

**GUSTAVO CANEVARI DE BELLO**

**Planejamento de política de manutenção preventiva com aplicação de  
simulação computacional**

Trabalho de formatura apresentado  
À Escola Politécnica da Universidade de  
São Paulo para a obtenção do  
Diploma de Engenheiro de Produção

**São Paulo  
2008**



**GUSTAVO CANEVARI DE BELLO**

**Planejamento de política de manutenção preventiva com aplicação de  
simulação computacional**

Trabalho de formatura apresentado  
À Escola Politécnica da Universidade de  
São Paulo para a obtenção do  
Diploma de Engenheiro de Produção

Orientador: Prof. Dr. Dario Ikuo Miyake

**São Paulo  
2008**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**Bello, Gustavo Canevari de**

**Planejamento de política de manutenção preventiva com  
aplicação de simulação computacional / G.C. de Bello. -- São  
Paulo, 2008.**

**p.**

**Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade  
de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.**

**1.Manutenção preventiva 2.Simulação 3.Manutenção produ-  
tiva total I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.  
Departamento de Engenharia de Produção II.t.**

À minha família e aos meus amigos por estarem a meu lado não somente durante esses cinco anos, mas em todos os momentos de minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à minha família. Foi ela que esteve sempre ao meu lado durante toda essa trajetória, desde meu primeiro dia na escola primária até o dia de minha formatura na Universidade. Foi ela que me aplaudiu em todas as conquistas e me incentivou nos momentos difíceis, em que parecia que desistir de tudo era mais fácil. Mas, acima de tudo, foi ela que me fez ver que somente através da educação e de uma busca contínua por aprendizado e desenvolvimento uma pessoa pode evoluir, alcançar suas metas e vencer seus desafios.

Agradeço a meus amigos pelo companheirismo e por todos os incentivos em todos esses anos de convivência. Meus amigos são a extensão de minha família, meus irmãos. Cada momento vivido juntos nos provou o quanto é gratificante e importante ter vocês a meu lado.

Também agradeço a todos os professores que me ajudaram a criar essa trajetória, desde o colégio até a Universidade. Cada um de vocês teve uma contribuição para que esse momento finalmente chegasse, e com vocês aprendi muito.

## RESUMO

O trabalho teve como objetivo estudar a melhor maneira de se passar a realizar manutenções preventivas em um equipamento chamado Vomm, que fabrica pós soprados em uma indústria de produtos de higiene e limpeza. Atualmente todo o processo de manutenção na empresa é do tipo corretivo, o que gera muitas ocorrências de falha e parada nos equipamentos. O Vomm é um importante gargalo no processo produtivo da empresa, e as vendas de seus produtos vêm em uma crescente de demanda. Ao mesmo tempo, o equipamento é disparadamente o maior alvo de intervenções corretivas por parte do pessoal de manutenção. Dessa forma, elaborou-se uma política de manutenção preventiva nesse equipamento, levantando-se quais os principais pontos a serem inspecionados durante uma parada para manutenção preventiva. Ao mesmo tempo, fez-se um estudo estatístico para encontrar distribuições de probabilidade que pudessem retratar os tempos entre diferentes tipos de falha, assim como os tempos de reparo das mesmas. Finalmente, foi feita uma simulação de Monte Carlo com objetivo de encontrar o momento certo para se efetuar as paradas para realização das manutenções preventivas, de forma a maximizar a disponibilidade do equipamento ao menor custo possível. Como conclusão, chegamos a resultados que nos indicam qual o intervalo em horas entre cada parada de manutenção preventiva para diferentes cenários testados.

## **ABSTRACT**

This work intends to study the best way to start making preventive maintenance in an equipment called Vomm, which produces soap in powder in a hygiene and cleaning products industry. Nowadays, the maintenance process in this company is based on corrective maintenance, which causes many stops owing to equipment breakdown. Vomm is a critical bottleneck at this productive process and its products show an increasing demand. At the same time, the equipment is, by far, the one that demands the highest number of corrective maintenance. Thus, a policy for preventive maintenance at this equipment has been created, searching for the main points to be inspected during a preventive maintenance stop. Meanwhile, a statistics study has conducted to find the probability distributions that would most fairly represent the time between failures and the time to repair. Finally, a Monte Carlo simulation was conducted with the objective of finding the best time interval in which a stop for preventive maintenance would have to occur, in order to maximize the equipment's availability at the lowest cost. As a conclusion, a set of hypothetical scenarios were tested, and the right time interval between stops for preventive maintenance was found for each one.

## **LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

Figura 1.1: Número de intervenções corretivas nos equipamentos no ano de 2007 .....	18
Figura 1.2: Número de intervenções corretivas nos equipamentos nos primeiros meses do ano de 2008 .....	19
Figura 1.3: Distribuição das intervenções corretivas realizadas no Vomm em suas peças..	20
Figura 1.4: Variação da demanda dos produtos fabricados no Vomm.....	22
Figura 1.5: Variação do volume faturado dos produtos fabricados no Vomm x outros produtos do portfólio JD.....	22
Figura 1.6: Esquema representativo do Vomm.....	27
Figura 3.1: Histograma de tempo entre quebras.....	48
Figura 3.2: Histograma de tempo de reparo .....	51
Figura 3.3: Exemplo de Saída da simulação inicial.....	54
Figura 3.4: Diagrama de espinha de peixe representando as principais causas de falhas evitáveis e inevitáveis.....	58
Figura 3.5: Histograma do tempo entre falhas evitáveis .....	66
Figura 3.6: Histograma de tempo entre falhas não evitáveis.....	69
Figura 3.7: Saída do Minitab representando graficamente o resultado do teste de Levene .	74
Figura 3.8: Comportamento da disponibilidade no cenário de 25% de aumento na média de tempos entre falhas evitáveis.....	78
Figura 3.9: Comportamento da disponibilidade no cenário de 50% de aumento na média de tempos entre falhas evitáveis.....	78
Figura 3.10: Comportamento da disponibilidade no cenário de 75% de aumento na média de tempos entre falhas evitáveis.....	79
Figura 3.11: Comportamento da disponibilidade no cenário de 100% de aumento na média de tempos entre falhas evitáveis.....	79
Figura 3.12: Comportamento da disponibilidade no cenário de 125% de aumento na média de tempos entre falhas evitáveis.....	80
Figura 3.13: Comportamento da disponibilidade no cenário de 150% de aumento na média de tempos entre falhas evitáveis.....	80

Figura 3.14: Custos totais para o cenário de aumento de 25% da média de tempo entre falhas evitáveis .....	85
Figura 3.15: Custos totais para o cenário de espaçamento de 50% da média de tempo entre falhas evitáveis .....	86
Figura 3.16: Custos totais para o cenário de espaçamento de 75% da média de tempo entre falhas evitáveis .....	86
Figura 3.17: Custos totais para o cenário de espaçamento de 100% da média de tempo entre falhas evitáveis .....	87
Figura 3.18: Custos totais para o cenário de espaçamento de 125% da média de tempo entre falhas evitáveis .....	87
Figura 3.19: Custos totais para o cenário de espaçamento de 150% da média de tempo entre falhas evitáveis .....	88
Figura 4.1: Silo do Vomm .....	99
Figura 4.2: Misturador do Vomm .....	100
Figura 4.3: Bomba de perfume do Vomm .....	101
Figura 4.4: Seladora do Vomm .....	103
Figura 4.5: Esteira inferior do Vomm .....	104
Figura 4.6: Dosador de corantes do Vomm .....	105
Figura 4.7: Talha do Vomm .....	106
Figura 5.1: Comportamento da disponibilidade x comportamento dos custos no cenário de aumento de 100% da média do tempo entre falhas evitáveis .....	112
Figura 5.2: Tendências de disponibilidades máximas e custos totais .....	113

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1.1: Crescimento e representatividade de LEM nas vendas da empresa .....	21
Tabela 1.2: Necessidades mensais de capacidade produtiva do Vomm.....	23
Tabela 1.3: Previsão das necessidades anuais de capacidade produtiva no Vomm .....	23
Tabela 1.4: Comparação da capacidade utilizada Vomm x equipamentos com estouro de capacidade .....	24
Tabela 2.1: Fatores que impactam no MTBF e MTTR .....	35
Tabela 3.1: Apontamento dos tempos entre quebras no Vomm, e seus respectivos tempos de reparo .....	45
Tabela 3.2: Classificação do tipo de falha das ocorrências de manutenção no Vomm.....	59
Tabela 3.3: Tempos entre falhas evitáveis.....	65
Tabela 3.4: Tempos entre falhas não evitáveis.....	68
Tabela 3.5: Tempos de reparo para falhas evitáveis.....	71
Tabela 3.6: Tempos de reparo para falhas inevitáveis.....	72
Tabela 3.7: Saída do Minitab para o teste de Levene.....	73
Tabela 3.8: Custo por intervenção preventiva .....	82
Tabela 3.9: Margem líquida por quilograma de produto produzido no Vomm .....	83
Tabela 3.10: Custo por intervenção corretiva.....	83
Tabela 3.11: Resumo das conclusões e resultados .....	90
Tabela 4.1: Tabela FMEA .....	93

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AD: *Anderson - Darling*

F&B: *Food & Beverage*

FMEA: *Failure Mode and Effect Analysis*

IPA: *Índice de Produtos Aprovados*

IPO: *Índice de Performance Operacional*

ITO: *Índice de Tempo Operacional*

JD: JohnsonDiversey

LEM: *Lower End of Market*

MP: *Manutenção Preventiva*

MTBF: *Mean Time Between Failures*

MTTR: *Mean Time to Repair*

OEE: *Overall Equipment Efficiency*

TPM: *Total Productive Maintenance*

## Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	Apresentação da empresa .....	15
1.2	Formulação do Problema.....	17
1.3	O equipamento e sua operação .....	25
1.4	O Estudo proposto e sua relevância.....	28
1.5	Estrutura do trabalho .....	29
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	30
2.1	Manutenção e Disponibilidade .....	30
2.2	Manutenção Produtiva Total .....	36
2.3	Método de Monte Carlo.....	42
3	TRATAMENTO DO PROBLEMA .....	44
3.1	Levantamento de Dados .....	44
3.2	Análise dos dados para encontrar as distribuições de probabilidade correspondentes .....	47
3.2.1	Análise dos tempos entre falhas .....	47
3.2.2	Análise do tempo de reparo .....	50
3.3	Simulação da situação Atual.....	53
3.4	Sobre os tipos de falhas .....	56
3.5	Análise estatística para encontrar as distribuições de probabilidade para a simulação final.....	64
3.5.1	Análise do tempo entre falhas evitáveis .....	64
3.5.2	Análise dos tempos entre falhas inevitáveis .....	67
3.5.3	Análise dos tempos de reparo .....	71
3.6	Simulação computacional com método de Monte Carlo.....	76
3.7	Análise de custos das manutenções .....	81
4	Política de Manutenção Preventiva .....	91
4.1	Aplicação do FMEA .....	91
4.2	Procedimento de manutenção preventiva .....	98

4.3	Implantação da política de manutenção preventiva .....	109
5	CONCLUSÕES .....	111
	Referências Bibliográficas .....	115
	Anexo A1 .....	116
	Anexo A2 .....	119
	Anexo A3 .....	122
	Anexo A4 .....	125
	Anexo A5 .....	128
	Anexo B .....	131
	Anexo C .....	142
	Anexo D .....	143
	Anexo E.....	150
	Anexo F.....	151

# 1 INTRODUÇÃO

Este trabalho foi realizado na JohnsonDiversey Brasil, empresa do ramo de higienização e limpeza profissional, juntamente com a disciplina de estágio supervisionado. O estágio foi desenvolvido na área de manufatura da empresa, e o trabalho trata de um problema de manutenção, com efeito direto na área de planejamento da manufatura.

O primeiro capítulo desse texto visa fazer uma apresentação da empresa, o problema a ser tratado no estudo, sua relevância, o estudo proposto e a estrutura do trabalho, onde se faz uma breve descrição do conteúdo dos capítulos.

## 1.1 Apresentação da empresa

A JohnsonDiversey (JD) é uma indústria multinacional do ramo químico, atuando no segmento de higienização e limpeza profissional. A empresa nasceu no ano de 2002, fruto da aquisição da antiga Diversey Lever pela Johnson Wax Professional. Pertence ao grupo Johnson, um grupo familiar com sede em Racine, nos Estados Unidos e está presente em 160 países do mundo, em todos os continentes. Seu diferencial é de oferecer a seus clientes uma solução completa em higienização e limpeza, extrapolando assim a venda de produtos químicos e abordando serviços que sejam pertinentes à satisfação completa do cliente. A operação brasileira é de médio porte, com cerca de 500 funcionários.

No Brasil, a empresa é líder absoluta de mercado, atendendo clientes em todos os estados brasileiros através de seus diferentes canais de vendas, diretos e indiretos. Sua fábrica está localizada na cidade de São Paulo, e a distribuição dos produtos é feita através de um centro de distribuição próprio, localizado no município de Osasco. São produzidos e comercializados produtos de marca própria, assim como de marcas de outra grande multinacional, com a qual mantém um contrato de fornecimento.

Os produtos JohnsonDiversey atendem a dois grandes setores: Institucional e F&B (*Food and Beverage*). No primeiro setor, destacamos os segmentos de mercado de tratamento de pisos,

lavanderias, hotéis, restaurantes, hospitais, indústrias farmacêuticas, empresas limpadoras, entre outros. Já no segundo setor, destacam-se as indústrias de bebidas alcoólicas, bebidas não alcoólicas, alimentos processados, laticínios e frigoríficos. Um terceira linha, voltada à higiene pessoal e chamada de *Softcare* é constituída de sabonetes líquidos, com foco principalmente em *shoppings centers*, hotéis, hospitais e restaurantes. O *portfólio* da empresa abrange hoje 390 produtos acabados diferentes.

Os canais de vendas são divididos em *Key Accounts*, clientes de maior porte e estratégicos para a empresa, que contam com estrutura voltada exclusivamente para eles; Vendas Diretas, que atende a clientes que têm porte suficientemente grande para justificar um atendimento pela força de vendas da empresa; e Distribuidores Autorizados, empresas independentes e parceiras que atendem aos clientes de menor porte. Esses canais são divididos internamente em duas diretorias: Institucional e F&B. As duas diretorias têm sob si equipes de *Key Accounts*, Vendas Diretas e Distribuidores Autorizados, pois ambos os setores utilizam estes dois canais.

Uma quarta estrutura de vendas é conhecida como LEM (*Lower End of Market*). Essa estrutura é montada para atender aos clientes que compram os produtos de outra marca ou de marca própria JD que não são voltados a uma limpeza profissional, mas sim que representam versões institucionais de produtos de limpeza já conhecidos do público em geral, tais como Omo, Comfort, Fofo e Surf.

A empresa vem seguindo uma trajetória de sólido crescimento nos últimos anos. A planta brasileira, em particular, vem recebendo de sua matriz metas de crescimento cada vez mais ousadas, e tem conseguido atingi-las, através de projetos que visam uma produção mais eficiente a cada ano. Graças a esses projetos de melhoria, a fábrica tem atendido a uma demanda crescente, enquanto que o departamento de vendas vem quebrando recordes de vendas todos os anos. O crescimento anual da empresa tem girado na casa dos 10%, e a consistência e solidez dos resultados obtidos rendeu à filial brasileira um prêmio de reconhecimento da matriz como a melhor operação mundial da empresa no ano de 2007. Sem os projetos de melhoria contínua, a fábrica não teria conseguido os resultados que atingiu.

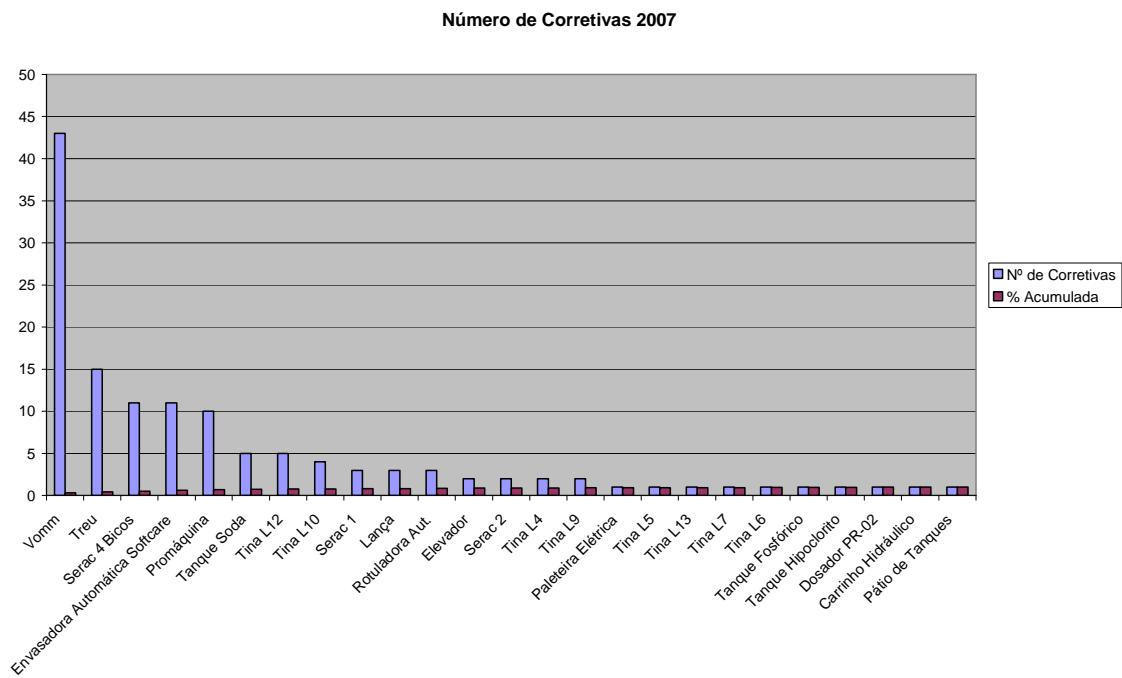
## 1.2 Formulação do Problema

Um dos principais projetos a ser focado no próximo ano pela área de manufatura se dá em torno da questão da manutenção. É de interesse da empresa que se desenvolva um projeto para reduzir o tempo de parada de produção devido a quebras de máquinas, visto que a matriz exige resultados cada vez mais agressivos da empresa e, ao mesmo tempo, não são feitos investimentos em novos equipamentos para aumentar a produção. Dessa forma, a utilização ao máximo do tempo de produção disponível passa a ser vital para que se obtenham os resultados esperados. Com isso foi iniciado um estudo voltado à possibilidade de implantação de técnicas do TPM (*Total Productive Maintenance*), como a manutenção autônoma por parte dos operadores dos equipamentos, treinamento dos técnicos e operadores e planejamento da manutenção na busca de um melhor desempenho dos equipamentos, aumentando-se a eficiência da produção diária da fábrica.

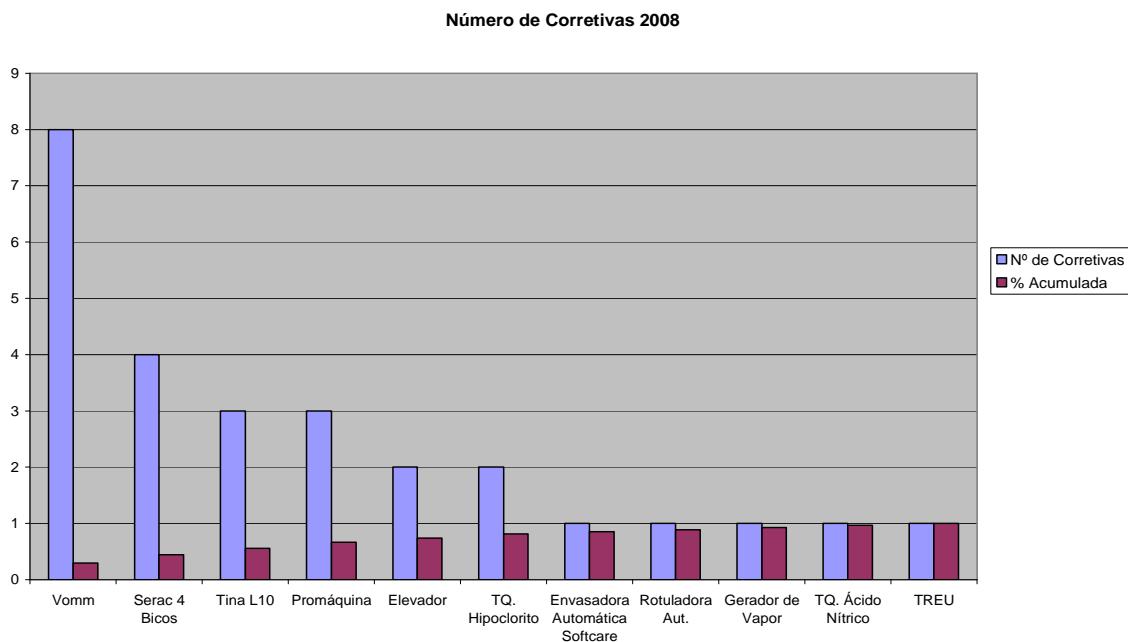
Como primeira etapa desse estudo, foi feito um levantamento sobre os tipos de manutenção aplicados atualmente na planta da empresa. Foi constatado que são realizadas tarefas de manutenção preventiva e, principalmente de manutenção corretiva. Na realidade, a manutenção chamada de preventiva na empresa atualmente não passa de um *checklist* em que os manutentores se utilizam dos seus sentidos para analisar se há, aparentemente, algum problema no equipamento. A grande maioria das intervenções são de caráter corretivo, ou seja, correções de falhas nos equipamentos quando estas são detectadas, com necessidade de paradas na produção, o que vai em oposição ao que se pretende, que é o aumento da disponibilidade para a produção. Ao fazer essa análise, ficou óbvio que a empresa é hoje refém da manutenção corretiva, e que falta um planejamento da manutenção que envolva não somente esse departamento, mas também o departamento de programação da produção. A aplicação de manutenção preventiva, que tem o intuito de evitar que as falhas cheguem a ocorrer, parece ser um primeiro passo rumo ao objetivo principal. Entretanto, a aplicação desse tipo de manutenção presume paradas programadas na linha de produção, e uma crítica recorrente na literatura é o fato de que não se sabe exatamente quando programar essas paradas, como explicado por Kardec e Nascif (2001). Ao mesmo tempo que o intervalo entre paradas programadas de manutenção em um determinado equipamento pode ser exagerado, deixando o mesmo sujeito à ocorrência de

falhas e realização de manutenções corretivas, mais custosas para a empresa, ele também pode ser desnecessariamente muito curto, fazendo com que manutentores troquem peças que ainda estão com desempenho satisfatório. Assim, cria-se o desafio de encontrar qual o intervalo entre as paradas para intervenções preventivas ideal para que a disponibilidade do equipamento seja a maior possível.

O passo seguinte foi o levantamento de quais seriam os equipamentos mais críticos em relação à manutenção. O resultado surpreendeu, pois o Vomm, equipamento utilizado na produção de pós soprados apresentou uma grande disparidade no número de corretivas registradas em relação aos demais equipamentos da fábrica. Os gráficos de Pareto representados nas Figuras 1.1 e 1.2, para os anos de 2007 e os primeiros meses de 2008 mostram essa realidade:

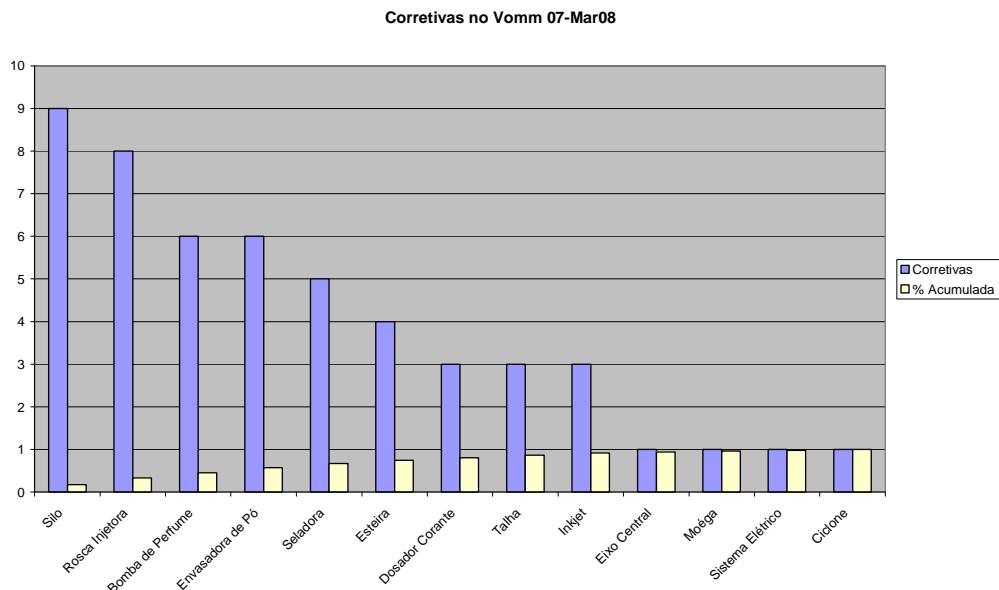


**Figura 1.1: Número de intervenções corretivas nos equipamentos no ano de 2007**



**Figura 1.2: Número de intervenções corretivas nos equipamentos nos primeiros meses do ano de 2008**

Podemos notar que, num total de 158 intervenções corretivas realizadas no intervalo estudado, 51 foram feitas somente no Vomm, o que dá um total de 32% de todas as manutenções corretivas realizadas desde o início de 2007. A distribuição dessas intervenções por tipo de peça deste equipamento é mostrada pela Figura 1.3.



**Figura 1.3: Distribuição das intervenções corretivas realizadas no Vomm em suas peças**

Entretanto, o simples fato de se realizar mais manutenções corretivas nesse equipamento ainda não caracterizava um argumento forte o suficiente para, por si só, justificar o Vomm como o equipamento a ser focado em primeiro lugar. Assim, foi iniciada uma discussão em relação à relevância do Vomm para a produção da empresa, e dos produtos nele feitos para as vendas e o resultado da companhia.

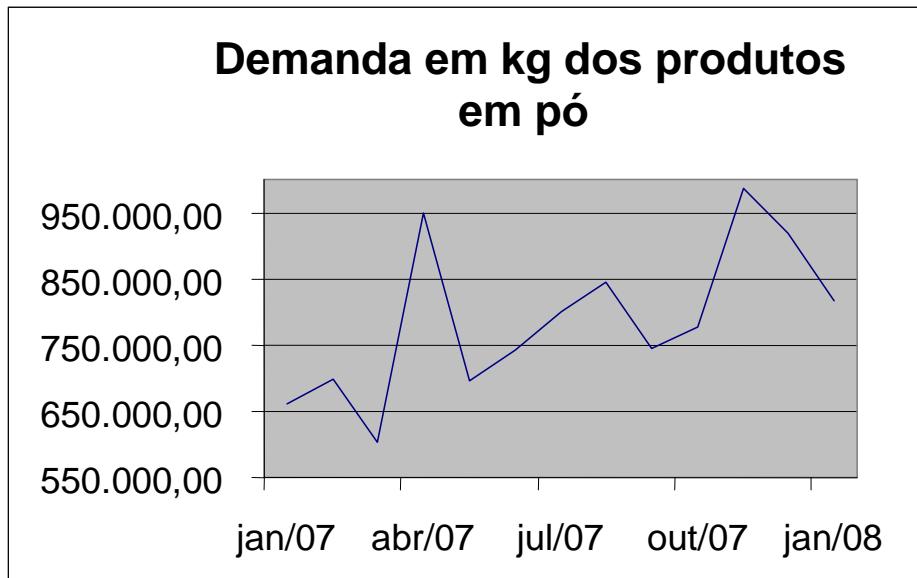
O *portfólio* de produtos produzidos no Vomm atende exclusivamente à área de LEM. Esses produtos atendem principalmente grandes redes de supermercados e atacadistas, e são sabões e detergentes em pó em versões institucionais (sacos de 5, 7 e 10kg). A área de LEM trabalha com 50 itens, sendo que 6 deles são os produtos produzidos no Vomm. Apesar do baixo número de itens, o volume produzido no Vomm é altamente representativo. A produção mensal média na fábrica gira atualmente em torno de 5500 toneladas de produtos. Somente o Vomm responde por, em média, 1100 toneladas mensalmente. Ou seja, o volume do Vomm representa cerca de 20% do volume total produzido na fábrica. Dessa forma, o equipamento ajuda muito na redução do custo total de fabricação que é calculado como o quociente entre o custo total de produção e o volume total produzido. Esse indicador é periodicamente reportado à matriz.

A área de LEM tem tido crescimento em volume faturado muito maior que as outras áreas da empresa, que comercializam exclusivamente produtos de marca JohnsonDiversey, e assim a sua participação no total faturado da empresa tem aumentado, como indicado na Tabela 1.1.

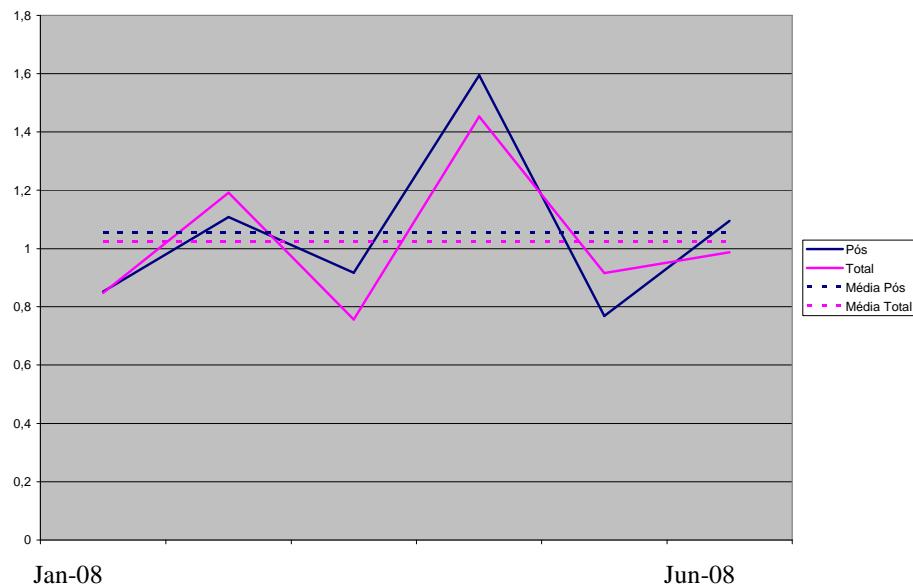
	<b>Fevereiro</b>	<b>Março</b>	<b>Abril</b>	<b>Maio</b>
JohnsonDiversey (crescimento em volume 07x08)	30,98%	1,27%	22,16%	36,11%
LEM (crescimento em volume 07x08)	31,83%	33,43%	75,01%	61,95%
Representatividade LEM x JD (2007)	31,27%	29,17%	28,89%	32,85%
Representatividade LEM x JD (2008)	31,48%	38,44%	41,89%	39,09%

**Tabela 1.1: Crescimento e representatividade de LEM nas vendas da empresa**

A Figura 1.4 retrata a variação da demanda pelos produtos em pó produzidos pelo Vomm entre os anos de 2007 e 2008. Já a Figura 1.5 nos mostra como foi o crescimento em volume faturado desses produtos, comparando-os com os outros produtos do *portfólio* da empresa, no período entre janeiro e junho de 2008, sendo os valores acima de 1 representando uma variação positiva e os valores abaixo de 1 representando uma queda no volume faturado.



