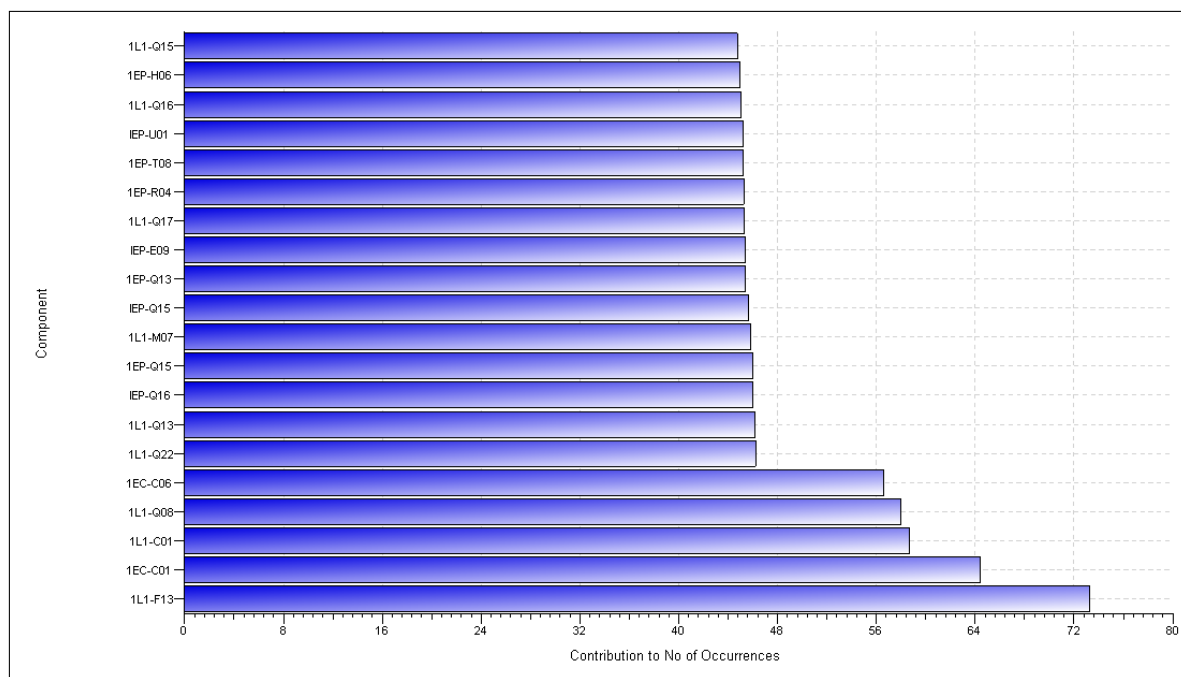
8	1L1-Q13	3,00%	99,95%	28	IEP-E09	6,00%	99,90%
9	1L1-Q08	3,00%	99,94%	29	IEP-Q15	7,00%	99,92%
10	1L1-T106	4,00%	99,95%	30	1L1-Q20	7,00%	99,93%
11	1L1-T92	4,00%	99,95%	31	1L1-Q17	8,00%	99,94%
12	1EP-I08	4,00%	99,89%	32	1L1-C01	8,00%	99,95%
13	1EP-R04	4,00%	99,90%	33	1L1-M07	9,00%	99,87%
14	1L1-Q16	4,00%	99,95%	34	1L1-E16	9,00%	99,95%
15	1EC-C06	4,00%	99,95%	35	1L1-T63	10,00%	99,98%
16	1EC-C01	4,00%	99,94%	36	1L1-T72	12,00%	99,99%
17	1L1-F13	4,00%	99,92%	37	1L1-F02	14,00%	99,95%
18	1L1-T107	5,00%	99,95%	38	1EP-T02	14,00%	99,87%
19	1EP-I09	5,00%	99,91%	39	1L1-Q21	16,00%	99,96%
20	1EP-U01	5,00%	99,90%	40	1L1-T85	17,00%	99,97%

Além dos resultados da confiabilidade dos equipamentos, apresentam-se, também, os das disponibilidades apenas para ressaltar que, apesar de um equipamento apresentar baixa confiabilidade, este pode ter uma alta disponibilidade. Como exemplo, considere-se o caso do equipamento 1EP-I07 que apresenta uma chance de falha de 100% para 3 meses de operação, mas com uma disponibilidade de 99,9%. Outro fato importante é que apesar do equipamento apresentar um pequeno valor de confiabilidade, esta pode não ser a que mais impacta no sistema como um todo, isto em virtude da configuração probabilística do equipamento no

sistema. Por exemplo, um equipamento com baixa confiabilidade pode ter baixo impacto na confiabilidade do sistema se ele se encontrar numa condição de redundância (paralelo ou *stand-by*), mas pode causar alto impacto na confiabilidade do sistema se ele se encontrar na configuração em série, mesmo que sua confiabilidade seja alta. Na figura 15 encontra-se o ranking dos equipamentos que mais impactam na indisponibilidade do sistema.



**Figura 15 - Lista dos 20 equipamentos que mais influenciam na indisponibilidade da Linha 1.**  
**Fonte: Software AWB – Availability Workbench (2012)**



**Figura 16 - Lista dos 20 equipamentos que mais influenciam no número de paradas da Linha 1.  
Fonte: Software AWB – Availability Workbench (2012)**

Na figura 16 estão os equipamentos que mais impactam na parada do sistema, sendo na ordem de importância: 1L1-F013, 1EC-C01, 1L1-C01, 1L1-Q08 e 1EC-C06. Logo, uma estratégia de redução de paradas deve considerar uma melhora de confiabilidade dos equipamentos que mais causam paradas do sistema. Isso pode ser feito basicamente de duas formas:

- a) Pela substituição dos equipamentos atuais, que causam muitas paradas no sistema, por outros com maior confiabilidade. Neste caso, o número de falhas é reduzido, uma vez que o novo equipamento possui confiabilidade mais alta. Logo, para aumento de confiabilidade requer que seja realizado investimento na aquisição, reprojeto, melhorias de design, etc.
- b) Pela adição de equipamentos em paralelo aos que já se encontram em operação. Neste caso, não se reduz o número de falhas de cada equipamento individualmente, mas sim o do sistema, uma vez que nesta nova configuração há dois equipamentos em operação conjuntamente.



## 6 CONCLUSÕES

A estratégia proposta demonstrou ser de grande aplicação para o departamento de manutenção da empresa e pode também ser utilizada em outros lugares, bastando para isso: uma equipe dedicada, um software e registros de dados de vida dos equipamentos. Por meio de uma estratégia como essa é possível a otimização de recursos de grande importância em nosso dia a dia como a mão de obra de manutenção e o próprio recurso financeiro.

Foi possível identificar desperdícios de mão de obra alocada em equipamentos que não apresentavam grande importância na disponibilidade geral da linha de produção. Também foi possível melhorar o foco sob o ponto de vista de tarefas de manutenção preventiva e inspeções nos equipamentos mais críticos identificados nas análises.

A equipe que participou do projeto pode aprender e fixar os conceitos de confiabilidade e suas aplicações no dia a dia da manutenção. Os pontos de vista diferentes de cada participante foram importantes na realização das análises e nas implicações que elas revelaram. A confiabilidade condicional foi um conceito bastante abordado e levado em grande consideração por todos.

### 6.1 DIFICULDADES ENCONTRADAS

A maior dificuldade encontrada durante a utilização da estratégia proposta foi no momento em que se buscavam informações de dados de vida dos equipamentos. O software que faz gestão dessas informações – MANUSIS – tem campos suficientes para manter registros de qualidade tanto das falhas quanto dos planos de manutenção / inspeção periódicos, entretanto em alguns casos a equipe necessitou buscar informações em outras fontes. Isso é consequência da falta de responsabilidade no momento de registros importantes e ou da falta de cobrança da importância dos registros.

Outro problema encontrado pela equipe foi a existência de falhas ocasionadas pelos operadores, ou seja, a falha humana. Em muitos equipamentos de uma linha de produção ocorre uma rotatividade muito grande de pessoas, além disso, não existe em muitos casos o tempo necessário de treinamento na operação. A consequência maior disso tudo é a ocorrência de falhas, e são falhas operacionais

que não podem ser incluídas nas simulações. Nessas situações a equipe adotou a política de não utilizar tais dados de falha na simulação.

## 6.2 PROPOSIÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Um tema bastante importante para estudos e trabalhos futuros seria a implantação de técnicas de confiabilidade condicional em softwares de gerenciamento de manutenção. Um software que controle registros de manutenção – seja preventiva, inspeção ou corretiva – poderia ter funções que habilitem alarmes de confiabilidade baseados em seus dados de vida e dados de vida de fabricantes.