**Figura 1.4: Variação da demanda dos produtos fabricados no Vomm**



**Figura 1.5: Variação do volume faturado dos produtos fabricados no Vomm x outros produtos do portfólio JD**

Como podemos notar, a demanda pelos produtos fabricados no equipamento vem crescendo, e a variação no volume dos produtos em pó foi maior do que a variação no volume

faturado total da companhia, com ambos os volumes faturados crescendo, pois suas linhas médias estão acima do índice 1 no gráfico da Figura 1.5.

O grande crescimento da área e da demanda por produtos em pó nos levou a estudar se o equipamento se tratava de um gargalo importante. Uma análise na capacidade produtiva desse equipamento para o período de novembro de 2007 até maio de 2008 revelou então que a capacidade produtiva do mesmo não consegue atender às demandas mensais. A previsão das necessidades anuais de capacidade produtiva requisitada ao equipamento também indica que trata-se de um gargalo. As Tabelas 1.2 e 1.3 trazem os dados que indicam que há necessidade de se produzir mais nesse equipamento.

Mês	Necessidade
nov/07	152%
dez/07	164%
jan/08	113%
fev/08	115%
mar/08	107%
abr/08	114%
mai/08	150%

**Tabela 1.2: Necessidades mensais de capacidade produtiva do Vomm**

Ano	Necessidade
2008	116%
2009	127%
2010	140%

**Tabela 1.3: Previsão das necessidades anuais de capacidade produtiva no Vomm**

Fazendo uma comparação com a necessidade de capacidade em outros equipamentos em que se prevê que haverá escassez de capacidade nos próximos anos, concluímos que o Vomm realmente deve ser considerado como um gargalo relevante à produção da empresa. Todos esses equipamentos são reatores que produzem produtos líquidos (representados pela letra L). A Tabela 1.4 traz esses resultados.

Equipamento	Capacidade Usada		
	2008	2009	2010
Vomm	116%	127%	140%
L-14	107%	118%	129%
L-9	94%	104%	114%
L-2	91%	100%	110%

**Tabela 1.4: Comparação da capacidade utilizada Vomm x equipamentos com estouro de capacidade**

Além disso, esse é o único equipamento que trabalha em regime constante, ou seja, em fluxo contínuo, durante dois turnos de produção. Mesmo assim, não consegue suprir a demanda. A hipótese de realizar um terceiro turno está descartada, devido à lei de zoneamento, que não autoriza o turno durante a madrugada na região onde a fábrica está instalada. Assim, reduzir o tempo de paradas por manutenção torna-se crítico para o aumento da eficiência nesse gargalo. Deve-se ressaltar também um outro fato de extrema relevância nessa análise. O Vomm é o único equipamento da planta que pode produzir seus produtos. Enquanto nos equipamentos da planta de produtos líquidos muitas vezes é possível produzir um determinado produto em diversos reatores diferentes, isso não é possível no Vomm, o que o torna um equipamento único dentre os diversos presentes na planta. Tudo isso reforça de forma significativa a importância de um melhor aproveitamento desse gargalo.

Foi feita também uma análise do OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) do equipamento, conforme definido por Nakajima (1989), para verificar onde se encontram as principais perdas no equipamento. Essa análise foi feita com os dados do apontamento de produção do mês de abril de 2008, e os cálculos dos índices serão explicados no capítulo 3. A capacidade de produção é de 11 sacos por minuto, e foram produzidos 190550 sacos num mês de 24 dias produtivos. O resultado obtido para o OEE foi de 0,85. A análise desse índice indicará que as perdas por defeito no produto são mínimas, enquanto as perdas por parada somam 3,6% e as perdas por velocidade somam 11% de um total de 15% de perdas total na eficiência do equipamento.

A princípio, as perdas por velocidade parecem ser muito mais importantes que aquelas verificadas por parada de máquina. Entretanto, esse tipo de perda é muito difícil de ser evitado, visto que são causadas pela própria operação do equipamento (que será melhor detalhada mais adiante nesse capítulo). Pelo fato do envase do produto ser feito de maneira manual, e de não depender de somente um único operador, a velocidade do equipamento em si acaba dependendo

da velocidade dos operadores que se revezem na operação da máquina. Evidentemente, cada operador não tem o mesmo ritmo de outro, nem consegue manter o mesmo ritmo durante todo seu turno de trabalho. Isso acaba gerando essas perdas de velocidade, que transparecem no OEE. Para alcançar uma maior eficiência de produção, ambos tipos de perdas devem ser melhor controlados. O trabalho de redução das quebras no equipamento visa combater especialmente as perdas por parada.

### 1.3 O equipamento e sua operação

O Vomm é um equipamento que faz, basicamente, a mistura de três matérias-primas para a composição de um produto acabado final em pó. As matérias-primas são a base, a barrilha e o sal. O equipamento é bem grande, constituindo uma planta em três níveis. No nível mais alto, um operador, com o auxílio de uma talha elétrica, iça os *big bags* das matérias-primas, os movimenta e os posiciona sobre as moegas. Existem três moegas, uma para cada matéria-prima, que têm a função de distribuir, através de vibração, essas matérias-primas sobre esteiras ou roscas que as levarão ao misturador. A velocidade dessas esteiras e roscas é crítica ao processo, pois são elas que definem a quantidade de cada matéria-prima no produto final, garantindo sua especificação de composição.

As esteiras e roscas que recebem as matérias-primas na dosagem certa as encaminha, então, ao segundo nível, onde as mesmas são misturadas dentro do misturador e, posteriormente, podem ser borrifadas por perfume. Durante esse percurso, caso o produto final use corante, existe um dosador de corante, que o despeja sobre as esteiras para misturá-lo às matérias-primas. Dentro do misturador existe uma rosca sem fim, que faz a mistura e a carrega para a próxima etapa, que é a de envase. Uma variável importante para o misturador é a troca de calor. Caso essa troca não seja eficiente, o pó pode grudar nas paredes do misturador, emperrando a rosca e demandando manutenção. Já na saída dessa etapa, existe uma bomba de perfume que o borrifa sobre o pó misturado, caso o produto final seja perfumado.

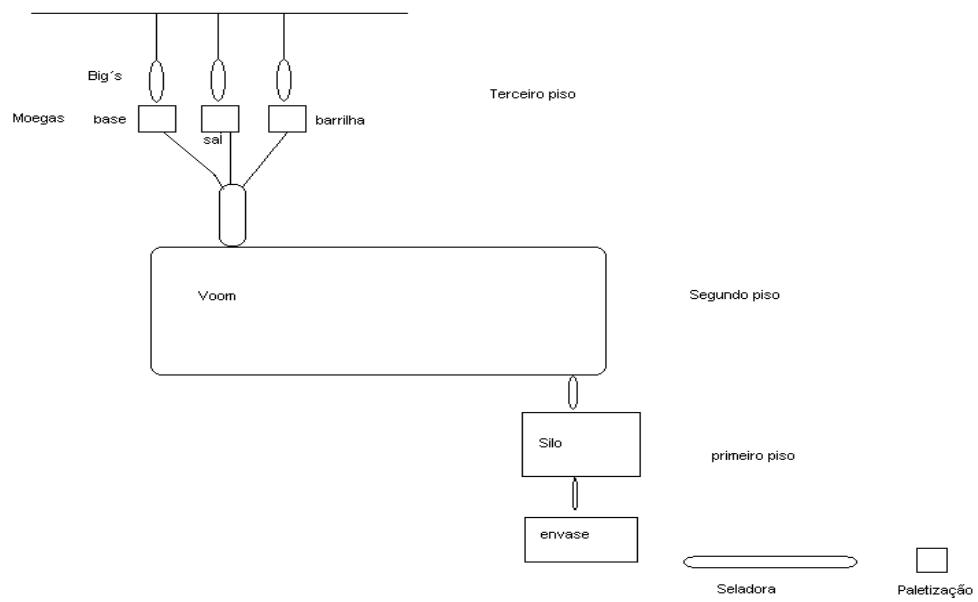
A terceira e última etapa é a do envase, que ocorre no primeiro piso. O pó que sai do misturador é destinado a um silo de envase, que tem duas bocas. Cada uma dessas bocas é uma linha de envase, com três operadores em cada. Na primeira linha, completamente manual, um

operador realiza as tarefas de pegar um saco, colocá-lo embaixo da boca sobre uma balança e, com o acionamento de uma alavanca, abrí-la até que o peso total para um saco de pó despejado seja atingido. Em seguida, uma esteira leva o saco até um próximo operador, que retira o ar de dentro do mesmo e o sela. O terceiro operador, na ponta da esteira, tem a tarefa de realizar a paletização dos sacos. A segunda linha funciona exatamente da mesma maneira, com exceção à operação de pesagem, que é feita de forma automatizada. Assim, o primeiro operador somente posiciona o saco sob a boca, e o equipamento automatizado libera a quantidade certa de pó para encher o saco. Existe ainda um detalhe que é o da existência de dois equipamentos chamados *inkjet*, um para cada linha, que servem para marcar a validade e o lote do produto no saco. Esse equipamento está posicionado entre o segundo e o terceiro operadores e tem um sensor. Ao ser transportado pela esteira e ser detectado, o saco é marcado pelo aparelho, que solta um jato de tinta, estampando as informações sobre o saco.

Outras variáveis que são importantes no processo são as características físicas das matérias-primas e o teor de princípio ativo presente na base. A primeira é relevante pois, muitas vezes, as matérias-primas vêm empedradas. Isso pode ocasionar o entupimento da saída de uma determinada moega, o que causa uma mistura errada das matérias-primas no produto final. Já o teor do princípio ativo é importante pois, dependendo desse teor, a velocidade das esteiras deve ser regulada, garantindo uma mistura dentro das especificações.

Os produtos fora de especificação são facilmente detectados, pois uma mistura incorreta causa variação na densidade do produto. Assim, quando o produto está fora de especificação acaba por encher muito pouco um saco ou transbordá-lo até que se atinja o peso necessário. Desse modo, quando isso ocorre, esse produto é reprocessado, sendo jogado diretamente dentro do misturador. Uma consulta ao departamento de qualidade esclareceu que não há registros de reprovação dos produtos em pó na empresa. Mesmo assim, os mesmos são analisados pelo laboratório de qualidade.

A Figura 1.6 traz um esquema representativo do Vomm.



**Figura 1.6: Esquema representativo do Vomm**

## 1.4 O Estudo proposto e sua relevância

As seções anteriores justificam a importância de se realizar um trabalho em cima do tema manutenção, com o objetivo de conseguir aumentar o tempo disponível de máquina para produção, tempo esse cada dia mais precioso para a empresa conseguir atingir suas metas, a cada ano mais agressivas. O crescimento anual médio acentuado da empresa pressupõe que a operação de manufatura consiga produzir o que o departamento de vendas consegue expandir em vendas. Entretanto, na falta de investimentos na fábrica para aquisição de novos equipamentos que acrescentem mais capacidade produtiva, medidas de redução das perdas existentes na planta atual se mostram o caminho mais lógico para que a fábrica consiga acompanhar a expansão de vendas. Dessa forma, o projeto de melhoria dos processos de manutenção com o objetivo de redução dos tempos de máquina parada e consequente aumento de volume de produção se mostra como uma questão de grande relevância à empresa. O Vomm foi apresentado como o equipamento no qual se pretende realizar o estudo. Mostrou-se que essa máquina é um gargalo para a empresa, visto que tem sua capacidade de produção inferior à demanda, mesmo sendo o único equipamento que trabalha em regime contínuo em dois turnos na empresa. Como a demanda apresenta uma tendência histórica de crescimento, na falta de investimentos, a necessidade de capacidade de produção adicional tende a priorar cada vez mais. Mais ainda, esse equipamento chama a atenção pela disparidade de manutenções corretivas realizadas quando comparados a outras máquinas da fábrica. Tudo isso indica que o Vomm deve ser o primeiro a ser tratado dentro de um projeto amplo de excelência em manutenção.

Desse modo, propõe-se um estudo de implantação de um sistema de manutenção preventiva programada nesse equipamento, que passaria a ser predominante sobre as manutenções corretivas. Uma política de manutenção preventiva será criada para levar o equipamento da situação atual, onde muitas falhas e posteriores intervenções corretivas são realizadas, a uma outra situação, onde falhas que poderiam ser evitadas através de inspeções preventivas tenderão a diminuir significativamente. Por se tratar de um equipamento gargalo, que deve ser parado o menor tempo possível, deve-se encontrar qual o intervalo entre paradas que fornece a maior disponibilidade da máquina para a produção. Essas paradas deverão ser previstas no plano de produção. Para isso, serão feitas simulações de Monte Carlo para simular a

ocorrência de quebras e a execução de reparos seguindo distribuições de probabilidade que se adequam à realidade histórica de quebras e reparos efetuados no Vomm. Assim, será possível simular o comportamento do equipamento na situação que antecede a aplicação da política de manutenção preventiva e em possíveis cenários posteriores à sua aplicação, comparando resultados e estimando-se os ganhos com o projeto.

## **1.5 Estrutura do trabalho**

O primeiro capítulo trouxe uma introdução sobre a empresa, sua história e seu negócio, destacando as linhas de produtos e segmentos de mercados atendidos. Também abordou o problema enfrentado, que é o de se buscar um aumento da disponibilidade de um equipamento que é um gargalo importante, com demanda crescente e com alta incidência de intervenções de caráter corretivo, uma vez que não existe uma programação por parte do planejamento de produção para execução de manutenções preventivas.

O segundo capítulo fará uma revisão bibliográfica da literatura que traga teoria e ferramentas aplicáveis para a resolução do problema. Com isso, procura-se obter um embasamento teórico e metodológico para o trabalho.

O terceiro capítulo aborda o levantamento de dados coletados na empresa, assim como o desenvolvimento do trabalho em si. São apresentadas as distribuições de probabilidade que melhor se adequam aos tempos entre falhas e tempos de reparo, obtidas com o auxílio do software estatístico Minitab. A partir dessas distribuições as simulações poderão ser alimentadas para gerar os resultados a serem examinados e comparados.

No quarto capítulo será delineada a política de manutenção preventiva a ser aplicada no Vomm, abordando-se os procedimentos a serem realizados sempre que uma parada para manutenção preventiva for realizada.

O quinto e último capítulo abordará os resultados obtidos com a simulação computacional, analisando os ganhos obtidos com esse trabalho.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Manutenção e Disponibilidade

A literatura traz várias definições para o conceito de manutenção, sendo que a maioria delas são relacionadas ao conceito de disponibilidade.

Segundo Kelly (1980) apud Vaz (2003), a “função da manutenção consiste em controlar a disponibilidade da fábrica”.

Para Cavalcante (1998) apud Vaz (2003), o objetivo básico da manutenção deve ser o de “garantir a continuidade operacional da planta, maximizando a disponibilidade e a confiabilidade dos equipamentos e das instalações industriais, ao menor custo possível e preservando a integridade do homem e do meio ambiente”.

Kardec e Nascif (2001) dizem que a missão da manutenção é “garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção ou de serviço, com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custos adequados”. Destacam que a manutenção é uma função estratégica dentro da empresa e que, para isso, deve ser voltada para os resultados empresariais da organização. Segundo estes autores, atualmente a função manutenção precisa ser não somente eficiente (reparar rápido o equipamento ou instalação), mas também eficaz, mantendo a disponibilidade do equipamento e evitando paradas.

Vaz (2003), em sua dissertação de mestrado, trata a manutenção como uma função de apoio à produção. O autor trata a manutenção como a “reunião de recursos destinados a assegurar a disponibilidade operacional dos equipamentos e instalações da função produção”. O mesmo autor disserta sobre a atualidade, em que as organizações estão dirigindo cada vez mais atenção à função manutenção. A disputa entre organizações se acirra em diversos campos. Um primeiro campo a ser considerado é o dos custos, em que a gestão dos ativos fixos responde por uma parcela significativa dos custos da operação. O advento de novas tecnologias na produção elevou os custos de sistemas e equipamentos, o que implica na necessidade de maximizar a utilização destes ativos. Ao mesmo tempo, paradas para a realização de longos reparos vêm sendo cada vez

menos toleradas. O segundo campo a considerar é o da qualidade. A manutenção diz cada vez mais respeito à qualidade dos produtos por ser definida em função da qualidade dos equipamentos e processos produtivos. O mesmo autor chama atenção para a correlação entre a manutenção e a rentabilidade do negócio, visto que “a manutenção influencia na capacidade de produção e nos custos operacionais”. Os processos estão cada vez mais automatizados, os custos de parada cada vez maiores e a qualidade dos produtos finais cada vez mais dependente do bom funcionamento do processo produtivo. Portanto, ao mesmo tempo que a função manutenção é cada vez mais crítica ao processo, ela também está mais sofisticada e cara. É necessário encontrar o equilíbrio entre a rentabilidade que ela proporciona ao negócio e os custos que são decorrentes dela.

Após todas essas definições, podemos resumir manutenção como a função que tem como objetivo garantir a disponibilidade dos equipamentos produtivos, ao menor custo possível. Aqui, é importante diferenciar manutenção como função e como processo. Slack (1997) faz essa diferenciação classificando manutenção como função a parte da organização que produz os serviços para assegurar a disponibilidade dos equipamentos. Segundo o mesmo autor, manutenção como processo consiste na transformação de recursos para gerar a disponibilidade para seu cliente interno, a função produção. Ou seja, trata-se da intervenção de manutenção propriamente dita.

As atividades de manutenção, segundo Lima (1992) apud Vaz (2003), estão baseadas principalmente em conservação (que incluem atividades básicas como lubrificação, calibrações e limpeza), testes de desempenho de equipamentos, inspeção, restauração e reparo.

A literatura ainda divide manutenção em diversos tipos de atuação, também chamadas de políticas de manutenção. Todos eles visam ações centradas em reparação ou prevenção de falhas, que podem ser definidas como a perda total ou parcial da capacidade de um determinado componente ou equipamento de realizar a função que dele se espera. Kardec e Nascif (2001) classificam os tipos de manutenção conforme seguem:

- Manutenção Corretiva: Segundo os autores, esse tipo de manutenção “é a atuação para a correção da falha ou do desempenho menor que o esperado”. Não necessariamente trata-se de manutenção de emergência, pois a atuação pode ocorrer após o acompanhamento de variáveis

operacionais que indiquem a necessidade de intervenção. Esse tipo de manutenção pode, portanto, ser dividido em outros dois tipos:

- Manutenção Corretiva Não Planejada: É aquela em que a intervenção é feita para corrigir uma falha que já ocorreu. Podemos afirmar que esse é o pior tipo de manutenção, uma vez que geralmente incorre em altos custos devido a perdas na produção e na qualidade no produto, além dos custos indiretos de manutenção e de mão-de-obra incorridos. Além disso, em empresas que trabalham em sistema de fluxo contínuo, a ocorrência desse tipo de falha pode provocar falhas em outros equipamentos que estavam com desempenho satisfatório, além de causar grandes prejuízos devido à necessidade de parada de equipamento, que acaba afetando a produção como um todo. Durante o desenvolvimento desse trabalho de formatura, notaremos que, atualmente, a JohnsonDiversey trabalha num esquema em que é refém desse tipo de manutenção.
- Manutenção Corretiva Planejada: Esse tipo de manutenção está diretamente relacionado com a manutenção preditiva e envolve uma decisão gerencial de intervenção para correção de uma falha ou de desempenho menor que o esperado. Pode também estar relacionado com uma decisão de se operar até a quebra. Em ambos os casos, devido ao fato de ser planejada, essa manutenção tem impacto e custo menor que no caso da manutenção corretiva não planejada. Quando a empresa opta por uma política de operar até quebrar, kits de reposição podem ser preparados anteriormente, reduzindo assim o tempo necessário para a intervenção corretiva.
- Manutenção Preventiva: “É a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo”. Esse tipo de manutenção visa prevenir a ocorrência de falhas e é especialmente importante em determinados setores, onde a questão da segurança é primordial e a ocorrência de falhas pode levar a ferimentos ou mesmo à morte, e em setores em que há grande risco de contaminação do meio ambiente em caso de ocorrência de falhas. Também deve ser considerada a situação em que os custos de uma manutenção corretiva são muito altos e justificam a adoção desse tipo de manutenção. Evidentemente, a questão da definição temporal sobre quando atuar é fundamental, pois dependendo do intervalo adotado para

atuação, pode-se levar à ocorrência de falhas antes do previsto pelos manutentores, ou trocas de componentes de forma prematura. Não se deve esquecer também que haverá sempre a possibilidade de ocorrência de falhas entre cada parada para manutenção preventiva, gerando a necessidade de uma intervenção corretiva. Alguns outros autores, como Baldin (1982) apud Vaz (2003), classificam esse tipo de manutenção como “substituição de componentes antigos por novos, baseando-se no fato de que o original funcionou por um determinado número de horas, ainda que de forma perfeita”. Deve-se ressaltar que o exagerado número de intervenções preventivas, que levam a paradas no equipamento, pode ter impacto significativo na disponibilidade do mesmo. A análise desse efeito será feita no decorrer desse trabalho. A definição dada pelos autores vai totalmente de encontro com os objetivos desse trabalho, que são a criação de uma política de manutenção preventiva para o Vomm, incluindo os procedimentos a serem seguidos, além da realização de uma simulação de Monte Carlo para encontrar o melhor intervalo entre as paradas, de forma a obter máxima disponibilidade ao menor custo possível.

- Manutenção Preditiva: “é a atuação realizada com base em modificação de parâmetro de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática”. Trata-se do acompanhamento de variáveis que são o parâmetro para a decisão de uma intervenção corretiva planejada. Sempre que a variável de acompanhamento atinja um determinado valor ou comportamento em que, previamente se havia decidido que seria o gatilho para a realização de uma intervenção, a mesma deverá ocorrer. Com isso, possibilita-se a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível pois, ao contrário da manutenção preventiva, não são necessárias paradas para inspeção do equipamento. Evidentemente, esse tipo de manutenção somente pode ser aplicado quando existe a possibilidade de algum tipo de monitoramento ou medição, e que os custos de tais ações compensem.
- Manutenção Detectiva: “é a atuação efetuada em sistemas de proteção buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção”. Esse tipo de manutenção está mais voltado a sistemas de proteção que devem agir sempre que necessário de forma imediata. Cada vez mais, as plantas estão sendo controladas por componentes eletrônicos e, por isso, desde 1990 passou-se a falar na importância desse tipo de manutenção. Trata-se de testes efetuados por pessoal treinado da manutenção para verificar o desempenho dos sistemas de proteção em determinadas situações e corrigir eventuais falhas.

- Engenharia de Manutenção: Para que a função de manutenção atinja esse nível deve-se, acima de tudo, promover uma mudança cultural dentro da empresa, segundo os autores. “engenharia de manutenção significa perseguir *benchmarks*, aplicar técnicas modernas, estar nivelado com a manutenção do primeiro mundo. É deixar de ficar consertando continuamente, para procurar as causas básicas, modificar situações permanentes de mau desempenho, deixar de conviver com problemas crônicos, melhorar padrões e sistemáticas, desenvolver a manutenibilidade, dar feedback ao projeto, interferir tecnicamente nas compras”. Esse tipo de manutenção somente pode ser atingido caso haja uma política da empresa em que a direção reconheça os benefícios que a manutenção pode trazer ao processo produtivo, e quando investimentos forem feitos para chegar a um estágio confortável em relação à manutenção, em que não se atua mais sobre as falhas, mas sim faz-se uma série de estudos para chegar à origem das mesmas e atua-se para minimizar sua ocorrência. Trata-se de uma política ideal de melhoria contínua.

Nas definições de manutenção, falou-se muito em disponibilidade. Podemos definir disponibilidade como um indicador dos resultados obtidos pela função manutenção em seus serviços prestados a seu cliente interno, a função produção. É a capacidade de um equipamento estar em condições de exercitar uma certa função em um instante ou determinado intervalo de tempo. É o grau em que a produção está pronta para funcionar. Ela contribui diretamente na produtividade, pois um aumento de disponibilidade permite que se produza mais com os mesmos recursos. A disponibilidade (D) pode ser calculada da seguinte maneira:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

O MTBF (*mean time between failures*) é um indicador de confiabilidade do equipamento. Vaz (2003) o define como a probabilidade de um equipamento não falhar, considerando a agressividade do ambiente e os limites especificados em projeto, num determinado período de tempo. Kardec e Nascif (2001) definem confiabilidade como “a probabilidade que um item possa

desempenhar sua função requerida, por um intervalo de tempo estabelecido, sob condições definidas de uso”. Taxa de falhas é igual ao inverso do MTBF e, em geral, segue a curva da banheira, que é definida por três fases marcantes: a mortalidade infantil, em que há grande número de falhas devido a defeitos de fabricação de componentes e erros de projeto; a vida útil, em que a taxa de falhas cai de forma sensível e tende a ficar constante; e a fase de desgaste, em que a taxa de falhas volta novamente a subir devido ao desgaste natural do equipamento e seus componentes.

O MTTR (*mean time to repair*) é um indicador de manutenibilidade, definido por Vaz (2003) como a probabilidade de se restabelecer as condições operacionais de um equipamento em um determinado período de tempo. Kardec e Nascif (2001) conceituam manutenibilidade como “a característica de um equipamento ou instalação permitir um maior ou menor grau de facilidade na execução dos serviços de manutenção”. O comportamento do MTTR costuma seguir uma linha de aprendizado. Na medida em que os reparos vão sendo efetuados, o tempo para a realização dos mesmos tende a cair exponencialmente, devido ao aprendizado das técnicas necessárias por parte do manutentor. Segundo Vaz (2003), em linhas gerais o tempo de reparo pode ser desmembrado no tempo consumido para diagnosticar a falha, no tempo consumido em seu reparo, e no tempo consumido para se fazer o acompanhamento e controle do reparo.

Vaz (2003) aponta fatores que impactam no MTBF e no MTTR durante a vida operacional do equipamento. A Tabela 2.1 faz uma adaptação desses fatores.

Fator	Impactam sobre MTBF	Impactam sobre MTTR
Operação	Velocidade acima das especificações do projeto	Demora na liberação da máquina para a manutenção
Manutenção	Reparos mal executados/falta de manutenção preventiva	Falta de planejamento da manutenção e de suprimento de materiais
Modificações de projeto	Alterações das especificações de componentes	Alterações das condições de acesso. Especificações de materiais não compatíveis com o mercado fornecedor

**Tabela 2.1: Fatores que impactam no MTBF e MTTR**

Para se atingir o objetivo de melhoria na disponibilidade, um dos objetivos do estudo que será realizado, é preciso agir sobre estes e outros diversos fatores que impactam o MTBF e o MTTR. Kardec e Nascif (2001), afirmam que “a manutenção existe hoje para que não exista manutenção”, com foco em evitar falhas. Essa frase exprime que a disponibilidade somente pode ser maximizada, acarretando em aumento de produtividade e trazendo maior lucro às empresas,

caso a confiabilidade dos equipamentos seja tal que a ocorrência de falhas seja muito baixa e que, sempre quando for necessário intervir, que isso seja feito da maneira mais rápida possível para liberar novamente o equipamento para produção. Vaz (2003) sugere uma série de ações para a melhoria da confiabilidade. Entre elas, destacamos o uso de diagrama de Pareto para priorização de ações, uso de diagramas de causa e efeito para auxílio na busca das causas das falhas, e o uso de peças com confiabilidade comprovada. Kardec e Nascif (2001) sugerem a adoção de boas práticas de manutenção e uso de técnicas de manutenção centrada em confiabilidade.

Para a melhoria da manutenibilidade, Vaz (2003) sugere que sejam feitas melhorias nos projetos do equipamento, de modo a facilitar o acesso a pontos de manutenção. Kardec e Nascif (2001) concordam com essa opinião, e reforçam que, juntamente com essas melhorias, o pessoal da manutenção deve ser capacitado. Ambos os autores citados sugerem a adoção da prática de FMEA (*Failure Mode and Affect Analysis*) para obtenção de melhorias na fase de projeto. Kardec e Nascif (2001) sugerem que, junto com a análise dos módulos e efeitos de falhas seja realizada uma análise das causas raízes de falhas. Para melhoria do MTTR, Vaz (2003) sugere que seja feito um estudo de tempos e métodos.

Durante o desenvolvimento desse trabalho, foram utilizados diversas vezes os conceitos de MTBF e MTTR. O primeiro para considerar a média do “tempo entre falhas” e o segundo para a média do “tempo de reparo”.

## 2.2 Manutenção Produtiva Total

O TPM (*Total Productive Maintenance*), ou MPT (*Manutenção Produtiva Total*) é uma abordagem relativamente recente de gestão da manutenção. É oriunda da manutenção preventiva, que surgiu na década de 50 e que foi evoluindo, em direção à prevenção da manutenção, que promove a realização de melhorias nos projetos de maneira a atingir idealmente a não necessidade de manutenção, aprimorando sua confiabilidade e manutenibilidade.

A implementação do TPM em uma empresa significa uma revolução na maneira de se fazer a manutenção. O TPM pressupõe o envolvimento de todos na empresa com o objetivo da melhoria da eficiência global. Todos, operadores, manutentores, técnicos e pessoal administrativo devem ser envolvidos, em pequenos grupos, nessa tarefa. Vaz (2003), afirma que “as atividades

de TPM não fornecem apenas técnicas de manutenção preventiva (MP), mas também encerram uma filosofia de MP e de sua aplicação no aprimoramento do ambiente de trabalho. As novas atividades de MP envolvem todos os membros da empresa e seu impacto revolucionário começa com mudanças na fábrica, na consciência das pessoas e no ambiente de trabalho, com o propósito de reformular a estrutura da empresa e gerar lucros maiores a partir da análise de indicadores de desempenho”. Dessa maneira, treinamento e capacitação do pessoal passam a ser uma necessidade básica e um objetivo da metodologia.

A metodologia do TPM está baseada em oito pilares de sustentação. Kardec e Nascif (2001) os resumem em:

- Melhoria focada: Busca de redução de problemas como vibração, ruído, interrupções, tempos de parada e custo para o aumento de indicadores de desempenho como rendimento, confiabilidade e disponibilidade;
- Manutenção autônoma: Esse pilar traz a idéia de reforçar a questão de dono do processo. Os operadores, como donos de seu processo produtivo, devem assumir maior responsabilidade sobre seu equipamento, tendo autonomia para executar um primeiro nível de manutenção em atividades como lubrificação, pequenos ajustes, limpeza, inspeções e trocas de componentes. Para isso, devem utilizar-se de seus 5 sentidos. São também encorajados a participar em análises e soluções de problemas. Dessa forma, os manutentores são liberados para realizar trabalhos mais complexos, como intervenções nas quais os operadores não têm capacidade de atuar e executar aprimoramentos nos processos de manutenção, baseados em estudos que visam a atacar as causas das falhas;
- Manutenção Planejada: Criação de um sistema de planejamento, programação e controle da manutenção;
- Educação e Treinamento: Capacitação técnica, gerencial e comportamental do pessoal de manutenção e operação, que são os principais envolvidos no processo de manutenção;

- Controle Inicial: Criação de um sistema de gerenciamento da fase inicial de novos projetos e produtos, com o objetivo de exterminar as falhas na fase de projeto, seguindo a filosofia de prevenção da manutenção;
- Manutenção da Qualidade: Programa de zero defeito, com foco nas condições do equipamento;
- TPM Office: Aumento da eficiência nas áreas administrativas, com a criação de uma programa de TPM para elas;
- Segurança: Estabelecimento de um sistema de saúde, segurança e meio ambiente integrado à função de manutenção.

Com o TPM, busca-se a integração total entre homem, máquina, empresa e produto. Com isso, busca-se atingir o estágio ideal de “quebra zero”. A idéia é de que a máquina não pode parar durante o período em que estava programada para produzir. Para Souza (2007) as quebras são falhas que são visíveis mas que são originadas por uma série de outras falhas, invisíveis. Ao conscientizar operadores e manutentores da necessidade de combater as falhas invisíveis, as quebras deixarão de existir. O mesmo autor faz a distinção entre quebra zero, a ser obtida na máquina e defeito zero, a ser obtido no produto. Kardec e Nascif (2001) indicam algumas medidas que devem ser tomadas para atingir esse objetivo, as quais são enumeradas a seguir:

- Estruturação das condições básicas para a operação: Manter a área limpa e organizada, fazer a lubrificação correta dos equipamentos. Os conceitos de 5S, explicados um pouco mais a frente, são muito úteis nesse quesito;
- Obediência às condições de uso: Respeito às condições de uso e dos limites impostos pelo fabricante do equipamento;
- Regeneração do envelhecimento: Entender, dominar e eliminar as causas de envelhecimento e desgaste do equipamento. Promover ações de restauro e recuperação periódica das máquinas;

- Sanar os pontos falhos decorrentes de projeto: Mais uma vez, aplicar a prevenção da manutenção, que visa projetar equipamentos que necessitem de pouca manutenção. Corrigir eventuais falhas de projeto, que causem falhas recorrentes.
- Incrementar a capacidade técnica: Capacitação de operadores e de manutentores, para que ele possa fazer o diagnóstico da situação e atuar sobre as falhas.

Souza (2007) afirma que “os objetivos do TPM estão relacionados com a melhoria da estrutura da empresa em termos materiais e em termos humanos com o aprimoramento das capacitações dos profissionais envolvendo conhecimentos, habilidades e atitudes. Outro objetivo é o de atingir um nível excelente do rendimento operacional global (OEE)”. Para atingir esse nível, o TPM prega o combate às seis grandes perdas. O mesmo autor, assim como Nakajima (1989) resumem essas perdas em:

1. Perdas por paradas:

- Perda por parada acidental (perdas por quebras): São as perdas decorrentes das manutenções corretivas de emergência;
- Perdas por *set-up*: Quantidade de itens que deixa de ser produzido devido a paradas para ajustes na mudança de linhas;

2. Perdas por mudança da velocidade:

- Perdas por pequenas paradas e/ou operação em vazio: Devido a pequenas paradas para ajustes durante a operação ou por ociosidades, como máquina operando em vazio. A atuação dos operadores através das atividades de manutenção autônoma como lubrificação, limpeza, ajuste e inspeção visa a redução desse tipo de perda;
- Perdas por queda na velocidade de trabalho: São as perdas ocorridas quando o equipamento não está produzindo em sua velocidade nominal de produção;

### 3. Perdas por produtos defeituosos:

- Perdas por defeito no processo: Produtos perdidos devido à qualidade insatisfatória, ou fora dos padrões exigidos pelo cliente;
- Perdas por defeito no início da operação: São as perdas decorrentes do início da operação, quando o equipamento ainda não atingiu o estado de regime.

Em particular, devemos ressaltar que o objetivo desse trabalho de criar uma política de manutenção preventiva para o Vomm, e estudar o melhor intervalo para realização das paradas, visa a reduzir principalmente a primeira perda (perda por quebras).

Souza (2007) sugere algumas atitudes a serem realizadas para a redução dessas perdas. O grande destaque fica por conta da capacitação dos envolvidos. Enquanto os operadores devem ser capacitados para poderem realizar a manutenção autônoma, os manutentores devem ser capacitados para serem polivalentes, ou seja, atuarem nas áreas mecânica e elétrica dos equipamentos. Já o pessoal da engenharia deve ser capacitado para projetar equipamentos que dispensem manutenção. Outro aspecto importante é o da criação de uma estrutura empresarial que visa a excelência do processo de produção.

O OEE é calculado pela multiplicação de 3 índices, representando os 3 grupos das 6 grandes perdas. São eles:

- ITO - Índice de tempo operacional: Esse índice mede o impacto das perdas por paradas e é calculado da seguinte maneira:

$$ITO = \frac{TO}{TC}$$

Onde TO é o tempo de operação, ou seja, o tempo líquido de produção, de onde já estão descontados do tempo total disponível de máquina, os tempos para realização de manutenções programadas e os tempos das paradas para manutenção corretiva e *set-up* e o TC é o tempo de carga, ou seja, o tempo programado para produção, que considera o desconto do tempo para realização de manutenções programadas do tempo total disponível de máquina.

- IPO - Índice de performance operacional: Mede o impacto das perdas por mudança de velocidade e é calculado da seguinte maneira:

$$IPO = \frac{CT * QP}{TO}$$

Onde CT é o tempo de ciclo teórico de produção e QP a quantidade produzida.

- IPA - Índice de produtos aprovados: Mede o impacto das perdas devido a produtos defeituosos e é calculado da seguinte maneira:

$$IPA = \frac{QP - PD}{QP}$$

Onde PD representa a quantidade de produtos defeituosos fabricados.

Uma última consideração a respeito do TPM é o seu forte envolvimento com as técnicas das técnicas de 5S. Essas técnicas entram como complemento da idéia de que cada operador é dono de seu processo, e deve ser o responsável por zelar pelo equipamento que opera. Para isso, questões como organização e limpeza são fundamentais. Segundo Kardec e Nascif (2001), o 5S é baseado em:

- *Seiri* (Organização): Manter na área apenas o que é necessário para a realização do trabalho e descartar todo o resto;
- *Seiton* (Ordem): Identificar todos os materiais e guardá-los em seus devidos lugares, seguindo a máxima “Um lugar para cada coisa, cada coisa em seu lugar”;
- *Seiso* (Limpeza): Identificar e eliminar os pontos de geração de sujeira e manter os equipamentos e a área sempre limpos;
- *Seiketsu* (Asseio/Higiene): Manter a arrumação e a limpeza em tudo, cuidar da higiene corporal e cumprir as ordens de segurança;
- *Shitsuke* (Disciplina): Fazer tudo aquilo que foi proposto no 4S anteriores espontaneamente.

## 2.3 Método de Monte Carlo

Segundo Sylvester (1970), o método de Monte Carlo nada mais é que o emprego de amostras ao acaso que permite simular experiências para a resolução de problemas complicados que podem ser resolvidos de forma mais simples ao se aplicar técnicas de probabilidade e de amostragem.

Esse método é considerado como parte da pesquisa operacional. Essa área da matemática pode ser dividida em métodos clássicos e métodos modernos:

### 1. Métodos Clássicos:

- Cálculo matricial, cálculo diferencial, cálculo de probabilidades, estatística, entre outros;

### 2. Métodos Modernos:

- Modelos determinantes: Programação linear, teoria dos jogos e de decisão, programas econômicos (produção e estoque);
- Modelos Probabilísticos: Processos de Poisson, teoria das filas, teoria de conservação e aprovisionamento;
- Simulação: Método de Monte Carlo, jogos de empresas.

Ainda segundo o autor, a base do método de Monte Carlo consiste no teorema de Bernoulli, que nos diz que a freqüência relativa de um acontecimento em uma série de ensaios com probabilidade constante  $p$  irá diferir dessa probabilidade de um valor maior que zero, caso o número de ensaios seja suficientemente grande. Isso significa dizer que, quanto maior o número de ensaios realizados, mais próximo da probabilidade  $p$  de ocorrência do evento o experimento trará como freqüência relativa. O método de Monte Carlo, geralmente usado em associação com computadores, utiliza-se de um modelo que segue as leis que regem um processo para, através de amostras ao acaso e de grande número de repetições, simular o seu comportamento. Quanto maior o número de repetições, mais próximo do comportamento real a saída da simulação estará.

As simulações propostas neste trabalho seguirão o Método de Monte Carlo, baseado no conceito de transformação inversa. Segundo Winston (2004), trata-se de um dos métodos mais populares para gerar variáveis randômicas a partir de distribuições de probabilidades contínuas. Esse método funciona particularmente bem para distribuições que tenham a sua função de distribuição acumulada definida em forma fechada, como as distribuições exponencial, uniforme, triangular e Weibull. A função de distribuição acumulada nada mais é que a integral da função densidade de probabilidade (fdp) até o ponto x em questão. Ou seja,

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(t)dt$$

O método da transformação inversa parte de geração de um número randômico r entre 0 e 1. Esse número é então igualado a F(x). Resolvendo-se para x encontramos a variável randômica da distribuição cuja fdp é igual a f(x).

Graficamente, a função de distribuição acumulada é uma função restrita em um intervalo, com valores no eixo das ordenadas variando de 0 a 1. Gerar um número randômico r e igualá-lo a F(x) significa entrar com o valor do número r no eixo das ordenadas e promover o encontro desse valor com a curva F(x). Resolver para x significa rebater esse ponto de encontro para o eixo das abcissas e, assim, encontrar o valor da variável randômica sorteada.

## 3 TRATAMENTO DO PROBLEMA

Esse capítulo mostra como o problema proposto foi tratado, seguindo as etapas que foram estudadas durante a realização do trabalho. A primeira etapa foi a do levantamento de dados, que é seguida por uma análise estatística que visa encontrar quais são as distribuições de probabilidade que melhor se ajustam a esses dados. A terceira etapa consiste na criação de um modelo computacional para uma primeira simulação, com o objetivo de retratar a situação atual do equipamento e discutir seus resultados. A etapa seguinte trata de uma discussão a respeito dos tipos de falhas que a prática de manutenção preventiva procura atacar. Essa etapa também é seguida de uma análise estatística para encontrar as distribuições de probabilidade que melhor se ajustam a esses tipos de falhas. Finalmente, chega-se à simulação computacional final, utilizando-se do método de Monte Carlo, onde foi possível simular o comportamento do equipamento após a implantação da política de manutenção preventiva. A última etapa inclui uma análise dos custos de manutenção com a política proposta a fim de encontrar o intervalo entre paradas com a melhor relação custo x benefício.

### 3.1 Levantamento de Dados

O primeiro passo para o tratamento do problema proposto nesse trabalho foi o levantamento de dados. Com a ajuda do pessoal departamento de manutenção da empresa, foi feito um levantamento dos apontamentos dos tempos entre quebras e seus respectivos tempos de reparo no Vomm, referentes ao período de janeiro a agosto de 2007. Foram considerados, para os tempos entre quebras, somente aqueles em que a máquina estava em funcionamento, excluindo-se finais de semana, feriados, tempos de parada para refeições, e quaisquer outros intervalos de tempo que fossem não produtivos. Esses apontamentos estão representados na Tabela 3.1. Os tempos estão sempre representados em horas. Esses dados serão úteis para se encontrar distribuições de probabilidade que possam representar de forma adequada o comportamento desses tempos. Essas distribuições serão fundamentais para a realização das simulações propostas, sejam as que representam o cenário atual vivido pela empresa e pelo equipamento, ou

as que representarão cenários futuros, em que a prática de manutenção preventiva no Vomm é considerada.

Data	Horário da Quebra	Horário do fim do Reparo	Tempo Entre Quebras(h)	Tempo de Reparo(h)
15/1/2007	13:35	14:00	-	0,42
8/2/2007	6:35	10:05	245,58	3,50
27/2/2007	15:35	16:20	172,50	0,75
19/3/2007	14:20	16:00	188,67	1,67
27/3/2007	8:00	16:00	77,00	8,00
27/3/2007	17:10	17:40	1,17	0,50
23/4/2007	15:00	16:15	291,33	1,25
24/4/2007	11:55	13:45	9,67	1,83
7/5/2007	7:20	10:30	141,58	3,17
8/5/2007	6:45	8:10	10,25	1,42
17/5/2007	18:20	22:10	121,17	3,83
19/5/2007	18:10	22:00	39,00	3,83
23/5/2007	18:30	19:00	60,50	0,50
23/5/2007	23:25	24:00	4,42	0,58
26/5/2007	5:00	5:50	47,00	0,83
31/5/2007	7:10	16:00	57,33	8,83
1/6/2007	6:10	15:35	5,17	9,42
4/6/2007	6:05	8:10	5,50	2,08
5/6/2007	20:20	20:40	24,17	0,33
7/6/2007	6:00	14:20	15,33	8,33
15/6/2007	9:00	13:40	65,67	4,67
18/7/2007	15:45	20:30	401,08	4,75
23/7/2007	14:50	21:15	51,33	6,42
24/7/2007	14:15	20:10	8,00	5,92
25/7/2007	14:00	21:20	8,83	7,33
26/7/2007	17:40	20:50	11,33	3,17
31/7/2007	6:30	6:50	43,67	0,33
31/7/2007	7:45	9:05	0,92	1,33
1/8/2007	6:20	7:15	11,25	0,92
1/8/2007	15:40	17:00	7,42	1,33
6/8/2007	6:20	7:10	32,33	0,83
6/8/2007	14:10	17:00	6,00	2,83
8/8/2007	20:15	20:40	30,25	0,42
24/8/2007	10:30	12:20	173,83	1,83

**Tabela 3.1: Apontamento dos tempos entre quebras no Vomm, e seus respectivos tempos de reparo**

Como dito no primeiro capítulo, aqui abordaremos a questão dos cálculos do OEE para o equipamento. A capacidade de produção é de 11 sacos por minuto e, neste mês, foram produzidos 190550 sacos em 24 dias produtivos. Assim, conforme definido por Nakajima (1989), o cálculo OEE é apresentado passo a passo a seguir:

- Tempo de Calendário (TD): É o tempo total de equipamento disponível para produção. O Equipamento funciona durante 2 turnos de 8 horas, com 2 horas de paradas para refeições. Assim, o TD diário é de **14h**. O mês de abril teve 24 dias produtivos, logo o **TD foi de 20160 minutos**.
- Tempo de Carga (TC): É obtido descontando-se do TD o tempo reservado para realização de manutenção programada. Não existe atualmente um planejamento de tempos para manutenção preventiva no plano de produção. Assim, **TD = TC**.
- Tempo de Operação (TO): É o tempo líquido resultante para produção, que é obtido descontando-se os tempos das paradas do tempo de carga (TC). Durante o mês de abril, o equipamento ficou 655 minutos parados por quebra (intervenções de manutenção corretiva) e 60 minutos parado devido a *set-up*. **O TO foi, portanto, de 19445 minutos.**
- $ITO = \frac{TO}{TC} = 0,964$ . Esse índice indica o impacto das perdas por parada no equipamento.
- $IPO = \frac{1}{11} * 190550 = 0,890$ . Esse índice mede o impacto das perdas por velocidade no equipamento.
- $IPA = \frac{190550 - 24 * 50}{190550} = 0,993$ . Esse índice mede o impacto das perdas por defeitos no produto. Em média, 50 sacos de produtos não conforme são gerados

por dia. Todo produto não conforme é reprocessado, ocupando novamente o equipamento.

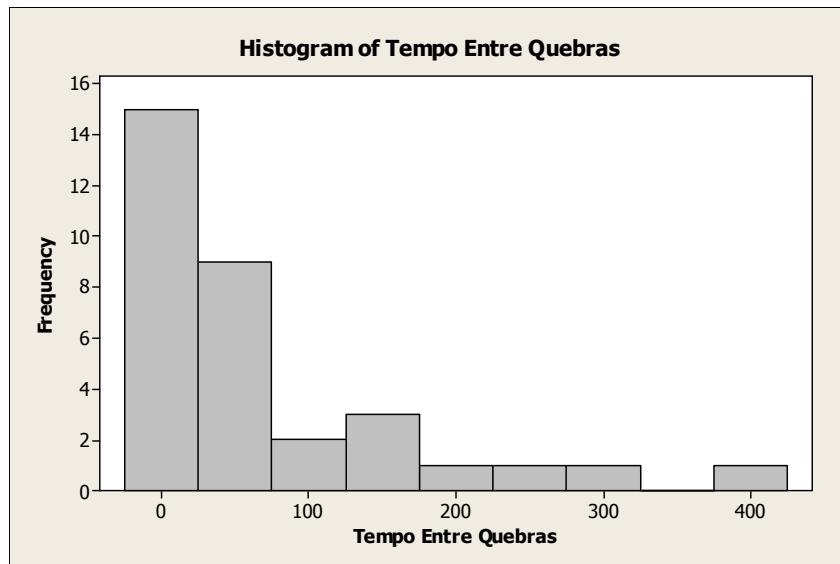
- $\mathbf{OEE = ITO \times IPO \times IPA = 0,964 \times 0,980 \times 0,993 = 0,85}$

### **3.2 Análise dos dados para encontrar as distribuições de probabilidade correspondentes**

Para que possamos realizar as simulações, é necessário encontrar distribuições de probabilidade que se ajustem aos dados da Tabela 3.1 de forma satisfatória. Com o auxílio do software estatístico Minitab, é possível encontrar a distribuição de probabilidade, assim como os parâmetros da mesma. A partir daí, pode-se encontrar a função densidade de probabilidade e, consequentemente, a função de distribuição acumulada. Essa segunda função é de grande interesse para a construção das simulações, pois a partir de um número randômico entre 0 e 1 gerado pelo programa, chega-se a um valor de tempo correspondente, que servirá para alimentar os relógios do programa de simulação, como será explicado mais adiante nesse capítulo.

#### **3.2.1 Análise dos tempos entre falhas**

Com auxílio do software Minitab, traçamos inicialmente um histograma dos dados dos tempos entre falhas da Tabela 3.1. Esse histograma pode ser visualizado na Figura 3.1, que traz os tempos em horas.



**Figura 3.1: Histograma de tempo entre quebras**

Esse mesmo software foi utilizado para encontrar qual a distribuição de probabilidade que melhor se ajusta a esses dados. Para isso, o software faz uso do teste de Anderson-Darling, que se utiliza do parâmetro AD. Esse parâmetro mede a distância entre os dados da curva da distribuição. Quanto menor o valor, melhor o ajuste dos dados propostos à distribuição testada. O teste de Anderson-Darling se baseia no seguinte teste de hipóteses:

$H_0$ : Os dados seguem a distribuição determinada

$H_1$ : Os dados não seguem a distribuição determinada

O P-valor indica o resultado desse teste de hipóteses, ou seja, para valores baixos, menores que 0.05, rejeitamos  $H_0$  e consideramos que os dados não seguem a distribuição em questão. A saída do teste de aderência, com os valores do teste AD e dos p-valores para cada distribuição testada se encontra no Anexo A1. Analisando esses dados, notamos, por exemplo, que a distribuição exponencial é uma das que não tem bom ajuste para esses dados, visto que tem valor AD alto e P-valor baixo (2,679 e menor que 0,003 respectivamente).

A distribuição que mais se adequaria aos dados seria a distribuição lognormal. Entretanto, essa é uma distribuição que tem funções de densidade de probabilidade e de distribuição

acumulada muito complexas de se trabalhar. Desse modo, foi escolhida para a representação dos tempos entre quebras, a **distribuição de Weibull**. A saída fornecida pelo software nos indica que essa função tem valor AD baixo (0,448), representando uma boa aderência dos dados à distribuição, e que também, ao nível de significância testado de 5% não se pode rejeitar a hipótese  $H_0$ , pois seu p-valor é maior que 0,25. Além disso, as equações das funções de densidade de probabilidade e de distribuição acumulada são de complexidade muito menor, facilitando a análise proposta de se encontrar as equações das funções de distribuição de probabilidade e de distribuição acumulada, mas ainda sim tratando os dados de uma forma estatisticamente satisfatória. O Anexo A1 traz outros gráficos gerados pelo Minitab, como os papéis de probabilidade da distribuição de Weibull para esses dados, um histograma com um esboço da forma da distribuição sobre ele e o gráfico da função de distribuição acumulada.

As funções de densidade de probabilidade e de distribuição acumulada para a distribuição de Weibull utilizam-se de dois parâmetros. O primeiro parâmetro,  $k$ , é chamado de parâmetro de forma e altera o formato da distribuição. Esse parâmetro é sempre positivo e, quando seu valor equivale à unidade, a distribuição de Weibull é reduzida a uma distribuição exponencial. Quando esse valor aumenta, chegando a cerca de 3,5, a distribuição de Weibull ganha um formato semelhante ao da distribuição normal. O segundo parâmetro,  $\lambda$ , é o parâmetro de escala, que mede a dispersão estatística da distribuição. A variação desse parâmetro faz com que a distribuição se encolha ou se alargue, quando  $\lambda$  tende a um valor pequeno ou grande, respectivamente. Assim como o parâmetro de forma, o parâmetro de escala tem valores sempre positivos.

A equação da função de densidade de probabilidade da distribuição de Weibull pode ser definida como:

$$f(x; k; \lambda) = \frac{k}{\lambda} \left( \frac{x}{\lambda} \right)^{k-1} e^{-(x/\lambda)^k}$$

Já a distribuição de distribuição acumulada é equacionada da seguinte maneira:

$$F(x; k; \lambda) = 1 - e^{-(x/\lambda)^k}$$

Para a simulação proposta, devemos, a partir de um número randômico entre 0 e 1 gerado, encontrar o tempo entre quebras correspondente à distribuição de Weibull. O número randômico  $r$  será, portanto, o resultado da função de distribuição acumulada  $F$ . A partir dele, devemos encontrar o valor de  $x$ , que representará na simulação o tempo entre quebras. Assim, encontraremos  $x$ , ou o tempo entre quebras de cada iteração, a partir da seguinte equação:

$$x = -[\ln(1 - r) * \lambda^k]^{1/k}$$

Onde:  $r$  = número entre 0 e 1 gerado randomicamente pela simulação;

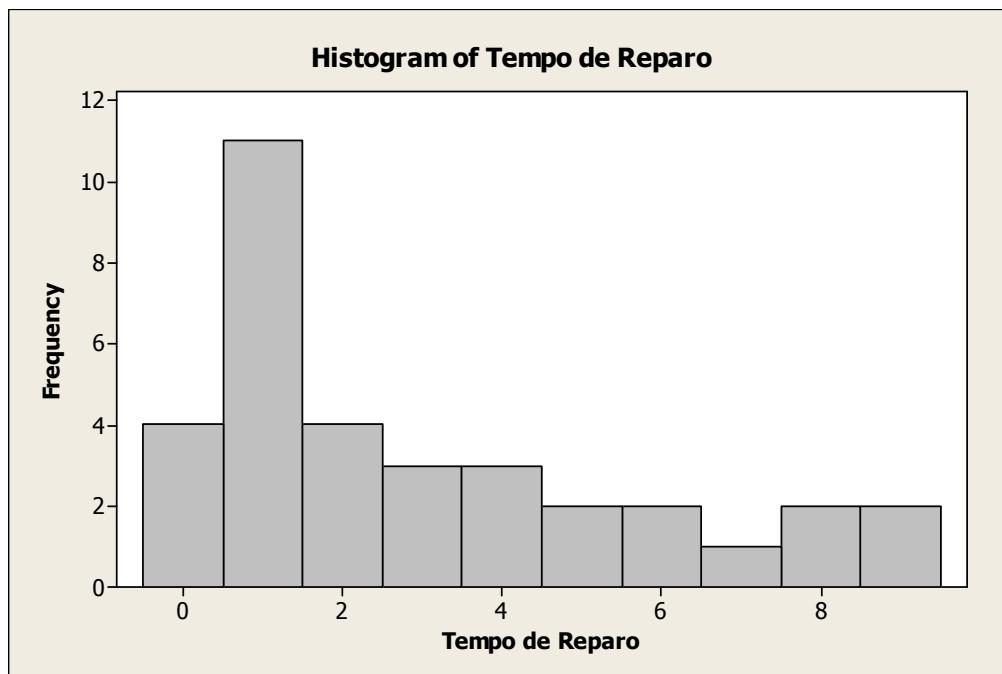
$\lambda$  = escala, que no modelo proposto será igual a 58,69;

$k$  = forma, que no modelo proposto será igual a 0,7346.

Os valores para os parâmetros  $\lambda$  e  $k$  foram obtidos do software Minitab e no Anexo A1 são encontrados no histograma dos tempos entre quebras identificados como scale e shape, respectivamente.

### 3.2.2 Análise do tempo de reparo

Assim como para o tempo entre falhas, foi feita uma análise dos dados que correspondem aos tempos de reparo das manutenções corretivas realizadas no Vomm, representados na Tabela 3.1. Através do software Minitab, foi construído o histograma para esses dados, mostrado na Figura 3.2, que apresenta os tempos em horas.



**Figura 3.2: Histograma de tempo de reparo**

Também com auxílio do software, foi repetida a análise de aderência dos dados dos tempos de reparo a alguma distribuição. A saída desse teste, que pode ser encontrada no Anexo A2, através do parâmetro AD, nos indica que as distribuições que melhor se ajustariam aos dados seriam a Gamma de 3 Parâmetros e a Weibull de 3-Parâmetros. Entretanto, também revela que a distribuição exponencial também passa de forma satisfatória nos testes, tendo um valor AD baixo (0,448) e um P-valor igual a 0,548, o que indica que, ao nível de significância testado de 5%, a hipótese  $H_0$  não pode ser recusada. Ela tem também um AD ainda melhor que a distribuição de Weibull (0,554), com a qual trabalharemos os dados do tempo entre quebras. Assim, havendo a possibilidade de trabalhar com uma distribuição que tem funções de densidade de probabilidade e distribuição acumulada com menor complexidade de manuseio, a **distribuição exponencial** foi a escolhida para representar os tempos de reparo.

O Anexo A2 contém outros gráficos que podem ser relevantes a essa análise, como papéis de probabilidade da distribuição exponencial para esses dados, um histograma com um esboço da forma da distribuição sobre ele e o gráfico da função de distribuição acumulada.

As funções de densidade de probabilidade e de distribuição acumulada da distribuição exponencial trabalham com somente um parâmetro,  $\lambda$ , que é um parâmetro de escala, ou seja, mede a dispersão estatística dessa distribuição de probabilidade.

A função densidade de probabilidade para a distribuição exponencial é:

$$f(x; \lambda) = \lambda e^{-\lambda x}, \text{ para todo } x \geq 0$$

$$f(x; \lambda) = 0 \quad , \text{ para todo } x < 0$$

Sua função de distribuição acumulada é:

$$F(x; \lambda) = 1 - e^{-\lambda x}, \text{ para todo } x \geq 0$$

$$F(x; \lambda) = 0 \quad , \text{ para todo } x < 0$$

Aqui cabe recordar que a média da distribuição é o inverso do parâmetro  $\lambda$ :

$$E[x] = \frac{1}{\lambda}$$

Do mesmo modo que para o tempo entre falhas, devemos isolar o  $x$  da equação da função de distribuição acumulada. O número entre 0 e 1 que será gerado randomicamente pelo programa equivale ao valor da função  $F$ . Dessa maneira, isolando o  $x$  da equação, e a deixando em função do número randômico  $r$ , será possível encontrar um tempo de reparo para uma falha que seja correspondente à realidade atual do que ocorre no equipamento considerado. A equação que define  $x$  em função de  $r$  é a seguinte:

$$x = -\frac{1}{\lambda} \ln(1 - r)$$

Onde:  $\lambda = \frac{1}{3,034} = 0,33$

O valor do inverso do parâmetro de escala  $\lambda$  que corresponde à média da distribuição foi gerado pelo software Minitab e é dado no histograma dos tempos de reparo (Anexo A2) como Mean.

### 3.3 Simulação da situação Atual

Uma vez encontradas distribuições com funções densidade de probabilidade e de distribuição acumuladas que se adequam de forma satisfatória aos dados reais levantados na empresa sobre os tempos entre quebras e os tempos de reparo dessas falhas de caráter corretivo, é possível iniciar a programação de uma primeira simulação de Monte Carlo, que forneça um retrato da situação **atual** do Vomm. Essa simulação, de forma resumida, se dará da seguinte forma:

- Gera-se um número randômico  $r$  entre 0 e 1;
- A partir da equação que encontra o  $x$  da distribuição acumulada do tempo entre quebras, encontra-se o tempo em horas em que ocorrerá a primeira falha;
- Alimenta-se o relógio geral e o relógio que marca o tempo acumulado da máquina em produção (utilizando-se o tempo encontrado na etapa anterior);
- Gera-se uma saída indicando após quanto tempo de funcionamento ocorre a falha (Resultado);

- Gera-se outro número randômico  $r$  entre 0 e 1;
- A partir da equação que encontra o  $x$  da distribuição acumulada do tempo de reparo, encontra-se o tempo para se efetuar o reparo da falha;
- Alimenta-se o relógio geral e o relógio que marca tempo total de máquina parada para realização de reparos (utilizando-se o tempo encontrado na etapa anterior);
- Gera-se uma saída indicando o tempo de reparo para que a máquina volte a funcionar (Resultado 2);
- Repetem-se os passos acima, até um certo número de iterações;
- Calcula-se o OEE e a disponibilidade da máquina durante o período estudado.