Ainda relacionado a confiabilidade condicional, pode-se estudar técnicas de incluir em Controladores Lógicos Programáveis alarmes baseados em ciclos ou horas de funcionamento.

## REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR-5462 Confiabilidade e Manutenibilidade – Terminologia**. ABNT/CB-03 – Eletricidade, 1994.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR-13533 Coleta de dados de campo relativos à confiabilidade, manutenibilidade, disponibilidade e suporte à manutenção**. ABNT/CB-03 – Eletricidade, 1995.

AGUIAR, Afrânio Carvalho. **Informação e atividades de desenvolvimento científico, tecnológico e industrial: tipologia proposta com base em análise funcional**. Ci. Inf., Brasília, v. 20, n. 1, p. 7-15, jan./jun. 1991.

CARVALHO, Marcos H. **Simulação do impacto da disponibilidade de sistemas no retorno econômico e produção de petróleo**. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica e Instituto de Geociências. Campinas/SP, 2011.

COLOSIMO, E. A., GIOLO, S. R. **Análise de Sobrevivência Aplicada**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

DOS SANTOS, Fabiano P., MARIANO, Carlos H. **Análise de Falhas Baseada em Engenharia da Confiabilidade em trocador de calor do processo de ureia em planta Petroquímica**. Curitiba: Universidade Federal Tecnológica do Paraná, 2014.

FOGLIATTO, Flávio Sanson, et all. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2ª Reimpressão, 2009. 265 p.

HANSEN, Robert C. **Eficiência Global dos Equipamentos: uma poderosa ferramenta de produção / manutenção para o aumento dos lucros**. Tradução Altair F. Klippel. Porto Alegre: Bookman, 2006. 264 p.

JAMES, Barry R. **Probabilidade: um curso em nível intermediário**. 3ª Edição. Rio de Janeiro: IMPA, 2004.

LAFRAIA, João R. Barusso. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1ª Edição, 4ª Reimpressão, 2011. 388p.

LAWLESS, Jerald F. ***Statistical Models and Methods for Lifetime Data***. New York: Wiley, 1982.

MEDEIROS, João Bosco. **Redação científica: a prática de fichamentos, resumos, resenhas**. São Paulo: Editora Atlas, 2003.

OLIVEIRA, Silvio Luiz de. **Tratado de metodologia científica**. São Paulo: Pioneira, 2000.

## GLOSSÁRIO

### **Confiabilidade:**

“Confiabilidade é a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo” (NBR 5462 – 1994).

### **Disponibilidade:**

Capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados (NBR 5462 – 1994).

### **Falha:**

“Término da capacidade de um item desempenhar a função requerida” (NBR 5462 – 1994).

### **Mantenabilidade:**

Capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos (NBR 5462 – 1994).

### **Manutenção Corretiva:**

Manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida (NBR 5462 – 1994).

### **Manutenção Preventiva:**

A NBR 5462 (1994) descreve a manutenção preventiva como sendo a “manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item”.

**Manutenção Programada:**

Manutenção preventiva efetuada de acordo com um programa preestabelecido (NBR 5462 – 1994).

**Manutenção Não programada:**

“Manutenção que não é feita de acordo com um programa preestabelecido, mas depois da recepção de uma informação relacionada ao estado de um item” (NBR 5462 – 1994).

**Período de falhas prematuras:**

O período entre falhas prematuras é descrito na NBR 5462 (1994) como sendo “o eventual período inicial na vida de um item, durante o qual a intensidade de falha instantânea para um item reparado, ou a taxa de falha instantânea para um item não reparado, é consideravelmente maior que aquela do período subsequente”.

**Período de taxa de falha constante:**

“Período eventual na vida de um item não reparado, durante o qual a taxa de falha é aproximadamente constante” (NBR 5462 – 1994).

**Período de taxa de falhas por deterioração:**

Eventual período final da vida de um item, durante o qual a intensidade de falha instantânea para um item reparado, ou a taxa de falha instantânea para um item não reparado, é consideravelmente maior que aquela do período precedente (NBR 5462 – 1994).

**Tempo até falha:**

Na NBR 5462 (1994) o tempo até falha é descrito como a “duração acumulada dos tempos de operação de um item, desde sua colocação em estado de disponibilidade até a ocorrência da falha, ou do instante do restabelecimento funcional até a ocorrência da próxima falha”.