A programação dessa simulação, escrita em linguagem C, se encontra no Anexo B.

Uma ilustração da saída de uma simulação encontra-se na Figura 3.3.

```

Random number: 0.459100
Resultado2: 1.753260
Random number: 0.162600
Resultado1a: 3.534041
Resultado: 5.576400
Resultado2a: 0.566532
Random number: 0.220300
Resultado2: 0.802437
Random number: 0.804600
Resultado1a: 32.515865
Resultado: 114.391251
Resultado2a: 1.911904
Random number: 0.568200
Resultado2: 2.388781

Tempo total entre quebras: 2355.416748
Tempo total de reparo: 155.708862
ITO: 0.935121
IPO: 0.89
IPA: 0.993
OEE: 0.826432

Disponibilidade: 0.937992

```

Figura 3.3: Exemplo de Saída da simulação inicial

Devemos levar em consideração que, para essa simulação foram consideradas as seguintes premissas:

- A simulação foi feita para um período de 6 meses, similar ao do apontamento dos dados apresentados na seção 6. Esses dados nos mostram que num período de 6 meses temos aproximadamente 2400 horas de equipamento funcionando;
- Os índices IPO e IPA são os mesmos levantados na seção 3.1, pois no modelo de simulação não se considerou que esses índices, relativos às perdas por velocidade e por qualidade, variam. Assim, somente o índice ITO, referente às perdas por paradas, varia a cada iteração da simulação, já que o modelo de simulação calcula o tempo disponível após as paradas que ocorrem por causa de falhas no Vomm;
- Foi considerado que não há tempo disponibilizado para a realização de manutenção preventiva, logo o tempo de carga é igual ao tempo de calendário, tal como na situação real;
- A simulação não contempla tempos de *set-up*;
- O cálculo de disponibilidade é feito dividindo-se o tempo total entre quebras e o tempo total de simulação, obtido pela soma do tempo total entre quebras com o tempo total de reparos.

Esse primeiro modelo de simulação fornece um retrato simplificado de como está a situação atual no equipamento considerado. Como se pode observar na tela de saída usada como exemplo (Figura 3.3), o OEE obtido se aproximou do encontrado na seção 3.1. Devido ao caráter randômico dos números gerados, cada vez que se executa o programa um resultado próximo, porém diferente é obtido. Assim, essa simulação inicial foi executada diversas vezes, e a média do OEE girou em torno de 0,85. Já a disponibilidade ficou em torno de 0,95. Esses valores estão muito próximos dos reais valores encontrados para o Vomm. Na Tabela 3.1 foram registradas 2370 horas de máquina funcionando contra 103 horas de reparo, o que resulta em uma disponibilidade real de 95,65%.

### 3.4 Sobre os tipos de falhas

Esse trabalho tem como propósito a implementação de uma política de manutenção preventiva a ser aplicada no equipamento em estudo, com o objetivo de reduzir ao máximo a ocorrência de falhas que podem ser evitadas. Cenários futuros em que essa nova política de manutenção é considerada são examinados através de simulações de Monte Carlo para se encontrar o melhor momento de parada do equipamento para efetuar as manutenções. Essas falhas evitáveis impactam de forma direta nos índices OEE e na disponibilidade do Vomm. Kardec e Nascif (2001) afirmam que manutenção preventiva é “a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo”. Dessa maneira, o principal objetivo da realização das manutenções preventivas no Vomm é minimizar as falhas que são evitáveis mas que, atualmente, por não serem evitadas, demandam intervenções de caráter corretivo, forçando sua parada e prejudicando a operação de um equipamento tão importante para a empresa. Entretanto, é sabido que nem todas as falhas podem ser evitadas através da prática da manutenção preventiva. Mesmo trazendo resultados positivos, esse tipo de prática não consegue detectar e atuar sobre alguns tipos de falhas que ocorrem de forma aleatória. Esse conceito é reforçado por Lafraia (2001) apud Vaz (2003), que afirma que enquanto componentes mecânicos apresentam, normalmente, todas as fases do ciclo de vida representado pela curva da banheira (mortalidade infantil, vida útil e desgaste), os componentes eletrônicos apresentam falhas aleatórias e requerem substituição, uma vez que a manutenção preventiva é pouco efetiva nesse caso. Assim, devemos fazer uma análise dos tipos de falhas que encontramos no equipamento, classificando-as em falhas evitáveis e não evitáveis, ou inevitáveis:

- Falhas evitáveis: São as falhas que poderiam ter sido evitadas caso houvesse uma cultura de inspeções preventivas, que inclua, por exemplo, a troca de componentes com prazo de vida determinado e conhecido. Outro tipo de falhas evitáveis são aquelas que ocorrem devido a uma falta de limpeza do equipamento. Podemos ainda distinguir os tipos de falha evitáveis que somente poderiam ter sido evitados

com a atuação de manutentores, ou aquelas que poderiam ter sido evitadas através do trabalho dos próprios operadores da máquina;

- Falhas não Evitáveis: Essas falhas ocorrem ao acaso, devido a problemas de componentes que, sem aviso prévio, acabam quebrando ou deixando de exercer a função que se espera deles. Falhas desse tipo não podem ser totalmente evitadas através de manutenção preventiva. Elas poderiam ser minimizadas através da aplicação de técnicas de manutenção preditiva. O principal problema nesse tipo de falha é aquele relacionado a falhas de componentes eletrônicos, que não podem ser evitadas com uma inspeção dos mesmos.

Os conceitos de falhas evitáveis e não evitáveis são semelhantes àqueles utilizados em controle da qualidade, mais precisamente na aplicação de controle estatístico de processo (CEP), na classificação da variação presente nos processos produtivos. Ramos (2000) classifica essas variações como causas comuns e causas especiais. Segundo o autor, “uma causa comum pode ser definida como uma fonte de variação que afeta a todos os valores individuais do processo. É resultante de várias origens, sem que nenhum seja predominante sobre a outra (...). A variação devido a causas comuns está sempre presente e não pode ser reduzida sem mudanças na concepção do processo”. Podemos notar nessa definição uma proximidade ao conceito apresentado de falhas evitáveis, uma vez que esse tipo de falhas é gerado por diversas causas, que estão sempre presentes no processo de produção. Além disso, somente uma mudança no processo de manutenção do equipamento traria uma diminuição nesse tipo de falhas. A implementação de uma política de manutenção preventiva é exatamente essa mudança no processo que queremos propor.

Ainda segundo o autor, a “causa especial é um fator que gera variações que afetam o comportamento do processo de maneira imprevisível não sendo, portanto, obter-se um padrão nesse caso”. Esse conceito se parece muito com o das falhas não evitáveis, visto que essas não são previsíveis do ponto de vista de manutenção preventiva, pois ocorrem ao acaso, sem emitir sinais prévios que indiquem sua possibilidade de ocorrência.

O diagrama de Ishikawa mostrado na Figura 3.4, resume as informações sobre essa classificação das falhas, distinguindo ainda as responsabilidades para as falhas evitáveis:



**Figura 3.4: Diagrama de espinha de peixe representando as principais causas de falhas evitáveis e inevitáveis**

Tendo em vista a necessidade de distinguir entre esses dois tipos de falhas, faremos uma análise das ocorrências das falhas apresentadas na Tabela 3.1, que foram consideradas na busca das distribuições usadas na simulação da situação atual para representar os tempos entre quebras e os tempos de reparo. O tipo de falha dessas ocorrências é apresentado na Tabela 3.2. A classificação foi feita com a colaboração dos responsáveis pela manutenção do equipamento.

Data	Ocorrência	Tipo de Falha
15/1/2007	Reparo nos cabos de alimentação da seladora, que enroscaram na fita da mesma	Evitável
8/2/2007	Reparo na rosca injetora de barrilha, que estava com os rolamentos quebrados	Não Evitável
27/2/2007	Destravamento da rosca dosadora de corante	Evitável
19/3/2007	Manutenção da rosca dosadora de barrilha, que estava travada	Não Evitável
27/3/2007	Reparo na rosca dosadora de corante	Não Evitável
27/3/2007	Troca do gancho da talha de sal	Evitável
23/4/2007	Reparo na esteira de saída da planta de pós, que estava com os rolamentos travados	Evitável
24/4/2007	Reparo na talha, que estava com o trilho aberto	Evitável
7/5/2007	Regulagem do eixo central do Vomm após a troca de rolamentos que estavam quebrados	Não Evitável
8/5/2007	Troca da conexão da mangueira da bomba de perfume que estava quebrada	Evitável
17/5/2007	Reparo na rosca dosadora de barrilha, que estava fazendo barulho	Evitável
19/5/2007	Troca do contador no painel da rosca dosadora, que estava parando	Não Evitável
23/5/2007	Reparo na polia da rosca injetora, pois havia soltado a chaveta	Evitável
23/5/2007	Troca do motor da rosca injetora, que estava queimado	Não Evitável
26/5/2007	Desmontagem do dosador de corante, que estava com o motor queimado	Não Evitável
31/5/2007	Troca de esteira na moéga do Vomm, pois estava rasgada devido ao excesso de sujeira	Evitável*
1/6/2007	Troca de esteira, limpeza e reparo nos roletes, que estavam travados devido ao excesso de sujeira	Evitável*
4/6/2007	Reparo no carrinho da talha do sal, que saiu fora do trilho. Reparo no comando da bomba de perfume, que não estava acionando	Não Evitável
5/6/2007	Ajuste dos parâmetros do inversor, pois a bomba estava parando	Não Evitável

**Tabela 3.2: Classificação do tipo de falha das ocorrências de manutenção no Vomm (continua)**

Data	Ocorrência	Tipo de Falha
15/1/2007	Reparo nos cabos de alimentação da seladora, que enroscaram na fita da mesma	Evitável
8/2/2007	Reparo na rosca injetora de barrilha, que estava com os rolamentos quebrados	Não Evitável
27/2/2007	Destravamento da rosca dosadora de corante	Evitável
19/3/2007	Manutenção da rosca dosadora de barrilha, que estava travada	Não Evitável
27/3/2007	Reparo na rosca dosadora de corante	Não Evitável
27/3/2007	Troca do gancho da talha de sal	Evitável
23/4/2007	Reparo na esteira de saída da planta de pós, que estava com os rolamentos travados	Evitável
24/4/2007	Reparo na talha, que estava com o trilho aberto	Evitável
7/5/2007	Regulagem do eixo central do Vomm após a troca de rolamentos que estavam quebrados	Não Evitável
8/5/2007	Troca da conexão da mangueira da bomba de perfume que estava quebrada	Evitável
17/5/2007	Reparo na rosca dosadora de barrilha, que estava fazendo barulho	Evitável
19/5/2007	Troca do contador no painel da rosca dosadora, que estava parando	Não Evitável
23/5/2007	Reparo na polia da rosca injetora, pois havia soltado a chaveta	Evitável
23/5/2007	Troca do motor da rosca injetora, que estava queimado	Não Evitável
26/5/2007	Desmontagem do dosador de corante, que estava com o motor queimado	Não Evitável
31/5/2007	Troca de esteira na moéga do Vomm, pois estava rasgada devido ao excesso de sujeira	Evitável*
1/6/2007	Troca de esteira, limpeza e reparo nos roletes, que estavam travados devido ao excesso de sujeira	Evitável*
4/6/2007	Reparo no carrinho da talha do sal, que saiu fora do trilho. Reparo no comando da bomba de perfume, que não estava acionando	Não Evitável
5/6/2007	Ajuste dos parâmetros do inversor, pois a bomba estava parando	Não Evitável

**Tabela 3.2: Classificação do tipo de falha das ocorrências de manutenção no Vomm (conclusão)**

Nota-se que, para o período estudado, houve o registro de 34 intervenções corretivas no equipamento. Desses, 13 foram classificadas como falhas que poderiam ter sido evitadas através da aplicação de manutenção preventiva. Ou seja, 38% das falhas poderiam não ter ocorrido caso uma política de manutenção preventiva estivesse implementada na empresa. Destaca-se também que há duas ocorrências que poderiam ter sido evitadas caso a limpeza do equipamento fosse mais efetiva, marcadas com um asterisco (\*). Podemos concluir, portanto, que a participação dos operadores nesse processo é também importante, devendo os mesmos fazer o papel de um primeiro manutentor. Ou seja, podemos concluir que a manutenção autônoma, um dos pilares do TPM, também pode ser adaptada a esse processo de manutenção preventiva que estamos propondo. É importante aqui fazer a ressalva de que a aplicação de manutenção autônoma não representa a mera transferência da responsabilidade dos manutentores aos operadores de máquina, mas sim reforça a idéia de que todos os operadores também são co-responsáveis pela conservação do equipamento que operam, e que essa conservação traz resultados significativos para a redução das quebras no equipamento. A literatura de TPM recomenda a metodologia dos sete passos para a implantação de manutenção autônoma. Nakajima (1989) e Souza (2007) parecem concordar em muitos desses pontos. São eles:

- 1. Limpeza:** Essa etapa prevê a remoção de toda a sujeira que causa deterioração do equipamento. O operador também deve ser o responsável pela lubrificação e pelo aperto de parafusos e porcas. Essa etapa permite que o operador conheça seu equipamento de modo mais profundo, criando um laço com o mesmo. Em nosso diagnóstico, já apontamos esse passo como algo que deve ser feito pelos operadores, principalmente no que diz respeito à limpeza;
- 2. Eliminação dos locais de difícil acesso e determinação das causas da sujeira:** Esse passo pressupõe que a melhor maneira de preservar a limpeza é não sujar. Assim, deve-se tomar atitudes que minimizem a emissão da sujeira, com foco naqueles pontos que são os grandes emissores nos equipamentos. A eliminação dos fatores geradores de sujeira faz com que o tempo necessário para a limpeza seja reduzido. Além disso, deve-se facilitar o acesso aos pontos críticos de emissão de sujeira e de lubrificação;

3. **Elaboração dos padrões de limpeza e lubrificação:** Esses padrões servem como base para que as atividades básicas de manutenção autônoma (limpeza, lubrificação e inspeção) sejam feitas de maneira adequada, sendo eficiente, mas não tomando mais tempo que o necessário. Esses procedimentos, a princípio, são feitos pelos próprios operadores, e todos eles devem segui-las;
4. **Inspeção geral:** Os operadores devem ser treinados para conhecer todos aqueles componentes que devem inspecionar, e que tipo de problemas procurar neles. Essas informações devem ser baseadas nos manuais dos fabricantes dos componentes, assim como na experiência do pessoal de manutenção. Aqui, deve-se deixar claro que a inspeção feita pelos operadores nunca será tão rigorosa quanto aquela feita pelos manutentores em suas paradas programadas para manutenção preventiva. Isso se deve por dois motivos básicos. O primeiro é porque são os manutentores quem detém os conhecimentos necessários para se fazer uma inspeção mais aprofundada no equipamento. O segundo motivo é que os operadores devem fazê-la em um tempo reduzido, pois não é possível deixar o equipamento parado por muito tempo para se realizar esse tipo de atividade, principalmente em se tratando de um gargalo;
5. **Inspeção e manutenção autônoma:** Com os quatro primeiros passos implementados, um conhecimento já sólido sobre o equipamento e uma cultura de inspeção já adquirida pelos operadores, o departamento de manutenção pode passar a delegar algumas atividades de manutenção mais simples aos operadores. Assim, o pessoal da manutenção deverá revisar os procedimentos padrão feitos pelos operadores, alterando ou incluindo itens faltantes;
6. **Organização e ordem da área de trabalho:** O foco desse passo está mais ao operador do que ao equipamento em si. Ele foca a maneira como o operador organiza a sua área de trabalho, envolvendo aspectos como armazenamento das matérias-primas e materiais, organização das ferramentas, dispositivos *poka-yoke* e de gestão visual. Além disso, é avaliada a postura do operador frente a questões

como quebras, falhas, produtos defeituosos e perdas diversas. Assim é possível saber onde estão as necessidades de treinamento para melhoria do processo e se dá uma oportunidade de crescimento aos operadores;

**7. Consolidação do autocontrole:** Essa etapa é a que garante que todos os passos anteriores estão sendo cumpridos. Auditorias devem ser feitas para garantir que o processo foi assimilado e executado, além de propor melhorias quando necessário.

Esses passos devem ser implementados um de cada vez, sendo que a implementação de um está condicionada ao bom funcionamento do anterior. Atualmente ainda não há um programa de manutenção autônoma na empresa. Dessa maneira, um trabalho para implementação do primeiro estágio deve ser iniciado o quanto antes. Como já foi comentado, existe uma grande necessidade de que haja uma colaboração por parte dos operadores no que diz respeito à limpeza para que se atinja a meta de zerar as falhas do tipo evitável. Esse objetivo somente poderá ser atingido unindo as forças do pessoal de manutenção e do pessoal de produção. Consideraremos que os primeiros passos de implementação do programa de manutenção autônoma serão parte do programa de manutenção preventiva que queremos propor, visto que a limpeza feita de forma cuidadosa e efetiva é parte importante do combate às falhas evitáveis.

### **3.5 Análise estatística para encontrar as distribuições de probabilidade para a simulação final**

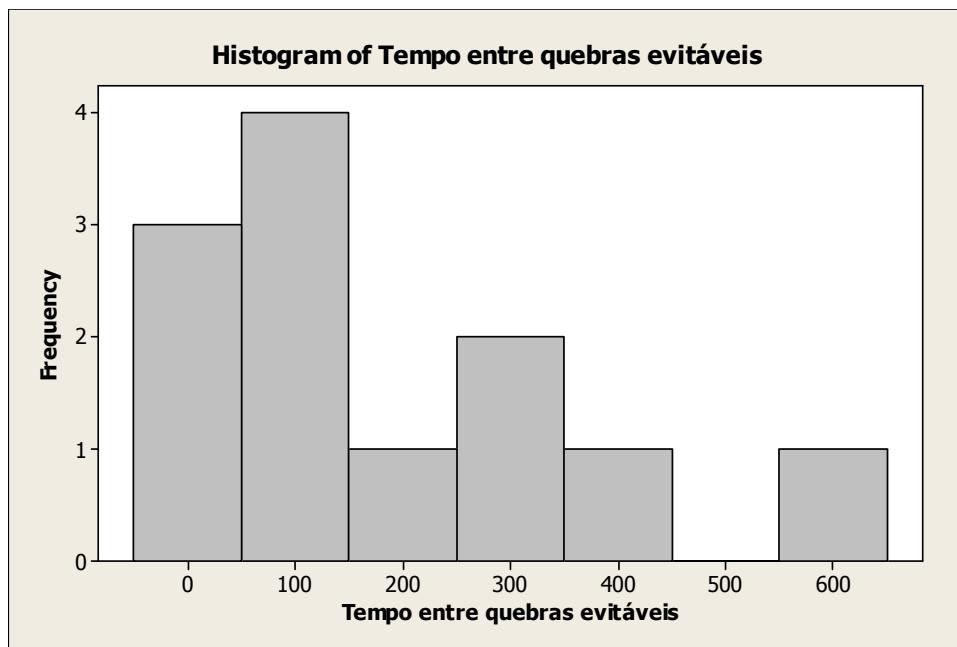
Uma vez considerados os dois tipos de falhas, evitável e inevitável, devemos buscar as distribuições de probabilidade que melhor se ajustam aos dados de tempo entre quebras e tempo de reparo. Essa análise deve ser feita agora para tempos entre falhas evitáveis, tempo entre falhas inevitáveis e tempos de reparo, visto que todas essas variáveis influenciarão na simulação de Monte Carlo final que busca encontrar o melhor intervalo em horas entre os quais as paradas para manutenção preventiva programada devem ser realizadas.

#### **3.5.1 Análise do tempo entre falhas evitáveis**

A Tabela 3.3 traz todas as ocorrências do tipo evitável que haviam sido identificadas na Tabela 3.2 e as associa aos respectivos tempos entre essas falhas. Em seguida, a Figura 3.5 mostra o histograma desses tempos entre falhas. Os tempos são sempre representados em horas.

<b>Data</b>	<b>Ocorrência</b>	<b>Tipo de Falha</b>	<b>Tempo Entre Falhas</b>
15/1/2007	Reparo nos cabos de alimentação da seladora, que enroscaram na fita da mesma	Evitável	-
27/2/2007	Destravamento da rosca dosadora de corante	Evitável	418,1
27/3/2007	Troca do gancho da talha de sal	Evitável	266,8
23/4/2007	Reparo na esteira de saída da planta de pós, que estava com os rolamentos travados	Evitável	291,3
24/4/2007	Reparo na talha, que estava com o trilho aberto	Evitável	9,7
8/5/2007	Troca da conexão da mangueira da bomba de perfume que estava quebrada	Evitável	151,8
17/5/2007	Reparo na rosca dosadora de barrilha, que estava fazendo barulho	Evitável	121,2
23/5/2007	Reparo na polia da rosca injetora, pois havia soltado a chaveta	Evitável	99,5
31/5/2007	Troca de esteira na moéga do Vomm, pois estava rasgada devido ao excesso de sujeira	Evitável*	108,8
1/6/2007	Troca de esteira, limpeza e reparo nos roletes, que estavam travados devido ao excesso de sujeira	Evitável*	5,2
7/6/2007	Reparo de vazamento no Inkjet	Evitável	45,0
31/7/2007	Troca da polia da fita da seladora, pois estava rasgando os sacos	Evitável	590,8
6/8/2007	Reparo na rosca dosadora do Vomm, que não estava ligando	Evitável	51,0

**Tabela 3.3: Tempos entre falhas evitáveis**



**Figura 3.5: Histograma do tempo entre falhas evitáveis**

Utilizando o software Minitab, foi realizado o teste AD para esses dados. A saída, que é apresentada no Anexo A3, revela que a distribuição que melhor se ajusta aos dados é a Gamma. Entretanto, essa distribuição tem equações de função de densidade de probabilidade e de distribuição acumulada muito complexas de serem trabalhadas. Assim, decidiu-se por adotar para o ajuste desses dados a **distribuição Exponencial**. Essa distribuição ajustou-se aos dados de forma satisfatória, com parâmetro AD baixo (0,226) e p-valor elevado (0,911), o que garante ao nível testado de 5% de significância, que a hipótese  $H_0$  não pode ser rejeitada. A adoção dessa distribuição também vem a facilitar a realização de uma análise de sensibilidade mediante simulação de diferentes cenários da situação futura, que serão tratados mais adiante.

Seguindo o mesmo raciocínio já apresentado anteriormente para esta distribuição na seção 3.2.2, a equação que será utilizada para encontrar o ponto  $x$  a partir de um número randômico entre 0 e 1 será:

$$x = -\frac{1}{\lambda} \ln(1 - r)$$

Onde:  $r$  = número entre 0 e 1 gerado randomicamente pela simulação;  
 $1/\lambda$  = média, que no modelo proposto será inicialmente igual a 179,9

O valor da média foi fornecido pelo Minitab (e identificado por este como Mean), que também fornece o papel de probabilidade para a distribuição exponencial, o histograma com a forma da distribuição ajustada e o gráfico da função de distribuição acumulada. Todas essas figuras se encontram no Anexo A3.

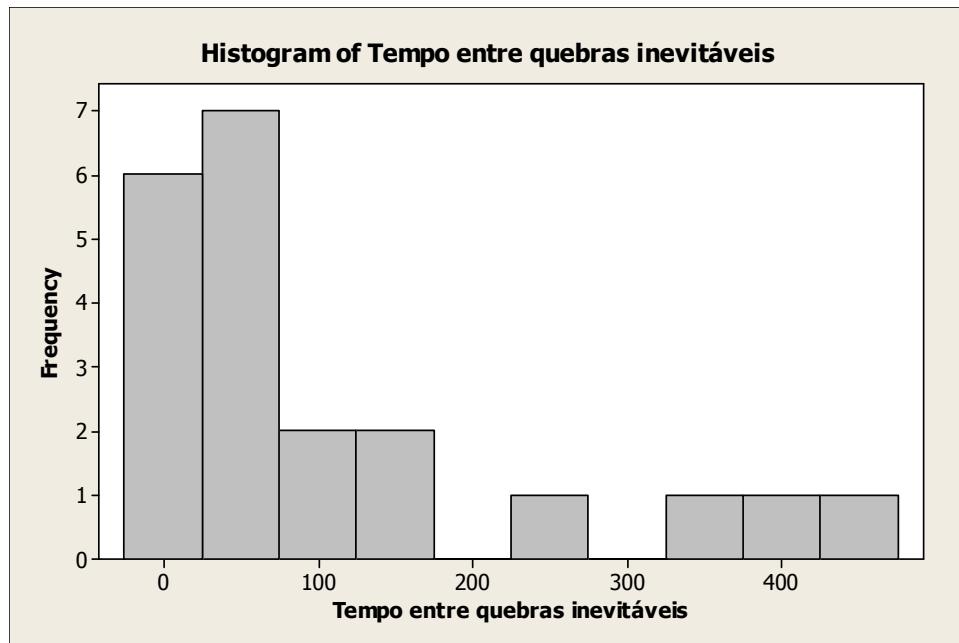
Na simulação da situação futura com a política de manutenção preventiva, diferentes cenários serão simulados mediante variação da média da distribuição ( $1/\lambda$ ).

### 3.5.2 Análise dos tempos entre falhas inevitáveis

A Tabela 3.4 apresenta todas as ocorrências de manutenção corretiva que foram motivadas por falhas classificadas como do tipo não evitável pela prática de manutenção preventiva, assim como os tempos entre a ocorrência dessas falhas. A Figura 3.6 mostra o histograma desses dados.

Data	Ocorrência	Tipo de Falha	Tempo Entre Falhas
8/2/2007	Reparo na rosca injetora de barrilha, que estava com os rolamentos quebrados	Não Evitável	245,6
19/3/2007	Manutenção da rosca dosadora de barrilha, que estava travada	Não Evitável	361,2
27/3/2007	Reparo na rosca dosadora de corante	Não Evitável	77,0
7/5/2007	Regulagem do eixo central do Vomm após a troca de rolamentos que estavam quebrados	Não Evitável	443,8
19/5/2007	Troca do contator no painel da rosca dosadora, que estava parando	Não Evitável	170,4
23/5/2007	Troca do motor da rosca injetora, que estava queimado	Não Evitável	64,9
26/5/2007	Desmontagem do dosador de corante, que estava com o motor queimado	Não Evitável	47,0
4/6/2007	Reparo no carrinho da talha do sal, que saiu fora do trilho. Reparo no comando da bomba de perfume, que não estava acionando	Não Evitável	68,0
5/6/2007	Ajuste dos parâmetros do inversor, pois a bomba estava parando	Não Evitável	24,2
15/6/2007	Desmontagem da rosca injetora, porque estava com o motor queimado	Não Evitável	81,0
18/7/2007	Reparo no sistema elétrico do Vomm e desentupimento do silo	Não Evitável	401,1
23/7/2007	Reparo no comando silo da envasadora de pó, pois o damper não estava abrindo	Não Evitável	51,3
24/7/2007	Reparo no comando silo da envasadora de pó, pois o damper não estava abrindo	Não Evitável	8,0
25/7/2007	Reparo no damper do silo da envasadora de pó, pois o atuador e o comando não estavam funcionando, e ele não abria. Reparo na bomba de perfume, que não estava atuando	Não Evitável	8,8
26/7/2007	Reparo no módulo de pesagem, que não estava funcionando	Não Evitável	11,3
31/7/2007	Limpeza no bico do Inkjet, que não estava imprimindo	Não Evitável	43,7
1/8/2007	Reparo na envasadora de pó, que estava apresentando falha no módulo de pesagem	Não Evitável	12,2
1/8/2007	Troca do micro do silo do Vomm e desentupimento do bico da bomba de perfume	Não Evitável	7,4
6/8/2007	Troca de bobina queimada na envasadora de pós	Não Evitável	38,3
8/8/2007	Reparo no sistema de perfume do Vomm, que estava dosando no silo de forma errada	Não Evitável	30,3
24/8/2007	Destravamento do micro de acionamento do silo	Não Evitável	173,8

**Tabela 3.4: Tempos entre falhas não evitáveis**



**Figura 3.6: Histograma de tempo entre falhas não evitáveis**

A saída do teste AD feito no Minitab para esses dados, que pode ser encontrada no Anexo A4, nos leva à conclusão de que a distribuição que melhor ajusta os dados é a Gamma de 3 Parâmetros. Entretanto, essa distribuição tem suas funções de densidade de probabilidade e de distribuição acumulada muito complexas de se trabalhar. Assim, optamos novamente pelo uso de uma distribuição de Weibull. Porém, para obter a melhor aderência possível dos pontos, optamos pelo uso da **distribuição de Weibull de 3 parâmetros**, que tem um parâmetro AD aceitável (0,303) e p-valor maior que 0.05, não rejeitando  $H_0$  ao nível de significância testado de 5%.

Em relação à distribuição de Weibull, a distribuição Weibull de 3 parâmetros contém a mais o parâmetro  $\theta$ . Trata-se de um parâmetro de localização, que indica um deslocamento da origem do gráfico da distribuição.

Para a distribuição Weibull de 3 parâmetros temos como função densidade de probabilidade:

$$f(x; k; \lambda; \theta) = \frac{k}{\lambda} \left( \frac{x - \theta}{\lambda} \right)^{k-1} e^{-\left( \frac{x - \theta}{\lambda} \right)^k}$$

Sua função de probabilidade acumulada, portanto, é:

$$F(x; k; \lambda; \theta) = 1 - e^{-\left( \frac{x - \theta}{\lambda} \right)^k}$$

Seguindo a lógica da simulação que está sendo proposta, geraremos números randômicos entre 0 e 1 que, através da equação que isola o x da função de distribuição acumulada de Weibull de 3 parâmetros, fornecerá o valor correspondente de intervalo entre falhas não evitáveis. A equação que dá esse valor é:

$$x = -[\ln(1 - r) * \lambda^k]^{1/k} + \theta$$

Onde:  $r$  = número entre 0 e 1 gerado randomicamente pela simulação;

$\lambda$  = escala, que no modelo proposto será igual a 86,66;

$k$  = forma, que no modelo proposto será igual a 0,7176;

$\theta$  = localização, que no modelo proposto será igual a 5,876.

Os valores dos parâmetros  $\lambda$ ,  $k$  e  $\theta$  foram fornecidos pelo software e são dados no Anexo A4 identificados como *Scale*, *Shape* e *Thresh* respectivamente. No Anexo A4 são também apresentados o papel de probabilidade dessa distribuição, o histograma com a forma da distribuição ajustada e o gráfico da função de distribuição acumulada.

### 3.5.3 Análise dos tempos de reparo

As Tabelas 3.5 e 3.6 fornecem os tempos de reparo para as falhas que foram detectadas como evitáveis e como inevitáveis. A partir delas, é feito um estudo estatístico para verificar se há a necessidade de separá-las em duas distribuições distintas ou se é admissível considerar que os tempos de reparo, para falhas evitáveis e inevitáveis, seguem uma mesma distribuição de probabilidades.

<b>Data</b>	<b>Hora Início</b>	<b>Hora Fim</b>	<b>Tempo de Reparo (horas)</b>
15/1/2007	13:35	14:00	0,42
27/2/2007	15:35	16:20	0,75
27/3/2007	17:10	17:40	0,50
23/4/2007	15:00	16:15	1,25
24/4/2007	11:55	13:45	1,83
8/5/2007	6:45	8:10	1,42
17/5/2007	18:20	22:10	3,83
23/5/2007	18:30	19:00	0,50
31/5/2007	7:10	16:00	8,83
1/6/2007	6:10	15:35	9,42
7/6/2007	6:00	14:20	8,33
31/7/2007	7:45	9:05	1,33
6/8/2007	6:20	7:10	0,83

**Tabela 3.5: Tempos de reparo para falhas evitáveis**

Data	Hora Início	Hora Fim	Tempo de Reparo (horas)
8/2/2007	6:35	10:05	3,50
19/3/2007	14:20	16:00	1,67
27/3/2007	8:00	16:00	8,00
7/5/2007	7:20	10:30	3,17
19/5/2007	18:10	22:00	3,83
23/5/2007	23:25	24:00	0,58
26/5/2007	5:00	5:50	0,83
4/6/2007	6:05	8:10	2,08
5/6/2007	20:20	20:40	0,33
15/6/2007	9:00	13:40	4,67
18/7/2007	15:45	20:30	4,75
23/7/2007	14:50	21:15	6,42
24/7/2007	14:15	20:10	5,92
25/7/2007	14:00	21:20	7,33
26/7/2007	17:40	20:50	3,17
31/7/2007	6:30	6:50	0,33
1/8/2007	6:20	7:15	0,92
1/8/2007	15:40	17:00	1,33
6/8/2007	14:10	17:00	2,83
8/8/2007	20:15	20:40	0,42
24/8/2007	10:30	12:20	1,83

**Tabela 3.6: Tempos de reparo para falhas inevitáveis**

O software Minitab fornece as saídas dos testes AD para os dados das Tabelas 3.5 e 3.6. Essas saídas se encontram no Anexo A5. Segundo esses testes, a distribuição que melhor se ajusta aos dados de tempos de reparo para falhas evitáveis é a distribuição de Weibull de 3 parâmetros, que tem valor AD baixo (0,464) e p-valor alto (0,266). Já para os tempos de reparo das falhas não evitáveis, a distribuição que melhor ajusta os dados é a de Weibull, que tem valor AD igual a 0,291 e p-valor maior que 0,25.

A diferença entre a Weibull e a Weibull de 3 parâmetros está no parâmetro  $\theta$ , que indica a localização, ou o deslocamento da distribuição em relação à origem. Dessa maneira, ambas as amostras estão representadas pela mesma distribuição, sendo que a amostra que representa os tempos de reparo para as falhas do tipo evitável está um pouco deslocada para a direita. Isso indica que pode haver a possibilidade de que os tempos de reparo para as falhas dos tipos evitável e não evitável sejam representados por uma única distribuição de Weibull. Para confirmar essa possibilidade, é preciso realizar testes de hipótese para comparar as médias e as variâncias das duas amostras. Caso esses testes revelem que há igualdade para esses dois parâmetros, os tempos

de reparo não precisam ser separados em duas distribuições distintas conforme o tipo de falha que motivou o reparo.

O primeiro teste de hipóteses a ser feito é uma comparação das variâncias. A literatura comumente indica os testes Chi-quadrado e F de Snedecor para a comparação de variâncias. Entretanto, Neto(2002) nota que esses testes somente são válidos quando as amostras provêm de distribuições normais, o que não ocorre no caso tratado. Assim, o teste indicado para fazer a comparação das variâncias dessas duas amostras é o teste de Levene, adequado a qualquer distribuição contínua, que pode ser representado pelo seguinte teste de hipóteses:

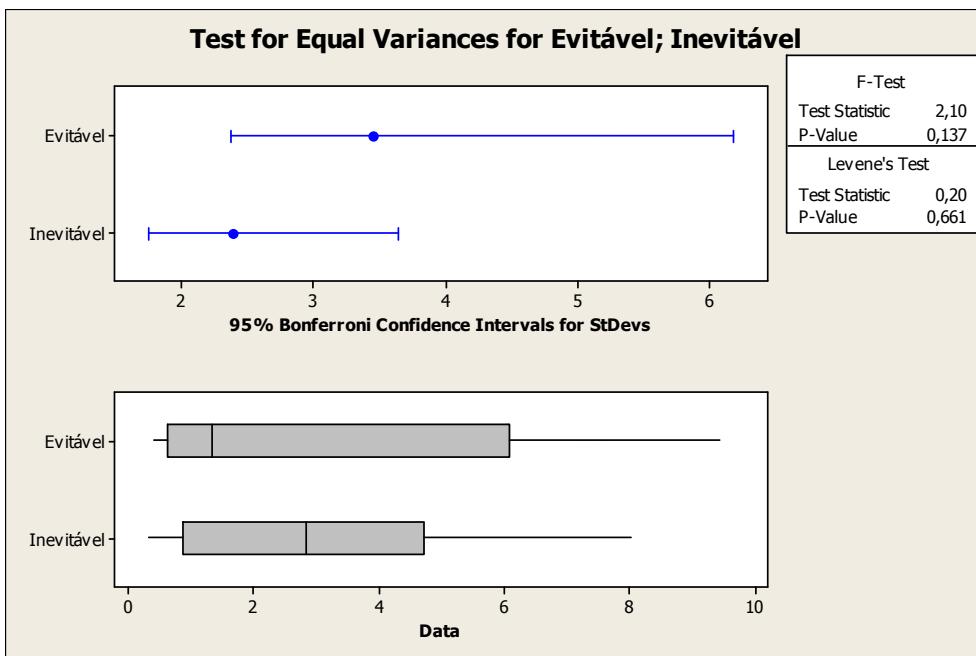
$$\begin{aligned} H_0: \sigma_1^2 &= \sigma_2^2 \\ H_1: \sigma_1^2 &\neq \sigma_2^2 \end{aligned}$$

Com o software Minitab foi realizado o teste de Levene, que considerando intervalos de confiança ao nível de 95% de confiabilidade. A saída obtida está representada na Tabela 3.7:

i	Tipo de falha	n <sub>i</sub>	Limite Inferior	Limite Superior	Desvio Padrão
1	Evitável	13	2,36647	6,17263	3,45174
2	Inevitável	21	1,75570	3,63914	2,38027

**Tabela 3.7: Saída do Minitab para o teste de Levene**

A Figura 3.7 mostra o resultado desse teste de forma gráfica.



**Figura 3.7:** Saída do Minitab representando graficamente o resultado do teste de Levene

Como se pode notar, o p-valor é maior do que 0,05 e assim a hipótese  $H_0$  não é rejeitada. Assim, consideraremos que as variâncias das duas amostras, ao nível de significância de 5% são iguais.

O próximo passo será a realização do teste de comparação das duas médias, considerando que as variâncias da população são desconhecidas, porém supostas iguais (devido ao resultado obtido no teste de Levene). O teste realizado é do tipo t de Student, como abaixo:

$$\begin{aligned} H_0: \mu_1^2 &= \mu_2^2 \\ H_1: \mu_1^2 &\neq \mu_2^2 \end{aligned}$$

$$t_{\text{calc}} = t_{n_1+n_2-2} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{s_p^2 \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$$s_p^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

Assim, temos, ao nível de 5% de significância:

$$s_p^2 = 8,0$$

$$t_{\text{calc}} = -0,025$$

$$t_{\text{crit}} = t_{n1+n2-2; 2,5\%} = t_{13+21-2; 2,5\%} = t_{32; 2,5\%} = 2,037$$

Como  $|t_{\text{calc}}| < t_{\text{crit}}$ , não podemos rejeitar  $H_0$ . Dessa maneira, concluímos que podemos admitir que os tempos de reparo para falhas do tipo evitável e não evitável seguem a mesma distribuição de Weibull, sendo desnecessário considerar duas distribuições diferentes para encontrar os tempos de reparo para os dois tipos de falhas estudadas, para fins de geração de números randômicos na simulação de Monte Carlo que será proposta. Utilizando a mesma saída que já havíamos utilizado para o teste AD de tempos de reparo na seção 3.2, que pode ser encontrada no Anexo A2, veremos que a distribuição que melhor se ajusta aos dados é uma **Weibull de 3 parâmetros**. O parâmetro AD vale 0,331 e o p-valor é maior que 0,5.

A equação que será utilizada para encontrar os tempos de reparo, isolando o  $x$  da função de distribuição acumulada e definindo-o em função de um número randômico  $r$  entre 0 e 1 será:

$$x = -\left[ \ln(1 - r) * \lambda^k \right]^{\frac{1}{k}} + \theta$$

Onde:  $r$  = número entre 0 e 1 gerado randomicamente pela simulação;

$\lambda$  = escala, que no modelo proposto será igual a 2,565;

$k$  = forma, que no modelo proposto será igual a 0,8661;

$\theta$  = localização, que no modelo proposto será igual a 0,2863.

Os valores dos parâmetros  $\lambda$ ,  $k$  e  $\theta$  são fornecidos pelo software Minitab e são dados no Anexo A5, identificados como *Scale*, *Shape* e *Thresh*, respectivamente. No Anexo A5 são também apresentados o papel de probabilidade para os dados conjuntos dos tempos de reparo (representados na Tabela 3.1), o histograma com a distribuição ajustada e o gráfico da função de distribuição acumulada.

### 3.6 Simulação computacional com método de Monte Carlo

Uma vez encontrados os tipos de falhas a serem considerados e as distribuições de probabilidade que se ajustam aos dados referentes a elas, temos, finalmente, os elementos necessários para que possamos realizar a simulação de Monte Carlo da situação futura com a política de manutenção preventiva. Ela simulará, a partir das distribuições dos tempos entre falhas evitáveis e não evitáveis e dos tempos de reparo, como o equipamento se comportará durante um período suficientemente longo. No presente estudo, foi adotado um período de tempo simulado de 20000 horas. Deve-se ressaltar utiliza-se como premissa do programa a independência entre as distribuições dos tempos entre falhas evitáveis e inevitáveis. Considera-se que essa premissa é aceitável visto que as falhas inevitáveis são, em sua maioria, devido a falhas em componentes eletrônicos, enquanto as falhas evitáveis são em sua maioria mecânicas, não interferindo assim uma distribuição na outra. O programa, escrito em linguagem C, encontrado no Anexo B, gera números randômicos, que são os alimentadores das equações encontradas na seção 3.5 e que geram os tempos de falhas e de reparos. Esses tempos alimentam relógios que marcam o tempo de máquina em funcionamento, o tempo de máquina em reparo, o tempo até o instante de ocorrência da próxima falha evitável, assim como o tempo até o instante de ocorrência da próxima falha inevitável ou da próxima parada para realização de manutenção preventiva. Ao final, o programa fornece os dados de quantas manutenções preventivas ocorreram, quantas falhas de cada tipo ocorreram, qual foi o tempo de máquina em produção, o tempo de máquina parada, o OEE e a disponibilidade da máquina. O objetivo dessa simulação é estudar como o fato de se parar o processo para realizar manutenções preventivas impacta na disponibilidade da máquina. Ao encontrar a disponibilidade máxima, deseja-se apontar qual o intervalo de tempo mais adequado para se realizar essas paradas, obtendo-se a maior disponibilidade ao menor custo possível. O Anexo E traz o fluxograma explicativo dessa simulação.

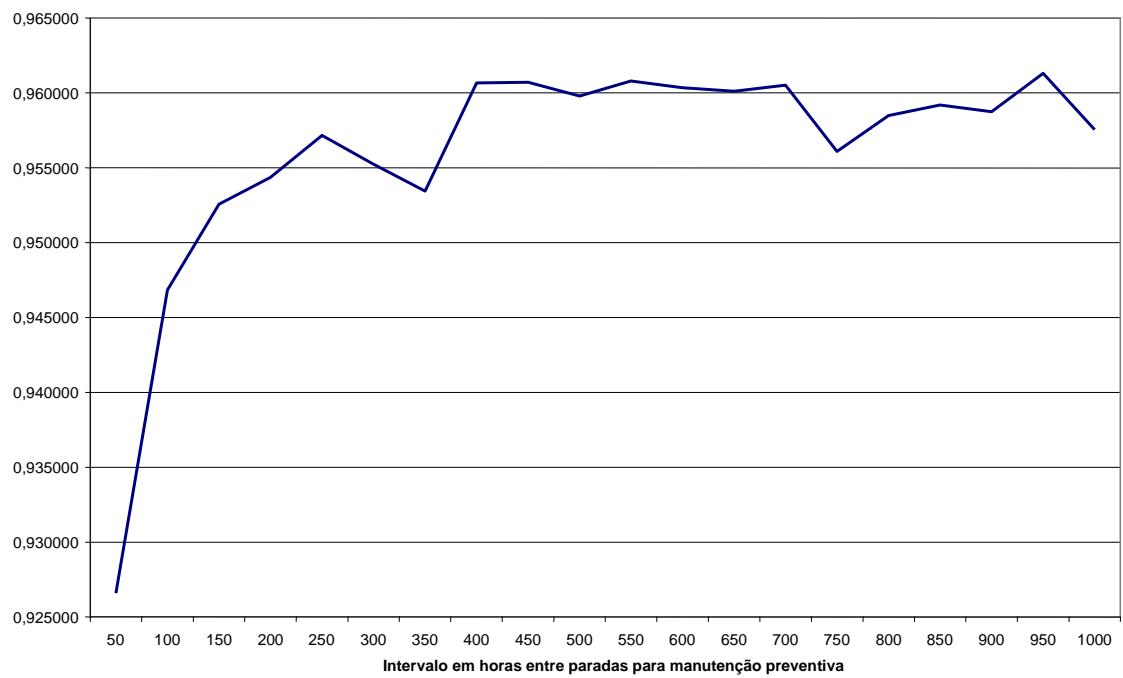
Um detalhe muito importante sobre as simulações realizadas é que, como hoje a prática de manutenção preventiva não é difundida na empresa, não há um histórico que pudesse ser analisado sobre como as falhas evitáveis passam a se comportar após o início da realização desse tipo de manutenção. Assim, vários cenários hipotéticos foram gerados, supondo que a média dos intervalos de tempo entre as quebras evitáveis seja aumentada de 25, 50, 75, 100, 125 e 150% de

sua média atual. Essas suposições foram feitas exclusivamente para as falhas do tipo evitável, visto que a prática de manutenção preventiva não elimina o problema das quebras do tipo inevitável, que continuam ocorrendo aleatoriamente.

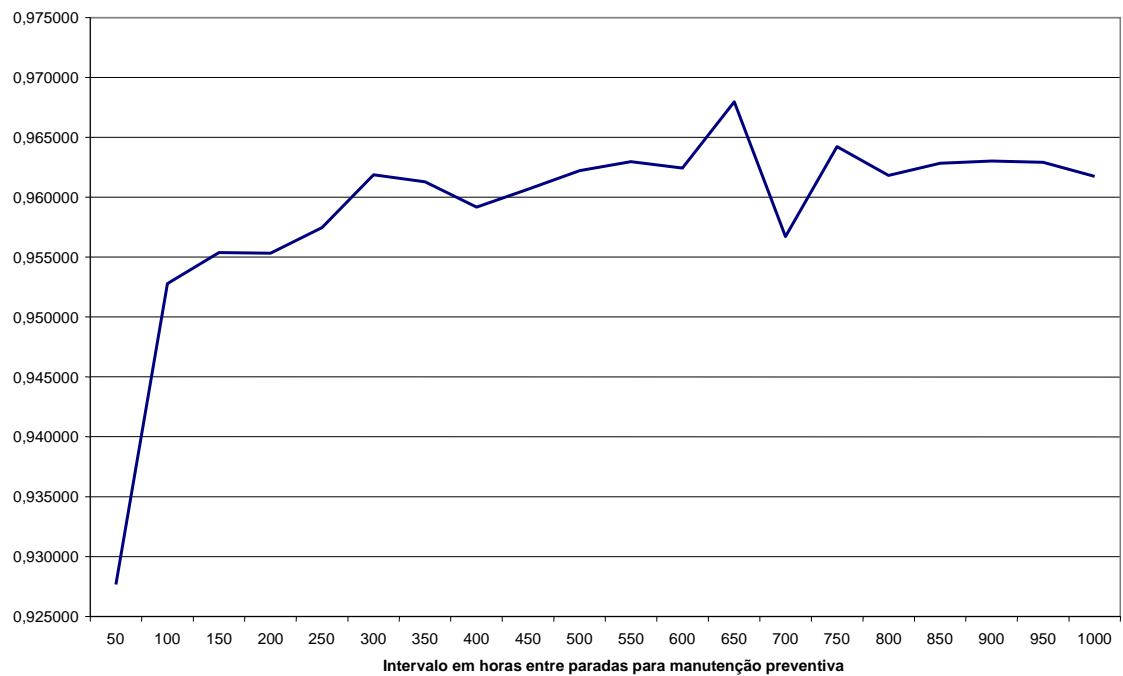
Em todos os cenários que serão estudados, sempre compararemos o resultado da disponibilidade resultante com um mínimo de 95%, que é o valor encontrado na situação atual. Devemos aqui retomar o ponto que, apesar do equipamento atualmente já ter uma disponibilidade alta, trata-se de um gargalo importante, em que todo produto que é produzido é vendido e, mesmo assim, não se tem capacidade suficiente para atender à demanda, que cresce em ritmo acelerado. Ao mesmo tempo, esse equipamento é o que apresenta, de forma disparada, o maior número de intervenções corretivas, como foi demonstrado nas Figuras 1.1 e 1.2. Assim, qualquer ação que reduza esse tipo de intervenção e aumente a disponibilidade do equipamento, em qualquer patamar, é bem-vinda e traz retorno financeiro para a empresa, além de assegurar e consolidar sua reputação no mercado, ao atender o cliente de forma cada vez melhor.

As simulações de cada cenário foram realizadas variando-se a variável que controla o tempo de intervalo entre as manutenções preventivas. Estas paradas terão sempre a duração de 2,5 horas. Esse tempo foi fixado considerando que no capítulo 4 será estimado um tempo de 2 horas e 10 minutos para se realizar as inspeções das manutenções preventivas. Assim, colocamos uma margem para que ocorram pequenos reparos ao longo dessas inspeções. Não foi possível considerar a aleatoriedade dos tempos de duração dessas paradas pois não há um histórico para esse tipo de atividade.

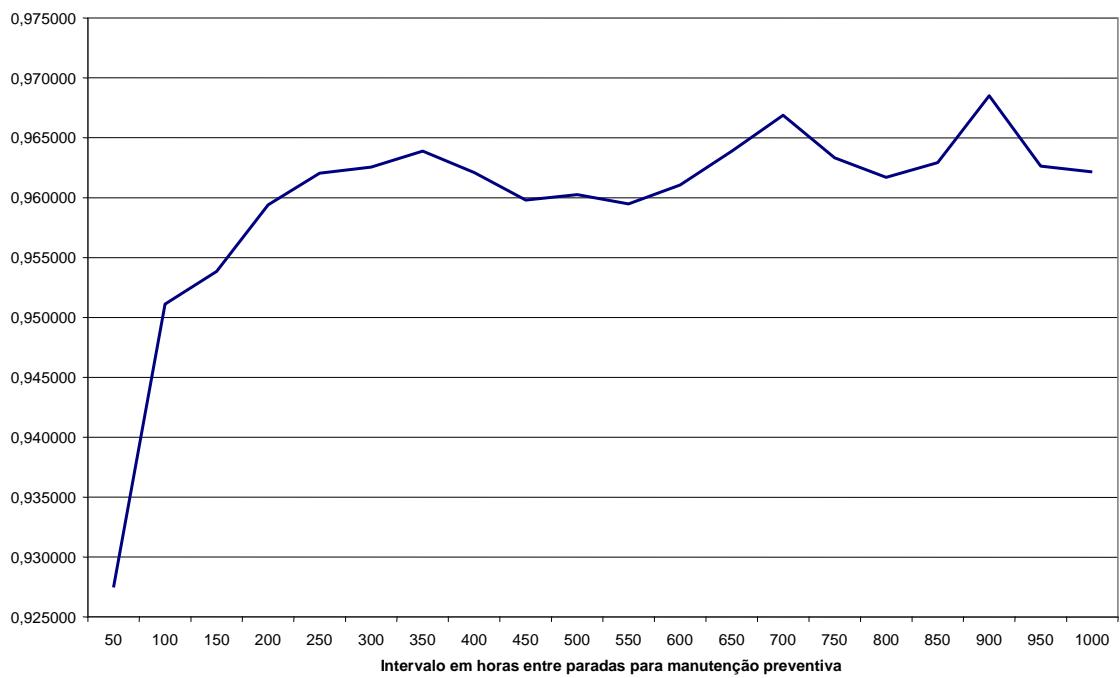
As Figuras 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12 e 3.13 apresentam o comportamento da disponibilidade conforme se varia o intervalo para as paradas de manutenção preventiva, para todos os cenários de aumento da média do tempo entre falhas evitáveis. Cada intervalo, dentro de cada cenário, foi simulado dez vezes, e o resultado apresentado nos gráficos é o da média dos resultados. Com isso, procura-se minimizar os efeitos da ocorrência de pontos isolados que sejam muito “melhores” ou “piores” que a situação mais provável. Os resultados que indicam a disponibilidade média obtida para cada intervalo, dentro de cada cenário, estão tabulados no Anexo D.



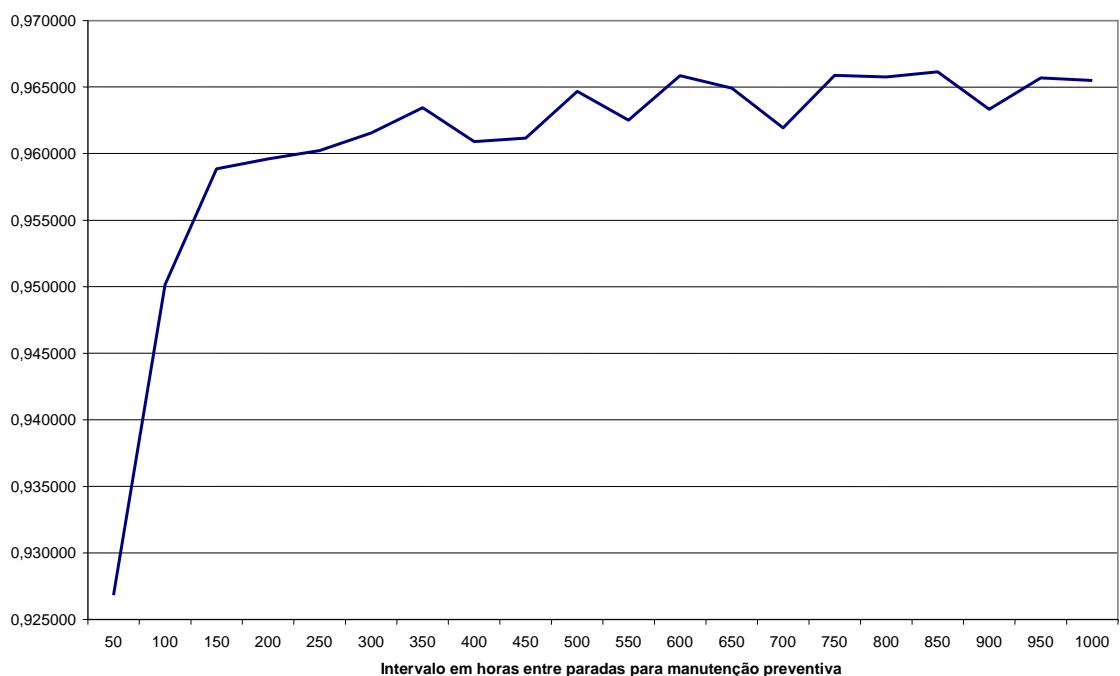
**Figura 3.8:** Comportamento da disponibilidade no cenário de 25% de aumento na média de tempos entre falhas evitáveis



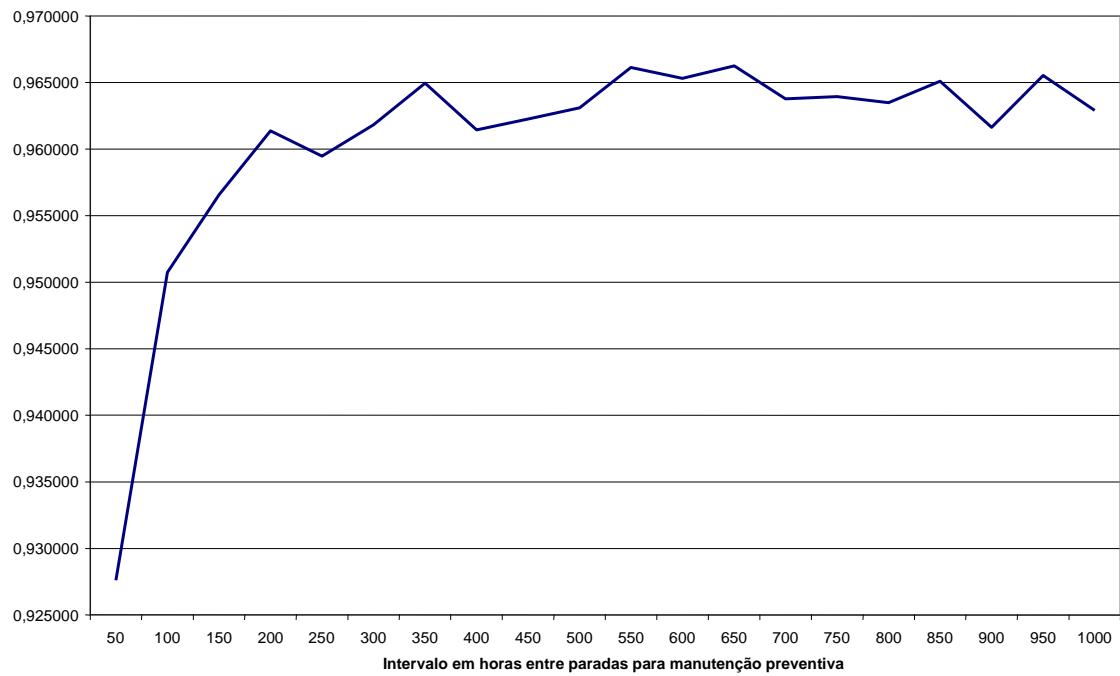
**Figura 3.9:** Comportamento da disponibilidade no cenário de 50% de aumento na média de tempos entre falhas evitáveis



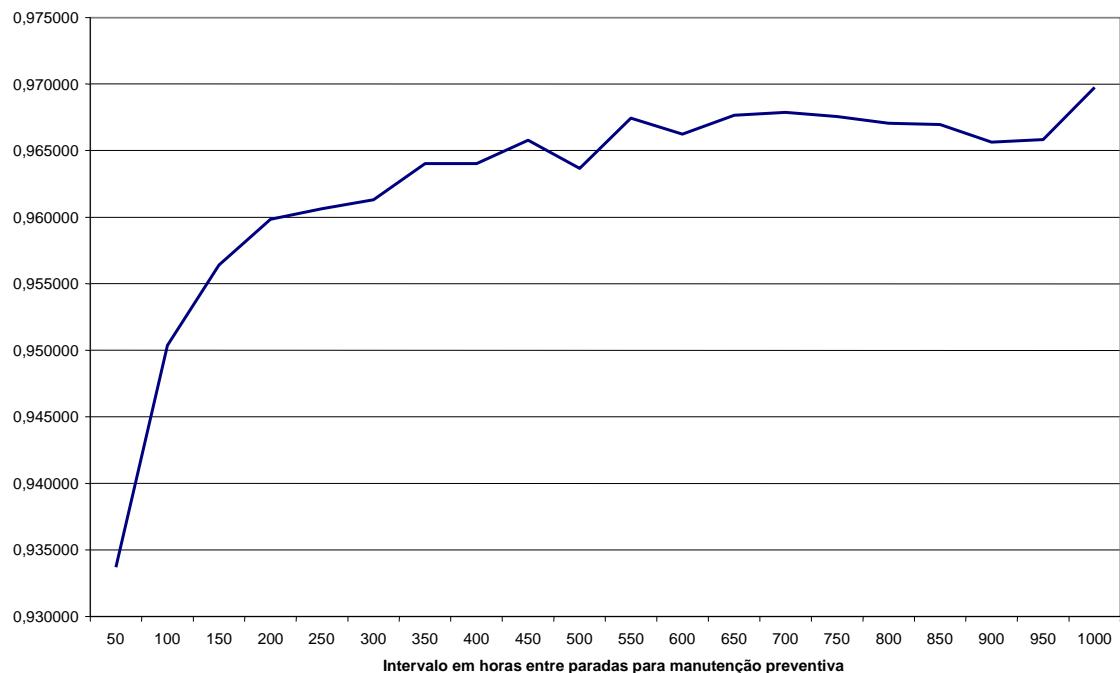
**Figura 3.10: Comportamento da disponibilidade no cenário de 75% de aumento na média de tempos entre falhas evitáveis**



**Figura 3.11: Comportamento da disponibilidade no cenário de 100% de aumento na média de tempos entre falhas evitáveis**



**Figura 3.12: Comportamento da disponibilidade no cenário de 125% de aumento na média de tempos entre falhas evitáveis**



**Figura 3.13: Comportamento da disponibilidade no cenário de 150% de aumento na média de tempos entre falhas evitáveis**

Nota-se que o comportamento da disponibilidade, conforme se aumenta o intervalo em horas para a realização de paradas preventivas, para todos os cenários testados, é muito semelhante. Todos eles têm um rápido crescimento da disponibilidade na faixa de intervalos entre 50 e 250 horas. Nota-se também que intervalos muito curtos entre as paradas para manutenção preventiva na realidade prejudicam a utilização do equipamento para produção, pois resultam em patamares inferiores a 95% de disponibilidade. Para intervalos maiores, a disponibilidade passa a ter um comportamento assintótico, ou seja, o intervalo entre as paradas se alonga, mas a disponibilidade se mantém no mesmo patamar máximo. Quanto maior o aumento que ocorrer na média do tempo entre falhas evitáveis, maior deve ser a disponibilidade máxima resultante. Além disso, quanto maior o aumento na média do tempo entre falhas evitáveis, maior é o deslocamento da curva para a direita. Ou seja, quanto maior esse aumento, mais para a direita da curva se encontrará o ponto em que a mesma atinge sua assíntota, o que indica que ela é atingida sob um intervalo entre paradas para realização de manutenção preventiva mais largo.