**Tempo de Manutenção:**

“Intervalo de tempo durante o qual é executada uma ação de manutenção em um item, manual ou automaticamente, incluindo os atrasos técnicos e logísticos” (NBR 5462 – 1994).

**Tempo entre falhas:**

“Tempo acumulado entre duas falhas consecutivas de um item reparado” (NBR 5462 – 1994).

**Vida útil:**

Sob dadas condições, é o intervalo de tempo desde o instante em que um item é colocado pela primeira vez em estado de disponibilidade, até o instante em que a intensidade de falha torna-se inaceitável ou até que o item seja considerado irrecuperável depois de uma pane (NBR 5462 – 1994).

## APÊNDICE A - Resultados das análises para os equipamentos dos sistemas da Linha 1

Equipamento	Disponibilidade média	Nº de falhas esperadas	MTTR	MTBF	MTTF
ECOTEC	99,82%	24,29	1,95	1.082,00	1.229,00
1EP-T02	99,85%	42,66	0,91	616,00	583,50
1L1-Q22	99,86%	47,57	0,80	552,40	452,30
1L1-M07	99,86%	47,33	0,80	555,30	484,50
1EP-I09	99,89%	47,67	0,60	551,30	595,90
IEP-Q16	99,89%	47,33	0,61	555,30	590,60
IEP-U01	99,89%	46,60	0,61	563,90	516,70
IEP-Q15	99,89%	47,22	0,60	556,50	551,60
1EP-Q15	99,89%	47,27	0,60	556,00	570,30
IEP-E09	99,89%	46,96	0,60	559,60	487,30
1EP-T08	99,89%	46,76	0,60	562,00	511,00
1EP-Q13	99,89%	47,00	0,60	559,10	531,80
1EP-I07	99,89%	46,58	0,60	564,20	595,10
1EP-I08	99,89%	46,87	0,59	560,70	530,60
1EP-H06	99,89%	46,59	0,60	564,10	569,10
1EP-R04	99,90%	46,83	0,58	561,20	477,70
1L1-F13	99,92%	75,71	0,29	347,10	316,50
1L1-Q20	99,93%	41,28	0,47	636,60	590,20
1EP-I06	99,94%	16,29	0,98	1.613,00	1.698,00
1EP-I05	99,94%	16,29	0,95	1.613,00	1.413,00
1EC-C01	99,94%	66,38	0,23	395,90	420,20
1L1-Q15	99,94%	46,37	0,33	566,70	560,20
1L1-F02	99,94%	33,97	0,45	773,60	719,00
1L1-Q13	99,94%	47,56	0,32	552,60	592,80
1L1-T102	99,94%	47,56	0,32	552,60	546,90
1L1-Q17	99,94%	47,10	0,32	558,00	557,90
1L1-T92	99,94%	46,83	0,32	561,20	600,80
1L1-T107	99,94%	47,13	0,32	557,60	544,80
1L1-Q12	99,94%	46,15	0,32	569,40	588,60
1L1-Q16	99,94%	46,56	0,32	564,40	611,70
1L1-T105	99,94%	45,91	0,32	572,40	589,70
1L1-E16	99,94%	33,46	0,44	785,40	796,70
1L1-Q11	99,94%	46,17	0,32	569,20	594,50
1L1-T94	99,94%	46,69	0,31	562,90	605,00
1L1-Q14	99,94%	45,94	0,32	572,10	616,00