Entretanto, apenas a observação do comportamento da curva não foi suficiente para se chegar a uma conclusão clara de qual é o melhor intervalo entre paradas a ser adotado para a realização de manutenções preventivas em cada cenário, uma vez que a curva apresentou comportamento assintótico. Para se chegar a essa conclusão é necessário fazer um cruzamento dessa análise com uma análise de custos. O intervalo que resultar na melhor relação custo x benefício deve ser o eleito para a programação das paradas proposta.

### **3.7 Análise de custos das manutenções**

As simulações dos seis diferentes cenários revelam um comportamento interessante da disponibilidade do equipamento. Apesar de termos um resultado positivo em relação ao aumento de disponibilidade em todos os cenários testados, ao passarmos a realizar manutenções preventivas periódicas no equipamento, não conseguimos detectar um ponto claro em que a disponibilidade é máxima conforme testamos os diferentes intervalos entre paradas. A tendência é sempre de aumento rápido na disponibilidade, tendendo a uma assíntota a partir de um certo ponto. Isso indica a necessidade de realizar uma análise de custos para se determinar qual será o intervalo entre paradas mais adequado para cada um dos cenários. Devemos escolher o intervalo

que nos fornece a disponibilidade máxima ao menor custo, desde que isso traga economia em relação ao que a empresa gasta atualmente limitando-se a realizar apenas manutenções corretivas.

Para fazer uma análise de custos, devemos encontrar qual o valor do custo de cada tipo de manutenção realizada: preventiva e corretiva. Uma vez obtidos esses valores, podemos utilizá-los para calcular quais seriam os gastos que a empresa teria ao realizar manutenção preventiva, para cada intervalo entre paradas. Esse valor será calculado a partir da saída da simulação, que nos informa quantas falhas evitáveis, inevitáveis e quantas manutenções preventivas ocorreram durante o período das 20000 horas de simulação. Em seguida, comparamos esse valor com quanto estimamos que seria gasto em manutenções corretivas no Vomm para as mesmas 20000 horas.

O custo de uma manutenção preventiva pode ser decomposto em custo de mão-de-obra dos manutentores e custo das peças de reposição. O histórico apresentado na Tabela 3.1 mostra que há uma média de 3,875 intervenções corretivas por mês no equipamento. Informações da contabilidade da empresa nos mostram que se gasta, em média, 800 reais por mês em peças de reposição para o Vomm. Assim, podemos admitir que o gasto médio por intervenção, corretiva ou preventiva, no equipamento com peças é de R\$206,45. O custo de cada hora de um manutentor é de R\$13,60. Assim, o custo de cada manutenção preventiva pode ser estimado em R\$274,45. A Tabela 3.9 mostra esse cálculo.

Gasto com mão-de-obra	2 manutentores x R\$13,6/hora x 2,5 horas de manutenção = R\$68
Gasto com peças de reposição	R\$206,45 por intervenção preventiva
<b>Total</b>	<b>R\$274,45 por intervenção preventiva</b>

**Tabela 3.8: Custo por intervenção preventiva**

O custo de uma manutenção corretiva envolve mais fatores do que o de uma parada preventiva. O fato de que uma intervenção corretiva ocorra sempre em uma situação não programada, aliada ao fato do Vomm ser um gargalo em que tudo que se produz é vendido, faz com que tenhamos que incluir nesse custo um fator de quanto a empresa deixa de lucrar ao ocorrer uma falha que exige ação corretiva. Para a manutenção preventiva isso não ocorre, pois a mesma já estava programada pelos programadores de produção, ou seja, não há perda da produção que estava programada. Já se sabia previamente quanto o equipamento disponibilizaria para venda, e o departamento de vendas não deixaria de atender a entrega prometida ao cliente,

pois saberia exatamente quanto o equipamento poderia produzir. Um outro fator que é incluído nesse custo é o valor da mão-de-obra dos operadores que ficam parados quando ocorre uma falha de caráter corretivo. Quando se faz uma programação para uma parada para manutenção preventiva, a mão-de-obra empregada no Vomm pode ser previamente realocada e aproveitada em outras atividades, não ficando ociosa.

Atualmente, o Vomm tem produzido em média 55 toneladas de produtos em pó por dia, em 14 horas de produção. O histórico da Tabela 3.1 indica que a média de tempo de duração de um reparo é de 2,78 horas. Assim, cada parada para manutenção corretiva causa uma perda média de 10920kg de produto. A Tabela 3.10 indica qual a lucratividade líquida por quilograma de produto em pó produzido no Vomm para a empresa, considerando uma média ponderada baseada no quanto cada produto utiliza das horas disponíveis deste equipamento.

Código do produto	% de uso do Vomm	Margem/kg	Margem/kg média
2365	25%	R\$ 1,18	R\$ 0,29
2265	7%	R\$ 0,48	R\$ 0,03
2370	13%	R\$ 0,58	R\$ 0,08
32266	7%	-R\$ 0,04	R\$ 0,00
32366	22%	R\$ 0,28	R\$ 0,06
2606	12%	R\$ 0,18	R\$ 0,02
2271	6%	R\$ 0,02	R\$ 0,00
2263	3%	-R\$ 0,08	R\$ 0,00
232370	3%	R\$ 0,14	R\$ 0,00
222307	2%	R\$ 0,30	R\$ 0,01
<b>Total</b>		<b>R\$ 0,49</b>	

**Tabela 3.9: Margem líquida por quilograma de produto produzido no Vomm**

Concluímos, portanto que para cada intervenção corretiva, com duração média de 2,78 horas, a perda real em vendas para a empresa é de R\$5351,50. A Tabela 3.11 resume os custos de uma intervenção corretiva.

Gasto com mão-de-obra de manutentores	2 manutentores x R\$13,6/hora x 2,78 horas de manutenção = R\$76,72
Gasto com peças de reposição	R\$206,45 por intervenção corretiva
Gasto com mão-de-obra de operadores	7 operadores x R\$13,6/hora x 2,78 horas de manutenção = R\$264,76
Perda real em vendas	R\$5351,50
<b>Total</b>	<b>R\$5899,33 por intervenção corretiva</b>

**Tabela 3.10: Custo por intervenção corretiva**

Uma vez feita a análise do comportamento da disponibilidade para diferentes possíveis cenários futuros, obtida com a simulação de Monte Carlo, e a análise dos custos de cada

intervenção para manutenção, é possível fazer um cruzamento das informações obtidas para encontrar qual o melhor intervalo entre paradas para realização das manutenções preventivas, quando esta nova política estiver implementada na empresa.

O histórico da Tabela 3.1 mostra que, em 2370 horas de equipamento produzindo, houve 24 manutenções corretivas. Assim, podemos supor que em 20000 horas de produção, haveria cerca de 287 paradas para manutenção corretiva, caso não houvesse a introdução da política de manutenção preventiva. Seguindo a análise de custos realizada, essas quebras causariam um ônus de **R\$1.693.000,00** para a empresa nesse período. Esse é o valor que será comparado com o que seria gasto pela empresa ao implementar a política de preventivas. No Anexo D se encontram as tabelas que mostram esses custos em números. Esses custos totais são obtidos da seguinte maneira:

$$CT = MCFE * CC + MCFI * CC + MP * CP$$

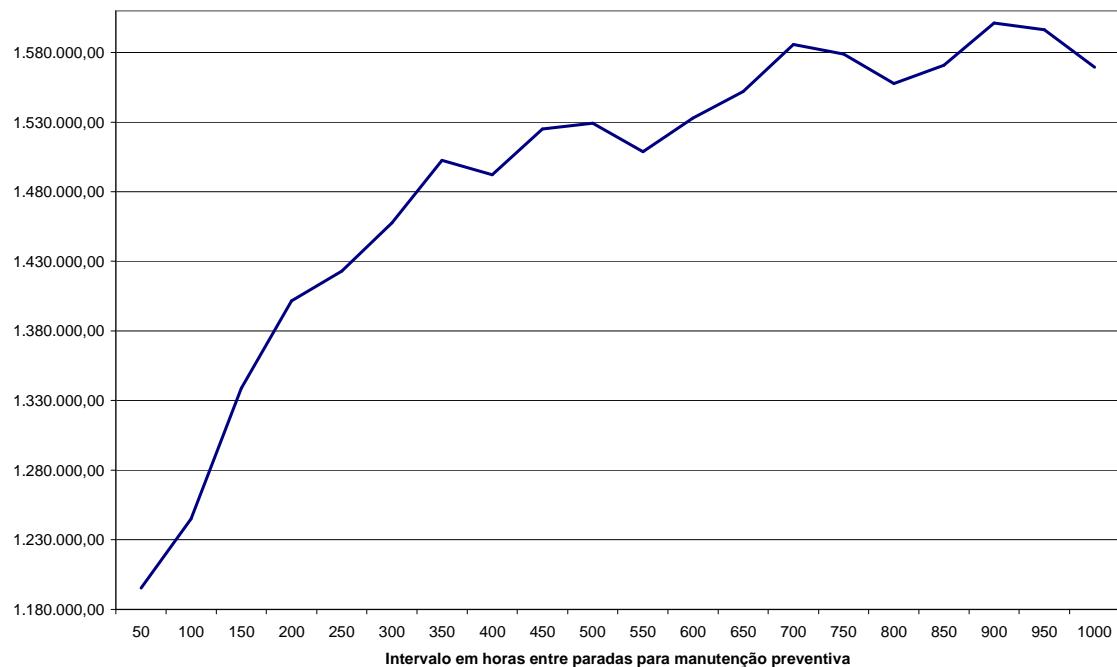
Onde:

- CT = Custo total
- MCFE = Número médio de manutenções corretivas que ocorreram devido às falhas evitáveis (média obtida de 10 simulações);
- MCFI = Número médio de manutenções corretivas que ocorreram devido às falhas inevitáveis (média obtida de 10 simulações);
- MP = Número médio de manutenções preventivas;
- CC = Custo de uma intervenção corretiva;
- CP = Custo de uma intervenção preventiva.

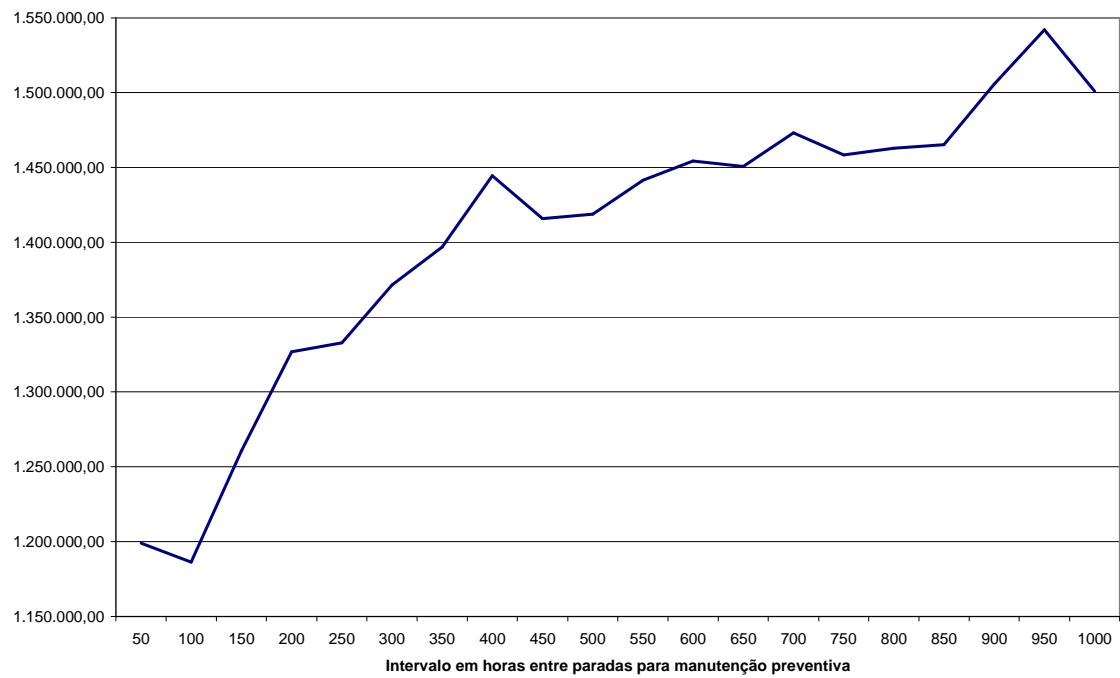
Cada intervalo dentro de um determinado cenário foi simulado dez vezes. Os valores encontrados para MCFE e MP foram obtidos calculando-se a média dos números de falhas evitáveis e de manutenções preventivas que foram fornecidos pela simulação para cada intervalo, em cada cenário. Já o valor de MCFI foi obtido calculando-se a média de todas as simulações feitas para um determinado cenário. Uma vez que o número de falhas devido a falhas inevitáveis

não está diretamente ligado ao intervalo entre paradas para manutenção preventiva, essa foi a forma escolhida para reduzir o efeito de pontos aleatórios extremos que possam ter ocorrido nas simulações.

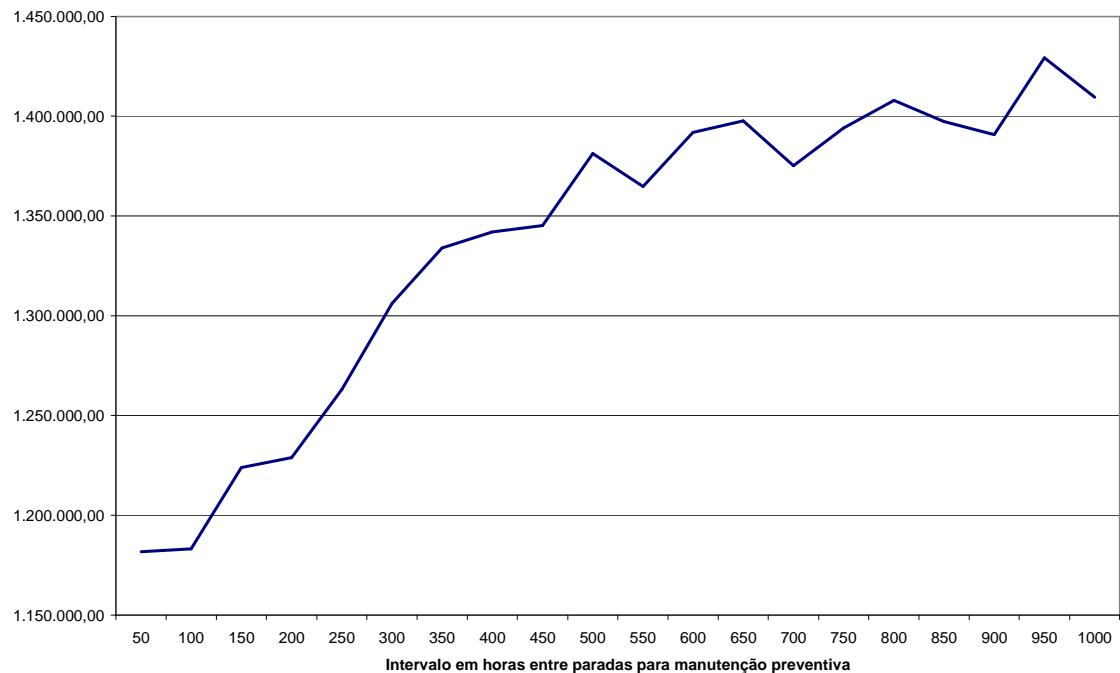
As Figuras 3.14 a 3.19 apresentam os gráficos de como se comportaram os custos totais para os seis cenários diferentes que foram estudados.



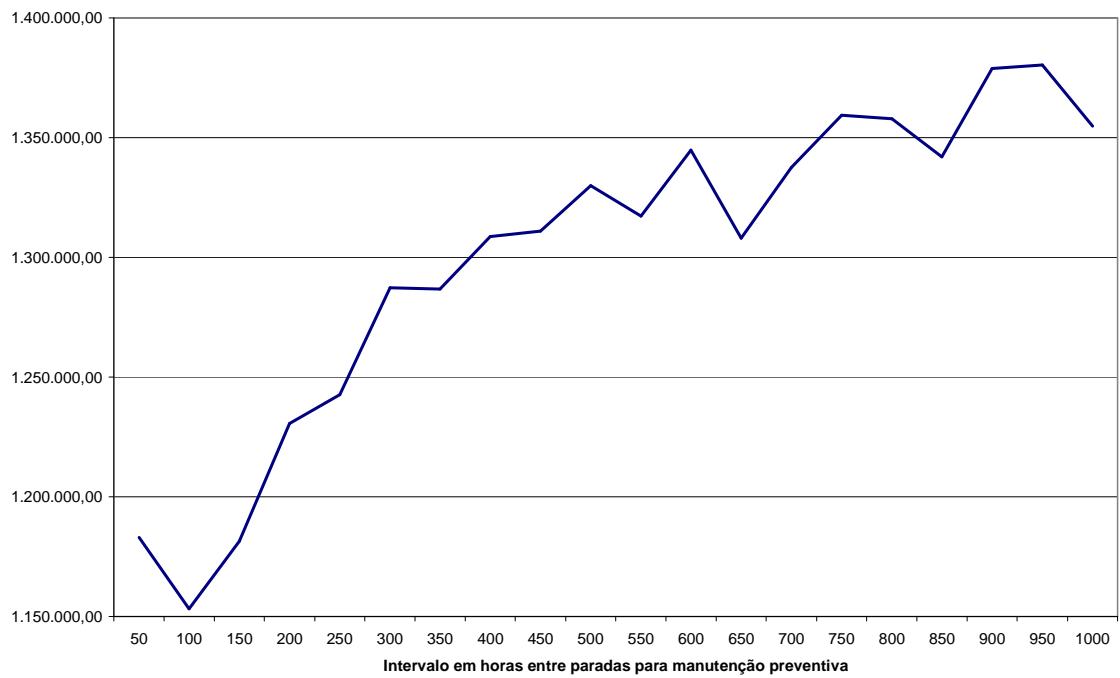
**Figura 3.14: Custos totais para o cenário de aumento de 25% da média de tempo entre falhas evitáveis**



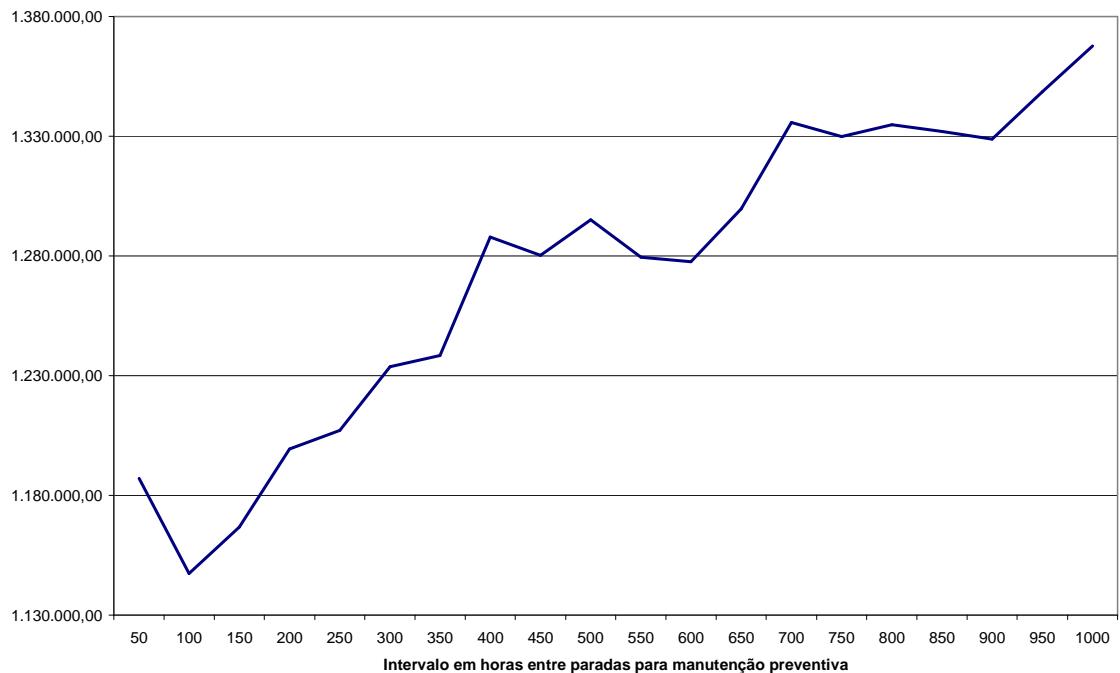
**Figura 3.15:** Custos totais para o cenário de espaçamento de 50% da média de tempo entre falhas evitáveis



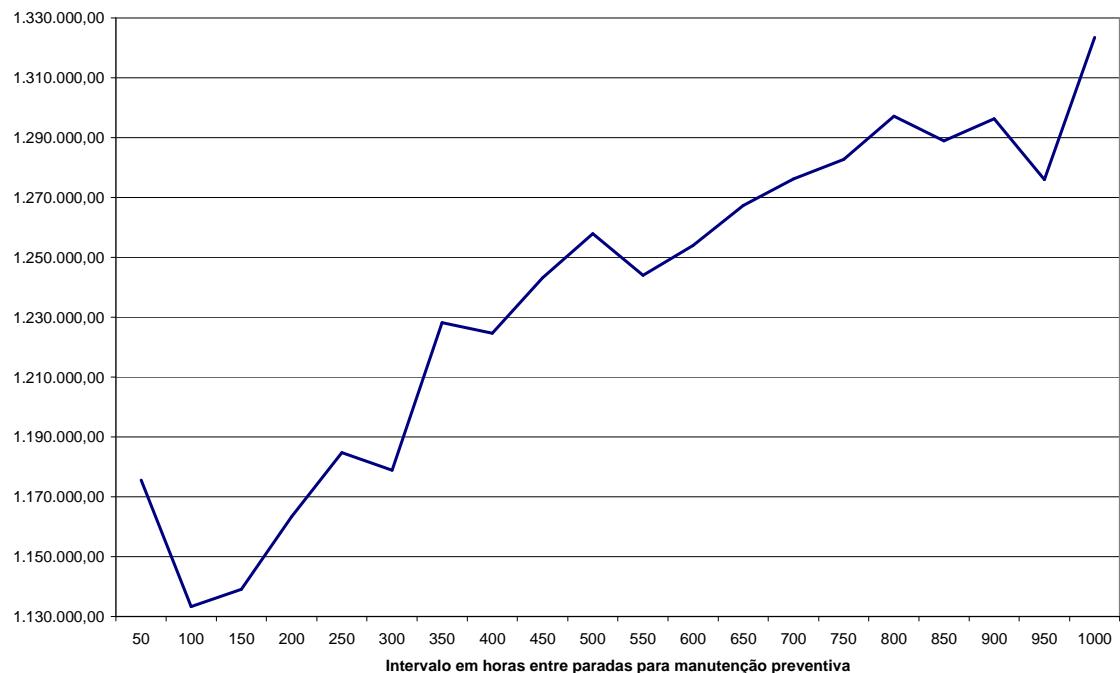
**Figura 3.16:** Custos totais para o cenário de espaçamento de 75% da média de tempo entre falhas evitáveis



**Figura 3.17: Custos totais para o cenário de espaçamento de 100% da média de tempo entre falhas evitáveis**



**Figura 3.18: Custos totais para o cenário de espaçamento de 125% da média de tempo entre falhas evitáveis**



**Figura 3.19: Custos totais para o cenário de espaçamento de 150% da média de tempo entre falhas evitáveis**

Nota-se que os custos são crescentes, conforme aumentamos o intervalo em horas para a realização de paradas para manutenção preventiva. Isso ocorre pois o custo de uma manutenção corretiva é muito superior àquele de realização de uma manutenção preventiva. Dessa forma, quanto mais tempo se demora para que se pare o equipamento e se realize uma manutenção preventiva, maior será a ocorrência de falhas devido a quebras evitáveis, que provoca uma parada e gera uma necessidade de intervenção corretiva na máquina e, consequentemente, altos custos. Além disso, conforme passamos de um cenário em que supomos que a ocorrência de manutenções preventivas aumenta a média do tempo médio entre quebras do tipo evitável de uma porcentagem menor para uma porcentagem maior, o custo total de intervenções, preventivas e corretivas dos dois tipos, diminui. Isso ocorre porque esse aumento na média faz com que ocorram menos quebras do tipo evitável, incorrendo em menores custos de realização de intervenções corretivas. Percebemos também que o custo máximo nunca chegou àquele que calculamos que incorreria caso não fosse implementada uma política de manutenção preventiva.

A conclusão a que chegamos é que devemos sempre realizar as paradas para manutenção preventiva no menor intervalo em horas possível que atinja o máximo de disponibilidade dentro

do cenário testado, pois assim garantimos que a máquina terá a maior disponibilidade possível, ao menor custo. Ou seja, devemos escolher o ponto em que a assíntota é atingida nos gráficos que mostram o comportamento da disponibilidade em função do intervalo entre cada parada para manutenção preventiva (Figuras 3.8 a 3.13). A Tabela 3.11 organiza um resumo dessa informação para todos os cenários simulados. A economia foi calculada comparando-se o valor do custo total de manutenção que será gasto ao se realizar manutenção preventiva dentro do intervalo em horas escolhido com o valor de R\$1.693.000,00 que é o ônus que a JD incorreria caso a nova política de manutenções preventivas não seja implementada.

**Tabela 3.11: Resumo das conclusões e resultados**

Cenário	Disponibilidade máxima	Ganho em produção (em kg/dia)	Ganho em vendas (por dia)	Intervalo a ser usado entre paradas para manutenção preventiva	Economia
Aumento de 25% do tempo entre falhas evitáveis	95,75%	412,5	R\$212,12	400 horas	12%
Aumento de 50% do tempo entre falhas evitáveis	96,25%	687,5	R\$336,88	450 horas	16%
Aumento de 75% do tempo entre falhas evitáveis	96,25%	687,5	R\$336,88	450 horas	21%
Aumento de 100% do tempo entre falhas evitáveis	96,38%	759	R\$371,91	450 horas	23%
Aumento de 125% do tempo entre falhas evitáveis	96,50%	825	R\$404,25	500 horas	23%
Aumento de 150% do tempo entre falhas evitáveis	96,75%	962,5	R\$471,63	550 horas	27%

## 4 Política de Manutenção Preventiva

A grande finalidade desse trabalho é propor uma política de manutenção preventiva a ser aplicada no Vomm. Dessa maneira, espera-se reduzir a próximo de zero as intervenções corretivas relacionadas a falhas do tipo evitável.

### 4.1 Aplicação do FMEA

Para fazer uma análise inicial de como esse tipo de manutenção deve ser aplicado, devemos analisar os componentes que apresentam falhas apresentados na Figura 1.3 e, para cada um, fazer um estudo dos efeitos, da gravidade, das ações a serem tomadas e das formas de controle de cada tipo de falha que podemos detectar comumente no equipamento. Para isso, será utilizada uma ferramenta de formato semelhante ao FMEA (Análise dos modos de falhas e efeitos). A ferramenta FMEA, muito comum em engenharia de produção, costuma ser apresentada para prognosticar problemas em projetos ou processos. Por estarmos tratando justamente de um processo de manutenção preventiva, a aplicação dessa ferramenta parece ser ainda mais adequada. A forma como será apresentada assemelha-se à de FMEA de processos, mas deve-se observar que não foram considerados como processos as etapas de manufatura do produto, mas sim cada componente que apresentou falha. Isso porque estamos considerando como processo a própria manutenção preventiva a ser aplicada no Vomm, considerando que cada componente a ser inspecionado é uma etapa desse processo na visão do manutentor. O Anexo C traz uma tabela que serve como referência para avaliação dos índices usados nessa ferramenta (severidade, ocorrência, detecção), adaptada de Palady (1997).

A aplicação da ferramenta FMEA às 11 principais partes ou componentes do Vomm que apresentaram problemas é mostrada na Tabela 3.8. Pode-se notar que, para a grande maioria dos componentes, foi atribuída a nota 9 para severidade. Isso ocorre pois as falhas relacionadas a esses componentes geram manutenções do tipo corretiva, que necessariamente param a linha de produção, pois caracterizam problemas mecânicos ou eletrônicos que impedem o funcionamento do Vomm, ou então são geradoras de produtos fora de especificação. Uma parada na linha de

produção de um equipamento gargalo como o Vomm tem um alto custo financeiro para a empresa. Já a ocorrência foi graduada a partir do histórico de quebras, enquanto que o grau dado para detecção foi obtido em comum acordo com o pessoal do departamento de manutenção.

Funções	Modos de Falha	Efeitos	S e v e r i d a d e	Causas	O c o r r ê n c i a	Formas de Controle	D e t e c ç à o	Ações Recomendadas
<b>Silo:</b> Receber o pó misturado no Vomm e direcioná-lo à linha de envase correta.	-Não direcionamento do pó às linhas de envase	-Parada da linha de envase	9	-Problemas eletrônicos não detectáveis, como falhas no comando do silo	9	Não se pode realizar manutenção preventiva para esse caso	9	Realizar algum estudo para implementação de manutenção preditiva
<b>Rosca Injetora:</b> Injetar barrilha dentro do misturador	-Travamento dos rolamentos	Funcionamento forçado dos eixos; -Queima do motor	9	-Vazamento de pó, que se acumula nas gaxetas	9	Manutenção preventiva	3	Verificar se há ruído indicativo de funcionamento forçado e verificar visualmente se há vazamento de pó. Tempo estimado: 10 minutos

Tabela 4.1: Tabela FMEA(continua)

<b>Bomba de Perfume:</b> Borrifar perfume no pó a ser envasado, caso necessário	-Não borrifar perfume no produto que deveria ser perfumado	-Produto sai da linha sem perfume e tem que ir para reprocesso	9	-Vazamentos nas gaxetas -Furos e rachaduras em mangueiras e conexões	9	Manutenção preventiva	3	Verificar ruídos incomuns, e fazer inspeção visual, procurando vazamentos nas gaxetas e vazamentos, furos ou rachaduras nas mangueiras e conexões. Tempo: 10 minutos
<b>Envasadora de Pó:</b> Fazer a pesagem automática do pó contido no silo, liberando a quantidade certa para cada saco	-Não liberar a quantidade correta de pó	-Produto sai fora de especificação e tem que ir para reprocesso	9	-Falta de limpeza -Problemas eletrônicos -Problemas nas escovas	7	Manutenção preventiva, limpeza por parte dos operadores, testes de acurácia e precisão	4	Desmontagem para ver se há acúmulo de pó nas bobinas internas, verificação do funcionamento das escovas, realizar testes de acurácia e precisão. Limpeza por parte dos operadores. Tempo estimado: 30 minutos

Tabela 4.1: Tabela FMEA (continuação)

<b>Seladora:</b> Selar os sacos, ao final da linha de produção	-Sacos não são bem selados	-Produtos recusados pela área de qualidade, gerando reprocesso	9	-Falta de limpeza, que causa incrustações -Problemas nas fitas, filtros e resistências	Manutenção preventiva, limpeza por parte dos operadores	Verificar o estado das fitas, sapatas e contatores, funcionamento dos amperímetros, potenciômetros e resistências. Verificar se há ruídos incomuns, incrustações e se há necessidade de troca dos filtros de limpeza das fitas. Inspecionar polias, engrenagens e correias. Limpeza por parte dos operadores. Tempo estimado: 30 minutos
<b>Esteiras:</b> Levar base e sal ao misturador na proporção correta; Transporte dos sacos na área de envase	-Travamentos, que evitam o cumprimento das funções desses componentes	-Parada do equipamento, devido à dosagem incorreta das matérias-primas, ou da parada da linha de envase	9	-Falta de Limpeza -Problemas nos rolamentos -Rasgos e cortes	Manutenção preventiva, limpeza por parte dos operadores	Verificar visualmente o estado e aspecto das esteiras, além das condições dos rolamentos e de suas proteções. Tempo estimado: 30 minutos

Tabela 4.1: Tabela FMEA (continuação)

<b>Dosador de Corantes:</b> Liberar corante em pó sobre as esteiras que misturam base e sal, na dosagem correta, quando o produto requerer corante	-Corante não é dosado na quantidade correta	-Produto sai fora de especificação e deve ser reprocessado	9	-Empedramento dos resíduos de corante deixado no componente, que causa entupimento na saída do dosador	4	Manutenção preventiva, limpeza por parte dos operadores	3	Verificar o estado do silo de borracha, procurando pó rachaduras e furos que possam provocar vazamentos. Verificar o funcionamento de rolamentos e se há alguma articulação emperrada. Operadores devem remover o excesso de corante. Tempo estimado: 30 minutos
<b>Talha:</b> içamento dos <i>big bags</i> de matéria-prima e alimentação das moegas	-Impossível içar os <i>bags</i> e transportá-los	-Parada no equipamento pois não há alimentação de matéria-prima	9	-Problemas nas molas e ganchos -Problemas nos trilhos, que impossibilitam o transporte -Problemas elétricos	4	Manutenção Preventiva	4	Verificar o estado das molas e ganchos, do funcionamento dos trilhos, da botoeira de acionamento e do estado das correntes. Tempo estimado: 60 minutos
<b>Inkjet:</b> Marcação automática dos sacos com número de lote e prazo de validade	-Sacos não são marcados	-Produtos fora de especificação	9	-Entupimentos -Vazamentos	3	Equipamento requer a realização de manutenção preventiva a cada 1000 horas de funcionamento	7	Realizar a manutenção preventiva quando solicitado pelo equipamento

Tabela 4.1: Tabela FMEA (continuação)

<b>Eixo Central:</b> Rosca sem fim que faz a mistura das 3 matérias-primas e leva a mistura até a saída do misturador para o silo	-Travamento do eixo	Parada da produção	9	-Vazamentos de pó, que se acumulam nas gaxetas	2	Manutenção preventiva	5 Verificar se há vazamentos nas gaxetas. Usar os sentidos para ver se há vibrações ou ruídos incomuns. Verificar o funcionamento do sistema de exaustão. Tempo estimado: 20 minutos
<b>Mesa Elevatória:</b> Elevar o pallet a uma altura confortável ao operador que o está montando, ao final da linha	-Equipamento não eleva	Dificuldade na montagem dos pallets, que causa lentidão na produção	7	-Falta de limpeza -Problema no sistema hidráulico, nos roletes ou no motor	2	Manutenção preventiva, limpeza por parte dos operadores	3 Verificar o funcionamento do sistema hidráulico, dos roletes e do motor. Atenção especial dos operadores na limpeza. Tempo estimado: 30 minutos

**Tabela 4.1: Tabela FMEA (conclusão)**

## 4.2 Procedimento de manutenção preventiva

A partir da informação obtida com a ferramenta FMEA podemos agora construir um procedimento para as paradas de manutenção preventiva. Esse procedimento inclui as fases que antecedem a parada, da parada propriamente dita e após a parada, além das peças e componentes que devem ser inspecionados em cada parte ou componente da máquina durante o procedimento. Chamaremos essas etapas de pré-manutenção, manutenção e pós-manutenção.

Na fase de pré-manutenção, alguns procedimentos de segurança devem ser observados, evitando assim acidentes que possam ocorrer aos envolvidos no processo. O Vomm não é um equipamento que exija uma parada para esfriamento de algum componente, o que faz com que o tempo de duração dessa etapa seja bem reduzido. A principal preocupação fica, portanto, com a questão do desligamento correto da energia elétrica do aparelho. O procedimento a ser seguido é o seguinte:

- Solicitar a parada e acordar com o departamento de Planejamento da Produção;
- Desligar o disjuntor, cortando a energia do aparelho;
- Colocar cadeado e uma etiqueta LO/TO (*lock out / tag out*) no disjuntor, impedindo assim que alguém o ligue sem autorização e sinalizando que uma manutenção está em andamento;
- Realizar teste para verificação se há energia circulando no equipamento. Esse teste deverá ser feito acionando-se o botão que liga a máquina. Uma verificação da existência de corrente através de um multímetro também deverá ser realizada.

Uma vez que todos os procedimentos da fase pré-manutenção tenham sido completamente realizados e o equipamento esteja corretamente desligado e sem oferecer perigo aos manutentores, inicia-se a fase de manutenção propriamente dita. Nesta fase, será feita uma verificação das partes que, historicamente, apresentam a maior ocorrência de problemas. As

partes ou componentes escolhidos para serem inspecionados são os mesmos analisadas no FMEA, que apresentaram falhas evitáveis, como apresentado na Figura 1.3. A seguir, para cada parte ou componente a ser inspecionado são apresentados uma descrição de sua função, os problemas mais comuns que apresentam, as ações que os manutentores devem tomar em relação a elas e um tempo sugerido para sua execução, quando for de possível estimação.

- a) **Silo:** O silo de envase é uma peça que se encontra no primeiro piso do equipamento e recebe o pó que foi misturado dentro do Vomm. O silo tem duas bocas, e direciona o pó a ser envasado e pesado a uma das duas linhas de envase do equipamento. Nessa parte do Vomm não foram detectadas falhas evitáveis, pois as peças que falharam são eletrônicas. Assim, não há como o manutentor ou o operador da máquina realizar testes que indiquem se a peça está prestes a falhar ou não. A figura 4.1 mostra uma imagem desse componente;



**Figura 4.1: Silo do Vomm**

b) **Rosca Injetora:** A rosca injetora de barrilha é uma rosca sem fim que serve para injetar a barrilha dentro do misturador. Um problema muito comum nesse componente é o vazamento de pó. Quando isso ocorre, o acúmulo decorrente acaba prejudicando o funcionamento dos rolamentos presentes no local. Caso o problema não seja detectado e combatido imediatamente, ele pode vir a travar os rolamentos e até mesmo causar uma queima do motor, que está forçando um eixo travado. Uma inspeção bem simples pode evitar que esse problema venha a ocorrer, gerando uma parada para realização de manutenção corretiva. Nesse caso, a participação do operador da máquina é também de grande importância para evitar o problema.

- **Ações:** Verificar se há ruído perceptível na rosca e realizar uma inspeção visual para verificar se há vazamento de pó. O ruído é uma indicação importante para verificar se o eixo está girando com ou sem nenhum obstáculo;
- **Tempo Estimado:** 10 minutos;

A figura 4.2 mostra o misturador. A rosca injetora é um componente dessa parte do Vomm.



**Figura 4.2: Misturador do Vomm**

c) **Bomba de Perfume:** A bomba de perfume borra o perfume no pó que será envasado, caso o produto em questão seja perfumado. Trata-se de um equipamento simples, com poucos componentes a serem inspecionados.

- **Ações:** Ispencionar visualmente se há vazamentos nas gaxetas, que são peças que isolam os mancais, nas mangueiras e conexões. Verificar também se o equipamento apresenta algum ruído incomum e se as mangueiras e conexões estão em bom estado, não apresentando furos ou rachaduras que possam a provocar vazamentos;
- **Tempo estimado:** 15 minutos;

A figura 4.3 mostra a bomba de perfume.



**Figura 4.3: Bomba de perfume do Vomm**

d) **Envasadora de pó:** Como dito na seção 1.3, o envase do Vomm é feito em duas linhas, uma totalmente manual e outra que tem a etapa de pesagem feita de forma automatizada. O equipamento que faz a pesagem automática é a envasadora de pó. Muitas vezes, as falhas que ocorrem nesse equipamento são do tipo não evitável. Entretanto, há ações que podem ser tomadas para que se evite problemas tanto no funcionamento desse equipamento quanto na produção em si. Nesse equipamento, a participação dos operadores em atividades preventivas também se mostra bastante importante,

principalmente no que diz respeito à limpeza, cuja falta pode vir a causar entupimentos no equipamento.

- **Ações:** A inspeção nesse equipamento é um pouco mais complexa, pois exige desmontagem para verificar se há acúmulo de pó nas bobinas internas, que pode causar travamento. Também é necessário que se faça uma verificação do funcionamento das escovas, que são as peças que liberam o pó acumulado no silo para que ele caia dentro de um saco, na quantidade e peso correto. A consistência e acurácia da pesagem devem ser comprovadas através de um teste realizado pelo manutentor, garantindo assim que o equipamento está liberando a quantidade de produto dentro da tolerância aprovada pela área de qualidade da empresa.
- **Tempo estimado:** 30 minutos;

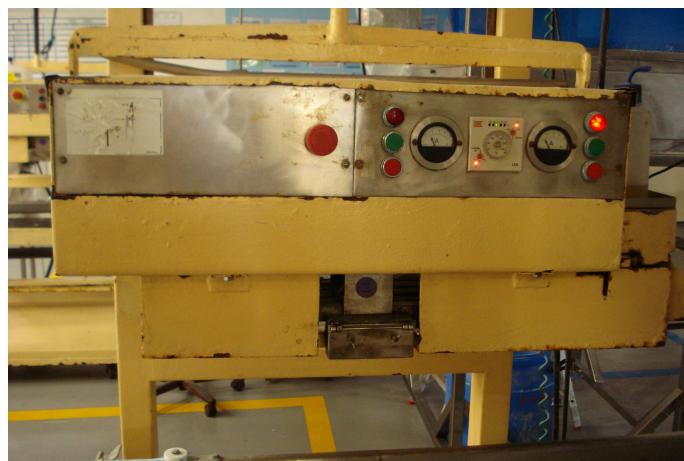
e) **Seladora:** A máquina seladora está localizada no final da linha de produção do Vomm. Ela é responsável por selar os sacos que contém o produto já envasado, e deve fazê-lo de forma precisa, evitando assim que o produto final venha a abrir, sendo recusado pelo controle de qualidade ou mesmo pelo cliente, gerando reprocesso e outras situações incômodas para a empresa, visto que geram custos e desperdício de tempo de equipamento e de mão-de-obra. Assim, uma inspeção deve ser feita cuidadosamente e os operadores podem colaborar através da limpeza correta do equipamento e do uso dos seus sentidos para observar ruídos incomuns. A questão da limpeza nesse equipamento é realmente crítica, pois é comum se observar que há incrustações de pó que cai dos sacos, que pode vir a prejudicar o funcionamento correto do equipamento.

- **Ações:** Nesse equipamento, deve-se verificar o estado das fitas, sapatas e dos contatores que fazem a selagem dos sacos, testar o funcionamento de resistências, amperímetros e potenciômetros, verificar se há incrustações devido à falta de limpeza, se há necessidade de troca dos filtros que fazem a

limpeza das fitas e devem ser periodicamente lavados e trocados, além de inspecionar o estado de polias, engrenagens e correias;

- **Tempo estimado:** 30 minutos;

A figura 4.4 mostra a seladora.



**Figura 4.4: Seladora do Vomm**

f) **Esteiras:** No Vomm, existem esteiras no piso superior, que são responsáveis por levar a base e o sal até o misturador na proporção correta à produção, além de esteiras na parte de envase, que fazem o transporte dos sacos entre o operador que faz o envase propriamente dito (aquele que passa os sacos pela seladora) e aquele que organiza os sacos já selados nos pallets que serão expedidos. Também aqui a questão da limpeza é de grande importância, pois a sujeira pode vir a prejudicar o funcionamento dos rolamentos.

- **Ações:** Verificar visualmente o estado e aspecto das esteiras, além das condições dos rolamentos e das proteções dos mesmos;
- **Tempo estimado:** 30 minutos, para inspecionar as esteiras dos pisos superiores e inferior.

A figura 4.5 mostra a esteira inferior do Vomm.

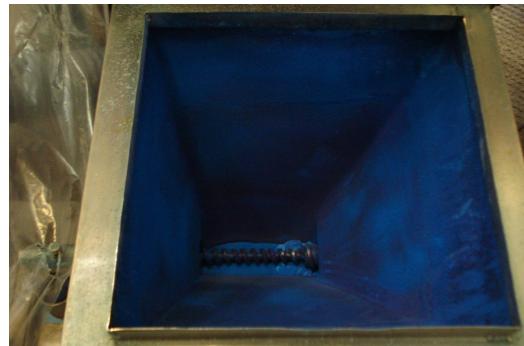


**Figura 4.5: Esteira inferior do Vomm**

g) **Dosador de corantes:** Essa peça é responsável por liberar corante em pó, quando requerido pelo produto, sobre as esteiras que misturam sal e base, na dosagem correta. O corante fica armazenado em um silo de borracha. Os problemas que ocorrem nesse equipamento são devidos ao empedramento de resíduos de corante. Com o empedramento, entupimentos na saída do silo de borracha são freqüentes, causando problemas na dosagem de corante e gerando a necessidade de uma intervenção corretiva no equipamento, o que prejudica a produção. Esse tipo de problema poderia ser evitado, caso os operadores retirassem as sobras de corantes quando a produção fosse encerrada.

- **Ações:** Verificar o estado do silo de borracha, procurando por furos ou rachaduras que possam gerar vazamentos. Verificar também se há algum tipo de vazamento, e se os rolamentos estão funcionando normalmente e se as articulações estão de alguma maneira emperradas.
- **Tempo estimado:** 30 minutos;

A figura 4.6 mostra o dosador de corantes.



**Figura 4.6: Dosador de corantes do Vomm**

h) **Talha:** A talha está localizada no piso superior do Vomm, e é responsável pela alimentação das moegas. As matérias-primas utilizadas no Vomm vêm do fornecedor em *big bags* de 1000kg. Assim, é necessário que haja um equipamento para içar esses *bags*. A talha, constituída de ganchos, correntes, um motor e um trilho que permite a movimentação dos bags de um lado para o outro, supre essa necessidade. A inspeção nesse equipamento é mais complexa, e deve ser feita exclusivamente por manutentores treinados e preparados.

- **Ações:** Deve ser feita uma verificação das molas dos ganchos, do funcionamento do trilho e das botoeiras de acionamento do equipamento, além de uma verificação do estado das correntes que içam os *bags*;
- **Tempo estimado:** 60 minutos;

A figura 4.7 mostra a talha içando um *big bag*.



**Figura 4.7: Talha do Vomm**

- i) **Inkjet:** Esse equipamento, a exemplo do silo, não apresentou falhas do tipo evitável. Trata-se de um equipamento automatizado que, através de sensores de presença, detectam os sacos que são transportados pela esteira de envase, após serem selados, e marcam os mesmos com a data de validade e o número do lote de produção do mesmo. A cada 1000 horas de utilização do equipamento, o mesmo emite um aviso indicando que uma manutenção do tipo preventiva deve ser realizada.
- j) **Eixo Central:** O eixo central está localizado dentro do misturador. Trata-se de uma rosca sem fim, que faz a mistura das matérias-primas utilizadas no produto ao mesmo tempo em que conduz a mistura à saída para o silo. Aqui também a questão do vazamento de pós nas gaxetas é importante, pois esse pó, quando acumulado no mancal, pode acabar por travar o eixo, gerando graves consequências ao equipamento, e manutenções corretivas difíceis de serem realizadas, demandando muito tempo de parada para reparo.

- **Ações:** Verificar se há vazamentos nas gaxetas. Utilizar os sentidos para perceber se há ruídos incomuns e vibrações, que podem ser gerados pelo eixo girando de forma forçada. Além disso, é importante verificar o funcionamento da exaustão, visto que caso esta não esteja funcionando de forma satisfatória, haverá muita suspensão de pós, que pode vir a trazer problemas de saúde aos operadores da máquina;
- **Tempo estimado:** 20 minutos;

k) **Mesa elevatória:** A mesa elevatória é responsável por elevar os pallets a uma altura de trabalho confortável ao operador que o está montando no final da linha. Esse é outro equipamento que é extremamente crítico no que diz respeito à limpeza. É muito comum aqui que sejam encontrados até mesmo pedaços de madeira, devido a pallets que são lascados pelo garfo das empilhadeiras que os levam e trazem. Além disso, por ser um equipamento que tem sua base um pouco abaixo do nível do piso da fábrica, o acúmulo de sujeira torna-se mais fácil. Essa sujeira prejudica o funcionamento do sistema hidráulico, dos roletes e até mesmo do motor. Assim, a participação dos operadores, no cuidado com a limpeza desse equipamento deve ser redobrada.

- **Ações:** Verificar o funcionamento do sistema hidráulico, dos roletes e do motor.
- **Tempo estimado:** 30 minutos.

Estabelecida essa lista de itens a serem verificados, bem como as inspeções preventivas a serem feitas, notamos que o tempo total estimado para se fazer essas verificações é de 255 minutos, ou seja, 4 horas e 15 minutos. Esse tempo é o que seria gasto, aproximadamente, se somente um manutentor executasse as inspeções sozinho. Considerando como factível a possibilidade de serem destacados dois manutentores para a realização das inspeções preventivas, chega-se a um tempo aproximado de parada do equipamento de **2 horas e 10 minutos**. Entretanto, deve ser considerada pela empresa a possibilidade de se programar uma parada de até

meio turno, ou seja, 4 horas, para o caso de se detectar um problema que exija uma imediata intervenção, evitando assim a ocorrência de uma futura ação corretiva.

Deve-se ressaltar aqui que os tempos estimados, assim como as ações preventivas a serem tomadas em cada parte ou componente constituinte do Vomm, foi acordado juntamente com o pessoal do departamento de manutenção da empresa.

Finalmente chegamos à etapa Pós-Manutenção. Essa fase nada mais é que desfazer os preparativos de segurança realizados na etapa que antecede a manutenção propriamente dita. As etapas dessa fase são:

- Retirar a etiqueta LO/TO e o cadeado;
  - Ligar o disjuntor e acionar o equipamento;
  - Acompanhar o equipamento para certificar-se que está funcionando corretamente.
- O Vomm demora alguns minutos para entrar em sua velocidade normal de produção. O manutentor deve verificar se o equipamento liga corretamente, se há algum ruído incomum e se a operação após atingir a velocidade padrão de funcionamento está ocorrendo normalmente.

Nesse ponto cabe fazer a observação de que foi descartada a possibilidade de se estabelecer uma política de manutenção preventiva que contempla paradas para pequenos ajustes em intervalos com pequeno espaçamento de tempo, e paradas para grandes ajustes em intervalos com espaçamentos de tempo maiores. Esse tipo de política foi descartada devido à estrutura do equipamento. Conforme apresentado na seção 1.3, o equipamento tem uma estrutura simples, o que não justifica que haja paradas diferenciadas para tipos diferentes de ajustes.

### **4.3 Implantação da política de manutenção preventiva**

Essa seção é dedicada à explicação dos passos que serão necessários para que a política descrita possa ser implementada na empresa.

O primeiro passo depende da direção da empresa. É necessário que ela entenda como a política funciona, quais os objetivos a serem alcançados e quais os resultados que se espera atingir com a mesma. Sem o apoio integral da direção, todo o trabalho poderá fracassar. O diretor de *supply chain* é o representante das áreas de manutenção e de manufatura na alta direção da JD, e deve levar a idéia da nova política de manutenções preventivas para as reuniões. Nessas reuniões de gestão ele deve ter o papel de explicar aos diretores das demais áreas a vantagem de se realizar paradas programadas com o fim de assegurar uma maior disponibilidade do equipamento e, assim, poder elevar a produção, o que resultaria em mais vendas e maior lucratividade. Uma vez que a direção passe a apoiar essa política, os níveis hierárquicos abaixo seriam envolvidos no seu desdobramento. Conforme a teoria do TPM apresentada no Capítulo 2, é necessário que todos os envolvidos compartilhem dessa cultura.

A área da manutenção deve realizar um trabalho de levantamento da vida útil dos componentes do Vomm, levando em conta as condições de operação desses componentes no ambiente da empresa. Com isso, o trabalho de programação do momento certo de realização da troca desses componentes deve ser facilitado.

Em seguida, um extenso programa de treinamento deve ser instalado. Esse programa deve introduzir as práticas de manutenção autônoma aos operadores do equipamento, para que eles passem a realizar manutenções básicas no equipamento, conforme explicado na seção 3.4. Os operadores também devem desenvolver o sentimento de responsabilidade pelo equipamento que operam, o que auxilia nesse processo de realização de manutenções básicas e, principalmente, na questão da limpeza do equipamento.

Os manutentores também devem passar por um treinamento sobre o conceito de manutenção preventiva abrangendo os seguintes tópicos: os potenciais pontos de falhas a serem atacados, os procedimentos de realização de inspeções e os tempos planejados para a realização de cada etapa. É necessário que os manutentores tenham conhecimento total das partes, peças e

componentes do equipamento, para que possam detectar a possibilidade de ocorrência de falhas, assim como julgar da maneira mais precisa possível a necessidade de trocas de componentes.

Paralelamente aos treinamentos, ferramentas de controle devem ser implementadas. Para o pessoal da produção (operadores), *checklists* de limpeza e de operações de manutenção autônoma como lubrificação, checagem de aperto de parafusos e porcas, e utilização dos sentidos humanos devem ser implementados. O equipamento, por sua vez, deve passar a ter uma clara sinalização dos pontos a serem inspecionados pelos operadores, facilitando assim a execução das atividades de manutenção autônoma. Para o pessoal da manutenção, um *checklist* que controle todas as etapas das inspeções realizadas durante as paradas para realização de manutenções preventivas também é fundamental. Aliado a esse *checklist*, um indicador da disponibilidade do equipamento deve passar a ser utilizado e entendido como a medida da eficiência do trabalho da área de manutenção. Exemplos de *checklists* de limpeza e de inspeção (realizada durante uma parada para realização de manutenção preventiva) que poderiam ser utilizados pelos operadores e manutenentes são encontrados no Anexo F. Um sistema de controle do histórico das manutenções realizadas (corretivas ou preventivas) também deve ser adquirido, pois esse histórico será muito útil durante a evolução do processo de manutenção. Deve-se lembrar que esse trabalho tem como objetivo a criação de uma política de manutenção preventiva, mas quando a mesma já estiver implementada e gerando resultados a empresa deve continuar a evoluir no que diz respeito à função de manutenção, trilhando seu caminho rumo ao patamar ideal de prevenção da manutenção. Nessa situação ideal, a engenharia de manutenção utiliza esses históricos de quebras para criar soluções que evitem a parada abrupta do processo por ocorrência de falhas e ainda minimizem as necessidades de intervenções de manutenção, em um processo de melhoria contínua.

Por último, devem ser instauradas reuniões periódicas entre as gerências de manutenção e manufatura, com a participação dos planejadores da produção, para que sejam discutidas as necessidades de execução das manutenções preventivas e para que as mesmas sejam incluídas na programação da produção. Com isso, procura-se garantir que as duas áreas trabalhem conjuntamente para que as manutenções preventivas sejam realizadas nos intervalos corretos, evitando que quebras evitáveis desnecessárias venham a ocorrer, prejudicando o resultado da empresa.

## 5 CONCLUSÕES

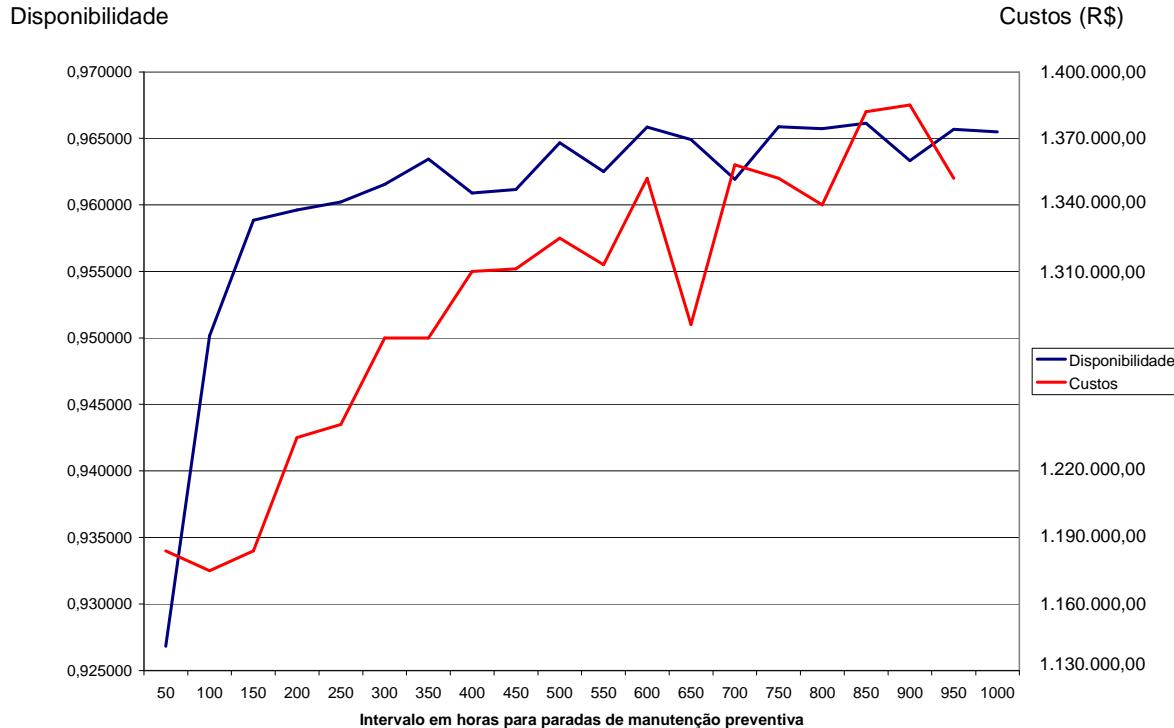
Ao final desse trabalho, podemos concluir que o estudo, através da simulação computacional realizada, que projeta o comportamento da disponibilidade do equipamento nos cenários futuros hipotéticos, e a análise de custos, respalda e mostra argumentos fortes que justificam a adoção de uma política de manutenção preventiva na JohnsonDiversey.

A técnica escolhida para a realização do presente trabalho baseou-se em modelagem de um sistema de eventos discretos e simulação. A simulação é feita por meio de um programa computacional que é um modelo do funcionamento do equipamento tomado como objeto de estudo. Este, por sua vez, é alimentado por variáveis geradas através de distribuições de probabilidade, que também foram selecionados como modelos bem aderentes aos dados empíricos coletados. O uso dessa técnica facilitou muito a execução do trabalho, pois foi possível representar de forma simplificada uma realidade bem mais complexa, gerando resultados que se aproximaram bastante da realidade observada. Vale notar que esse trabalho de modelagem resultou na identificação de três modelos diferentes de distribuições de probabilidade para os tempos entre falhas evitáveis, tempos entre falhas inevitáveis e tempos de reparo, sendo que nenhum desses modelos é o da distribuição normal. Isso indica a heterogeneidade da forma de distribuição desses tempos e vem a justificar o cuidado que o modelador deve ter para selecionar modelos específicos que representem adequadamente o fenômeno em estudo.

Retomando as conclusões mostradas no Capítulo 3, temos que o objetivo de identificar o potencial de aumento da disponibilidade do equipamento foi atingido, pois conseguiu-se demonstrar nos gráficos apresentados nas Figuras 3.8 a 3.13 a tendência de aumento na disponibilidade conforme se aumenta a média do tempo entre quebras evitáveis e os intervalos entre paradas para realização de manutenções preventivas.

Também conseguiu-se estimar o melhor intervalo para paradas em cada cenário, analisando-se a relação custo x benefício. A Figura 5.1 mostra, para o cenário de aumento de 100% da média do tempo entre falhas evitáveis, como a disponibilidade tende a crescer até atingir uma assíntota e, ao mesmo tempo, como o custo tende a crescer vertiginosamente conforme aumenta o intervalo em horas entre as paradas para realização de manutenções

preventivas, devido ao aumento de ocorrências de intervenções corretivas que são muito mais caras.