1L1-T106	99,94%	46,37	0,31	566,70	609,40
1L1-C01	99,95%	60,34	0,23	435,50	362,20
1EC-C06	99,95%	58,22	0,24	451,40	413,20
1EC-M03	99,95%	5,73	2,43	4.586,00	5.794,00
1L1-Q08	99,95%	59,92	0,23	438,60	444,90
1L1-M08.1	99,95%	26,18	0,46	1.004,00	1.178,00
1EC-B02	99,96%	15,35	0,76	1.712,00	1.648,00
1EC-M10	99,96%	9,94	1,11	2.644,00	2.731,00
1L1-H16	99,96%	31,64	0,33	830,60	855,90
1L1-Q21	99,96%	31,47	0,33	835,10	937,30
1L1-B04	99,96%	6,87	1,40	3.825,00	4.047,00
1EC-M02	99,97%	11,88	0,75	2.212,00	2.317,00
1L1-T85	99,97%	30,87	0,25	851,30	886,10
1L1-T83	99,97%	30,94	0,24	849,40	787,30
1L1-T16	99,97%	5,60	1,26	4.693,00	4.011,00
1EC-C03	99,97%	29,39	0,23	894,20	912,30
1EC-M01	99,98%	5,48	1,19	4.796,00	5.144,00
1EC-I02	99,98%	23,07	0,28	1.139,00	932,10
1L1-T63	99,98%	40,59	0,15	647,50	762,50
1EC-M05	99,98%	5,83	1,01	4.508,00	4.763,00
1L1-T131	99,98%	12,50	0,45	2.102,00	2.077,00
1L1-T98	99,98%	24,81	0,22	1.059,00	858,70
1L1-T97	99,98%	24,23	0,22	1.085,00	996,90
1EC-I01	99,98%	16,95	0,31	1.550,00	1.357,00
1L1-T43	99,98%	19,88	0,26	1.322,00	1.227,00
1L1-T73	99,98%	18,04	0,26	1.457,00	1.380,00
1EC-Q09	99,98%	16,65	0,28	1.578,00	1.662,00
1L1-E19	99,98%	7,83	0,59	3.356,00	3.025,00
1L1-Q07	99,98%	16,39	0,27	1.603,00	1.647,00
1EC-Q03	99,98%	16,58	0,26	1.585,00	1.532,00
1L1-T84	99,98%	15,59	0,28	1.686,00	1.751,00
1EC-Q02	99,98%	16,06	0,27	1.636,00	1.566,00
1EC-Q11	99,98%	15,74	0,27	1.670,00	1.694,00
1EC-Q07	99,98%	16,18	0,26	1.624,00	1.805,00
1EC-Q13	99,98%	15,67	0,26	1.677,00	1.523,00
1L1-B03	99,99%	10,51	0,37	2.500,00	2.322,00
1L1-T56	99,99%	7,72	0,47	3.404,00	2.872,00
1L1-T108	99,99%	13,91	0,26	1.889,00	1.865,00

1L1-Q44	99,99%	13,61	0,26	1.931,00	2.007,00
1L1-Q18	99,99%	13,81	0,25	1.903,00	2.135,00
1L1-T118	99,99%	14,25	0,24	1.844,00	1.813,00
1L1-T61	99,99%	7,57	0,46	3.472,00	3.574,00
LEITOR CÓD DE BARRAS	99,99%	13,31	0,25	1.974,00	1.595,00
ECOTEC-TERMORETRÁTIL	99,99%	23,71	0,14	1.108,00	1.339,00
1L1-Q19	99,99%	12,79	0,25	2.055,00	2.357,00
1L1-T24	99,99%	4,62	0,69	5.688,00	4.902,00
1L1-T72	99,99%	31,44	0,10	835,90	786,50
1L1-T55	99,99%	18,05	0,17	1.456,00	1.473,00
1EC-M07	99,99%	2,11	1,18	12.500,00	11.200,00
1L1-S01	99,99%	8,42	0,28	3.121,00	3.345,00
1L1-S04	99,99%	8,44	0,28	3.114,00	3.654,00
1L1-Q05	99,99%	8,00	0,28	3.285,00	3.216,00
1L1-S05	99,99%	8,00	0,28	3.285,00	3.216,00
1L1-S02	99,99%	8,09	0,27	3.248,00	3.192,00
1L1-S03	99,99%	8,06	0,27	3.261,00	3.381,00
1L1-T25	99,99%	5,96	0,36	4.409,00	4.178,00
1EC-M06	99,99%	3,33	0,59	7.892,00	7.755,00
1L1-T54	99,99%	6,74	0,29	3.899,00	4.174,00
1L1-T86	99,99%	8,33	0,22	3.155,00	3.105,00
1L1-T137	99,99%	0,97	1,81	27.100,00	16.600,00
1EC-M08	99,99%	4,36	0,38	6.028,00	5.441,00
1EP-B04	99,99%	5,73	0,28	4.586,00	4.734,00
1EP-H05	99,99%	6,13	0,25	4.287,00	3.765,00
1L1-T53	99,99%	2,87	0,54	9.157,00	7.962,00
1EP-H03	99,99%	5,65	0,26	4.651,00	4.476,00
1EP-H05	99,99%	5,71	0,26	4.602,00	3.960,00
1EP-Q12	99,99%	5,51	0,26	4.770,00	4.192,00
1L1-T87	99,99%	3,20	0,45	8.213,00	7.775,00
1L1-T35	99,99%	5,89	0,24	4.462,00	4.682,00
1EP-B03	99,99%	5,63	0,25	4.668,00	5.268,00
1L1-T52	99,99%	3,22	0,42	8.161,00	7.440,00
1L1-T59	100,00%	3,39	0,36	7.752,00	7.200,00
1L1-T89	100,00%	1,14	1,03	23.100,00	16.100,00
1L1-T57	100,00%	3,92	0,29	6.704,00	7.511,00

1L1-Q06	100,00%	6,50	0,18	4.043,00	3.676,00
1L1-T12	100,00%	11,46	0,09	2.293,00	2.880,00
1L1-B07	100,00%	3,66	0,27	7.180,00	6.922,00
1L1-T62	100,00%	2,25	0,41	11.700,00	10.300,00
1L1-B08	100,00%	3,66	0,25	7.180,00	6.605,00
1L1-T37	100,00%	4,19	0,22	6.272,00	6.262,00
1L1-T03	100,00%	1,98	0,42	13.300,00	12.500,00
1L1-T82	100,00%	5,78	0,14	4.547,00	3.433,00
1L1-T81	100,00%	5,69	0,13	4.619,00	4.952,00
1L1-B05	100,00%	3,13	0,23	8.396,00	8.322,00
1L1-T44	100,00%	3,09	0,23	8.505,00	8.106,00
1L1-Q01	100,00%	5,12	0,13	5.133,00	5.242,00
1L1-T130	100,00%	3,24	0,20	8.061,00	7.143,00
1L1-T47	100,00%	3,81	0,14	6.898,00	7.665,00
1L1-T103	100,00%	0,83	0,62	31.700,00	17.900,00
1L1-G01	100,00%	5,40	0,10	4.867,00	5.500,00
1EC-M04	100,00%	1,17	0,38	22.500,00	14.000,00
1L1-T08	100,00%	1,06	0,39	24.800,00	15.400,00
1L1-T68	100,00%	2,13	0,18	12.300,00	9.725,00
1L1-T66	100,00%	4,07	0,09	6.457,00	6.032,00
1L1-T65	100,00%	2,00	0,16	13.100,00	10.100,00
1L1-T88	100,00%	2,09	0,16	12.600,00	12.000,00
1L1-T48	100,00%	0,82	0,35	32.100,00	17.900,00
1L1-T58	100,00%	1,08	0,25	24.300,00	16.400,00
1L1-T11	100,00%	2,75	0,10	9.556,00	9.624,00
1L1-T17	100,00%	1,19	0,21	22.100,00	16.000,00
1L1-T67	100,00%	2,11	0,11	12.500,00	10.400,00
1L1-T07	100,00%	0,91	0,26	28.900,00	16.600,00
1L1-T34	100,00%	0,75	0,31	35.000,00	18.700,00
1L1-T64	100,00%	2,46	0,09	10.700,00	8.872,00
1L1-T75	100,00%	1,41	0,13	18.600,00	15.000,00
1L1-T09	100,00%	1,53	0,11	17.200,00	13.600,00
1L1-T135	100,00%	1,03	0,15	25.500,00	16.200,00
1L1-T13	100,00%	0,76	0,19	34.600,00	18.400,00
1L1-T78	100,00%	1,17	0,12	22.500,00	16.200,00
1EC-M09	100,00%	2,99	0,04	8.789,00	9.340,00
1L1-T74	100,00%	1,79	0,06	14.700,00	12.600,00
1L1-E20	100,00%	0,55	0,20	47.800,00	20.900,00

1L1-T46	100,00%	1,00	0,09	26.300,00	26.300,00
1L1-T113	100,00%	1,03	0,09	25.500,00	16.200,00
1L1-T04	100,00%	1,16	0,07	22.700,00	15.300,00
1L1-T14	100,00%	0,92	0,08	28.600,00	17.400,00
1L1-T80	100,00%	0,98	0,07	26.800,00	16.700,00
1L1-T138	100,00%	1,00	0,06	26.300,00	16.200,00
1L1-T49	100,00%	0,99	0,06	26.600,00	16.600,00
1L1-T05	100,00%	0,91	0,04	28.900,00	18.200,00
1L1-T10	100,00%	0,96	0,02	27.400,00	16.500,00