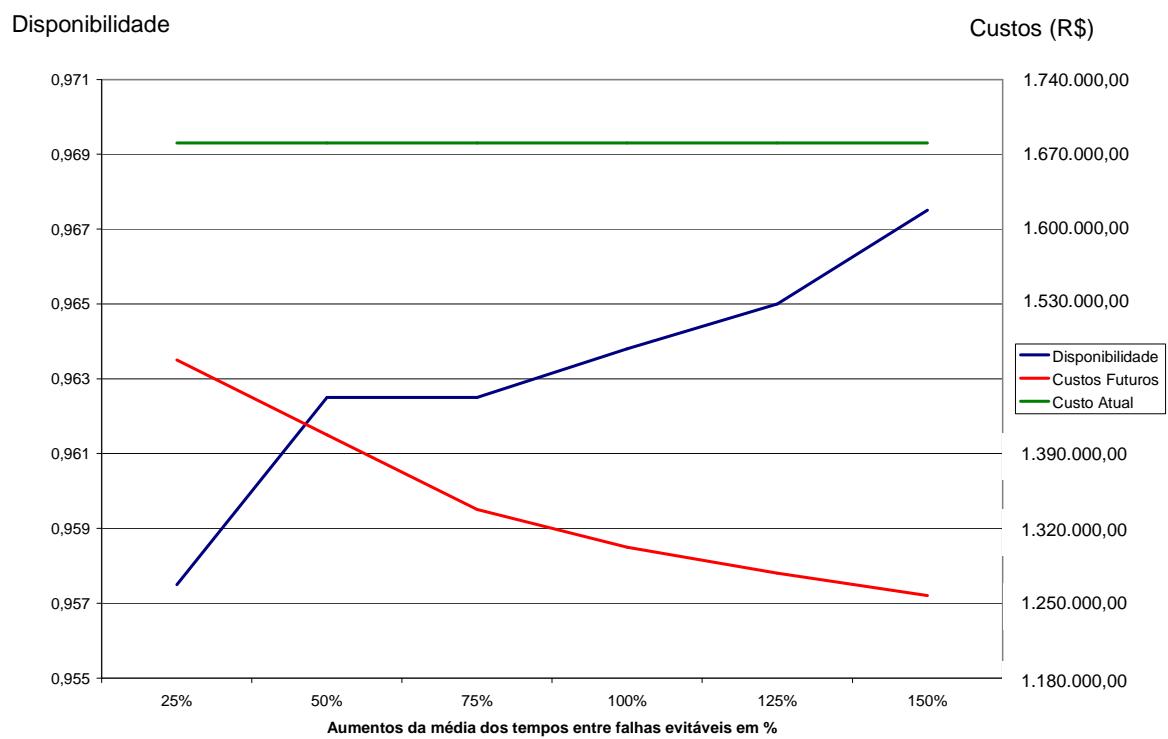


**Figura 5.1: Comportamento da disponibilidade x comportamento dos custos no cenário de aumento de 100% da média do tempo entre falhas evitáveis**

De forma análoga, podemos reproduzir o gráfico da Figura 5.1 para todos os demais cenários de aumento da média do tempo entre falhas evitáveis e concluir que, em cada cenário considerado, devemos escolher como intervalo entre paradas o ponto em que a assíntota é atingida na curva que representa o comportamento da disponibilidade, pois assim é obtido o ponto de disponibilidade máxima ao menor custo.

Da mesma forma, com base na Tabela 3.11, a Figura 5.2 mostra como, conforme se aumenta a média dos tempos entre falhas evitáveis, nos diferentes cenários hipotéticos testados, obtém-se uma disponibilidade máxima maior, a um custo total de realização de manutenções (corretivas e preventivas) menor. Isso sugere que quanto melhores forem os resultados que a nova política de manutenção preventiva gerar, refletindo no aumento da média dos tempos entre falhas evitáveis, maior será a disponibilidade máxima que poderá ser atingida no Vomm. Além disso, maior será a economia frente ao que se estima que seria gasto na realização das manutenções

corretivas da situação atual, para o tempo de 20000 horas simuladas. A Figura 5.2 mostra a disponibilidade máxima e os custos totais de realização das manutenções (corretivas e preventivas) para cada cenário, comparando-os com o custo estimado para a continuidade da situação atual, em que a política proposta não está implementada, para o período simulado. Percebe-se que, à medida que se aumenta a média dos tempos entre falhas evitáveis, a linha dos custos futuros se distancia da linha dos custos atuais, o que representa o aumento da economia mostrada na Tabela 3.11.



**Figura 5.2: Tendências de disponibilidades máximas e custos totais**

Outro objetivo alcançado nesse trabalho foi o de se estabelecer uma política de manutenção preventiva, que identifica quais são as partes e componentes críticos à manutenção, e define como agir sobre eles e em quanto tempo. Também foram sugeridas ações para a implementação dessa política, como a disseminação da cultura de manutenção entre a diretoria e os responsáveis pelo processo, como manutentores, programadores e operadores, além de treinamentos e uso de ferramentas como *checklists* e indicadores.

A realização desse trabalho representou um grande desafio pessoal a profissional. Uma vez que a JD não possui uma política similar à que foi proposta por este trabalho, a pesquisa na literatura a respeito das técnicas de manutenção preventiva e das técnicas do TPM teve de ser feita de forma extensiva. Ao mesmo tempo, houve uma perda de parte considerável do histórico de manutenção do equipamento, o que dificultou a obtenção de uma base de dados mais ampla para a seleção dos modelos de distribuição de probabilidades considerados na simulação computacional.

Por outro lado, a experiência de se realizar um trabalho de formatura em conjunto com o estágio se mostrou muito rica, pois foi possível perceber o quanto o equipamento focado é importante no processo produtivo da empresa, e o quanto a implantação da proposta elaborada neste trabalho será importante para a continuidade do processo de melhoria contínua, que visa aumentar a produtividade da fábrica e, assim, alcançar as metas estabelecidas pela matriz.

Dessa maneira, é possível estabelecer uma conexão entre o mundo acadêmico e o mundo profissional, em que um trabalho acadêmico bem feito tem o efeito de impulsionar a carreira profissional do aluno. Ele não somente dá a oportunidade de aplicação das diversas técnicas de engenharia de produção aprendidas durante o curso, mas também representa um primeiro desafio profissional, cumprido no tratamento de um problema crítico no ambiente real da empresa em que o estágio foi realizado.

## Referências Bibliográficas

- ARIZA, C.F. **Sistema de administração para manutenção industrial.** 1<sup>a</sup> ed. São Paulo: Mcgraw-Hill do Brasil, 1978.
- CONTADOR, J.C. **Gestão de operações.** 2<sup>a</sup>ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1998.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica.** 2<sup>a</sup>ed. Rio de Janeiro: Qualimark, 2001.
- NAKAJIMA, S. **Introdução ao TPM.** 1<sup>a</sup>ed. São Paulo: IMC International, 1989.
- NETO, P.L. de O. C. **Estatística.** 2<sup>a</sup>ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2002.
- PALADY, P. **FMEA – Análise dos modos de falhas e efeitos.** 1<sup>a</sup>ed. São Paulo: IMAM, 1997.
- RAMOS, A.W. **CEP para processos contínuos e bateladas.** 1<sup>a</sup>ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2000.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. **Gestão de operações.** 2<sup>a</sup>ed. São Paulo: Atlas, 1997.
- SOUZA, V.C. **Organização e gerência da manutenção.** 2<sup>a</sup>ed. São Paulo: Allprint, 2007.
- SYLVESTER, G.A. **Investigación Operativa – Monte Carlo.** 2<sup>a</sup>ed. Buenos Aires: Editorial Cid, 1974.
- TAKAHASHI, Y. **Manutenção Produtiva Total.** 1<sup>a</sup> ed. São Paulo: IMAM, 1993.
- VAZ, J.C. **Manutenção de sistemas produtivos: Um estudo sobre a gestão da disponibilidade de equipamentos.** Tese de mestrado, 2003
- WINSTON, W.L. **Operations Research – Applications and Algorithms.** 1<sup>a</sup>ed. Belmont: Thomson Learning, 2004

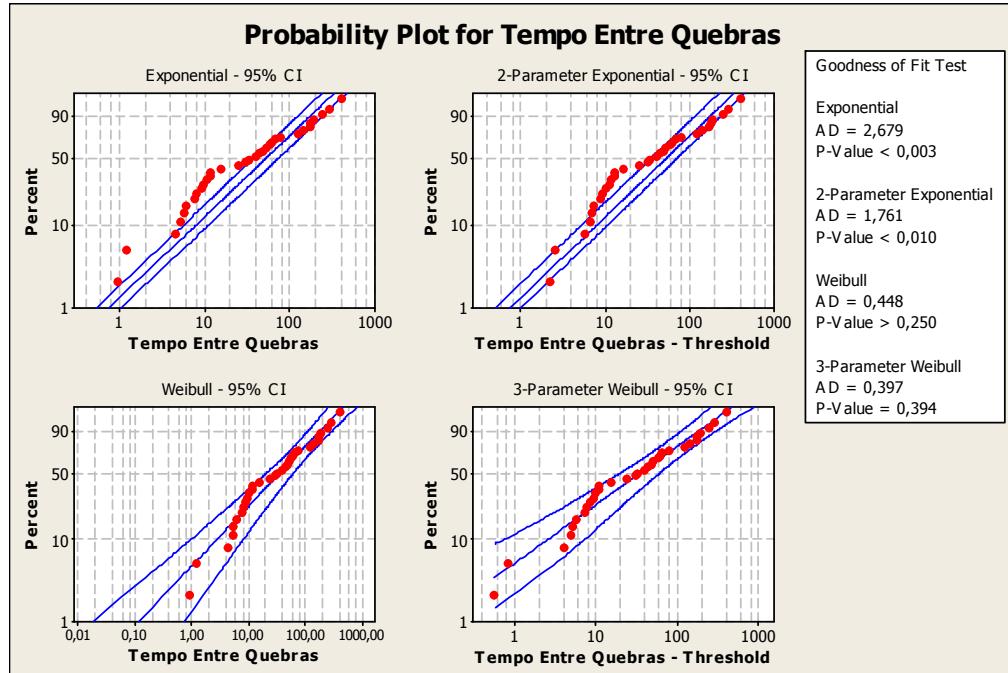
## Anexo A1

### Análise do tempo entre falhas (3.2)

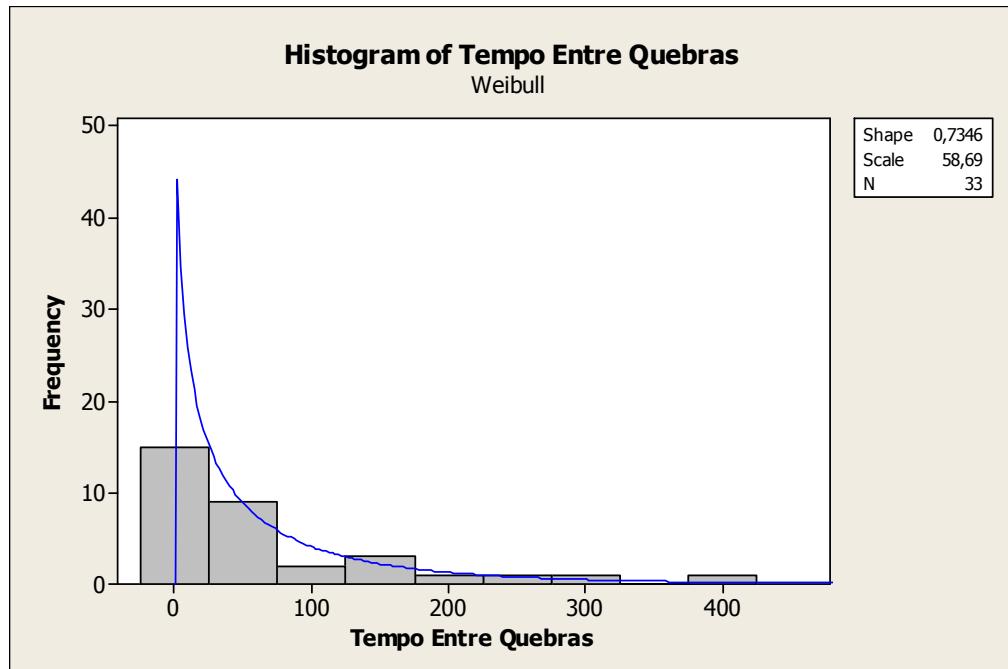
- Saída do Minitab para o teste de aderência AD:

Distribuição	AD	P-Valor
Normal	3,213	<0,005
Transformação Box-Cox	0,341	0,474
Lognormal	0,341	0,474
Lognormal 3- Parâmetros	0,361	*
Exponencial	2,679	<0,003
Exponencial 2- Parâmetros	1,761	<0,010
Weibull	0,448	>0,250
Weibull 3-Parâmetros	0,397	0,394
Menor Valor Extremo	4,130	<0,010
Maior Valor Extremo	2,391	<0,010
Gamma	0,602	0,148
Gamma 3-Parâmetros	0,461	*
Logística	2,646	<0,005
Loglogística	0,410	>0,250
Loglogística 3- Parâmetros	0,428	*
Transformação de Johnson	0,248	0,732

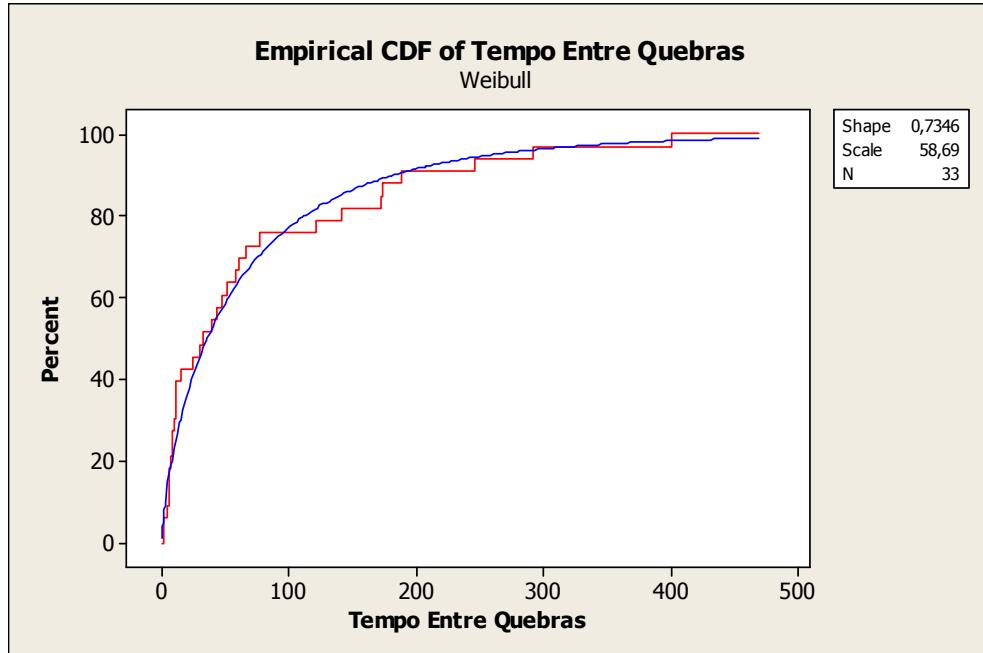
- Papel de probabilidade para distribuição de Weibull para tempo entre falhas:



- Histograma dos dados com distribuição de Weibull ajustada:



- Gráfico da função de distribuição acumulada de Weibull para tempo entre falhas:



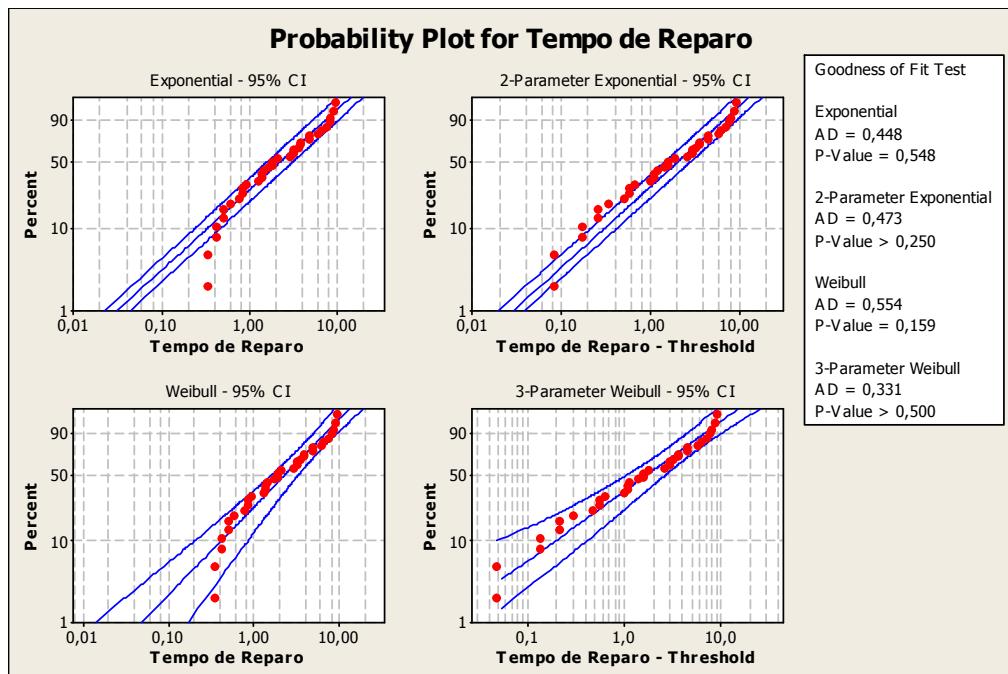
## Anexo A2

### Análise do tempo de reparo (3.2)

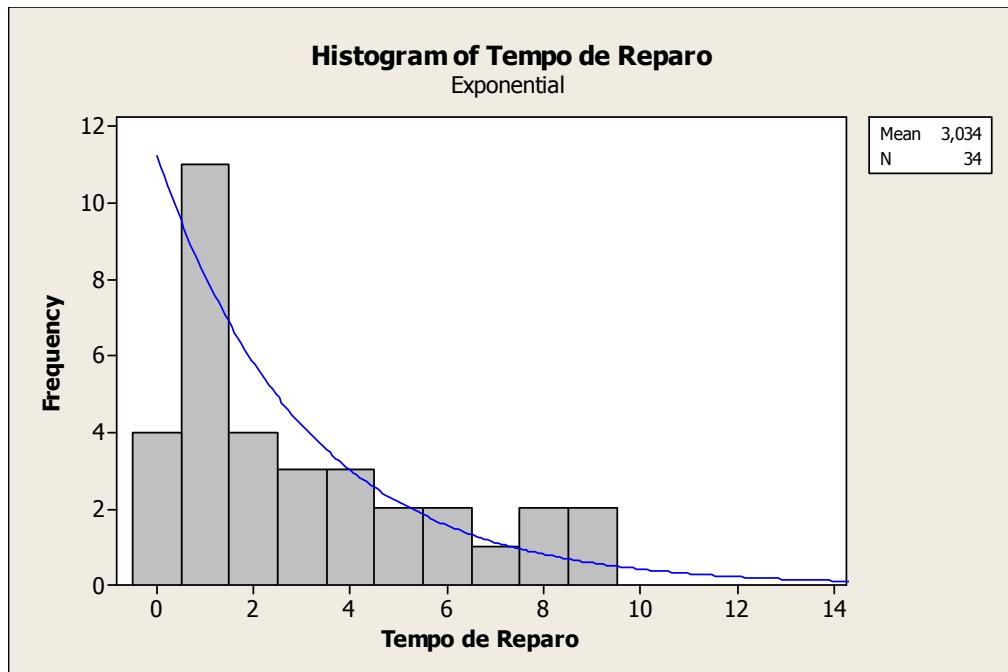
- Saída do Minitab para o teste de aderência AD:

Distribuição	AD	P-Valor
Normal	1,866	<0,005
Transformação Box-Cox	0,464	0,240
Lognormal	0,464	0,240
Lognormal 3- Parâmetros	0,571	*
Exponencial	0,448	0,548
Exponencial 2- Parâmetros	0,473	>0,250
Weibull	0,554	0,159
Weibull 3-Parâmetros	0,331	>0,500
Menor Valor Extremo	2,493	<0,010
Maior Valor Extremo	1,340	<0,010
Gamma	0,581	0,165
Gamma 3-Parâmetros	0,274	*
Logística	1,622	<0,005
Loglogística	0,517	0,146
Loglogística 3- Parâmetros	0,515	*
Transformação de Johnson	0,115	0,990

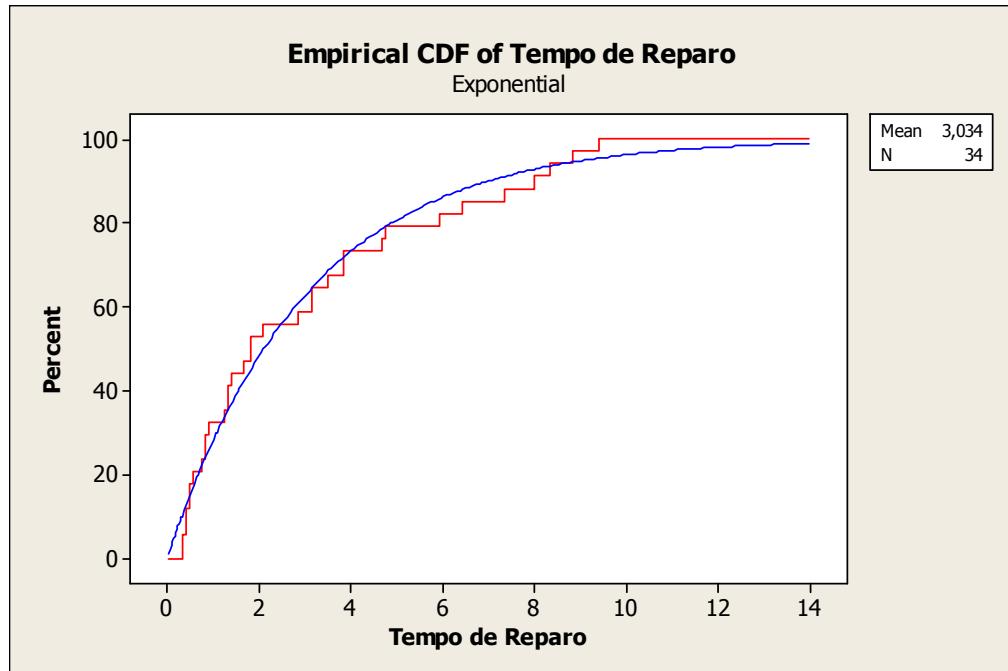
- Papel de probabilidade para distribuição exponencial para tempo de reparo:



- Histograma dos dados com distribuição exponencial ajustada:



- Gráfico da função de distribuição acumulada da exponencial para tempo de reparo:



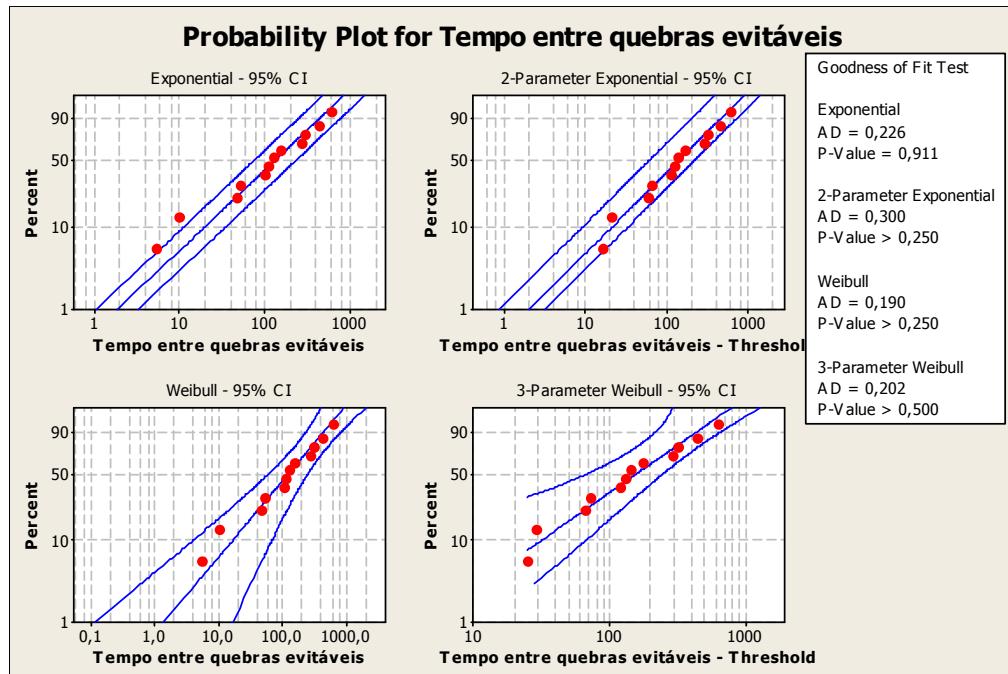
## Anexo A3

### Análise do tempo entre falhas evitáveis (3.5)

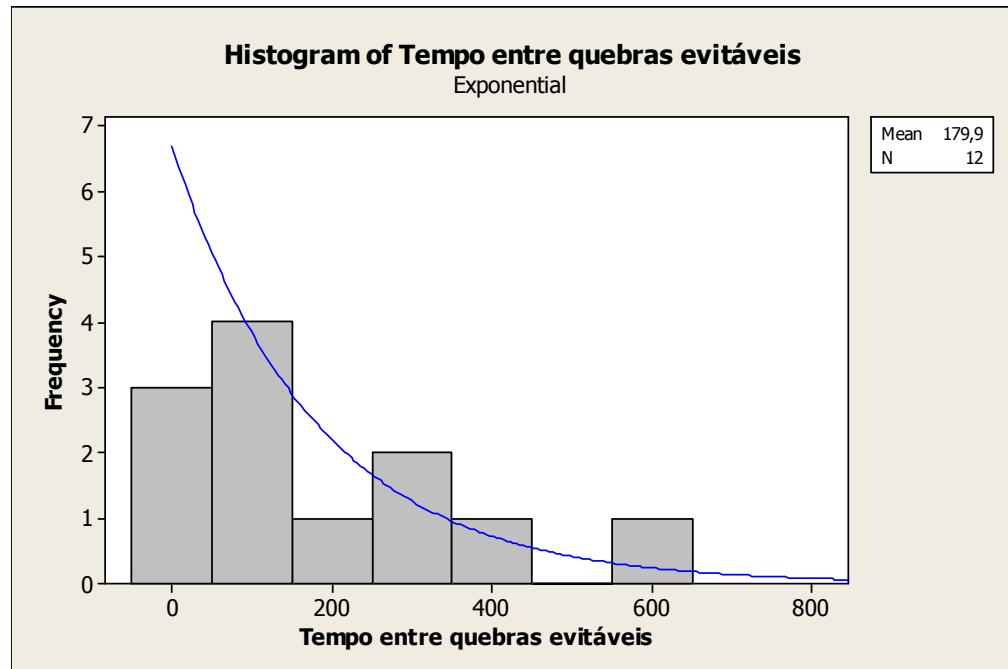
- Saída do Minitab para o teste de aderência AD:

Distribuição	AD	P-Valor
Normal	0,657	0,065
Transformação Box-Cox	0,201	0,845
Lognormal	0,387	0,330
Lognormal 3- Parâmetros	0,255	*
Exponencial	0,226	0,911
Exponencial 2- Parâmetros	0,300	>0,250
Weibull	0,190	>0,250
Weibull 3-Parâmetros	0,202	>0,500
Menor Valor Extremo	0,970	0,011
Maior Valor Extremo	0,412	>0,250
Gamma	0,179	>0,250
Gamma 3-Parâmetros	0,238	*
Logística	0,564	0,093
Loglogística	0,322	>0,250
Loglogística 3- Parâmetros	0,199	*

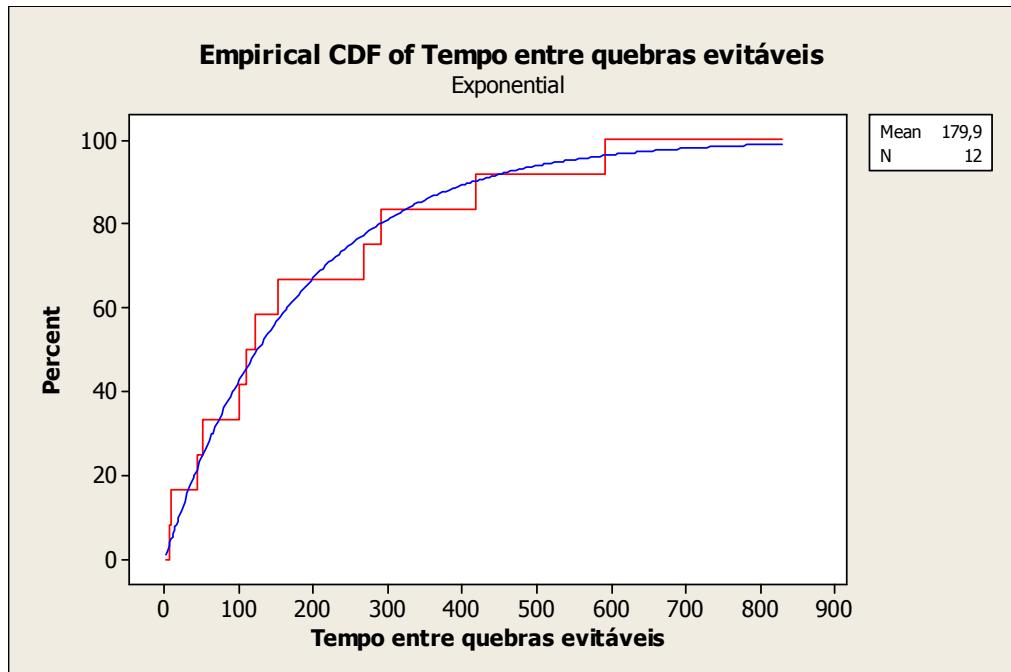
- Papel de probabilidade para distribuição exponencial para tempo entre falhas evitáveis:



- Histograma dos dados com distribuição exponencial ajustada:



- Gráfico da função de distribuição acumulada da exponencial para tempo de reparo:



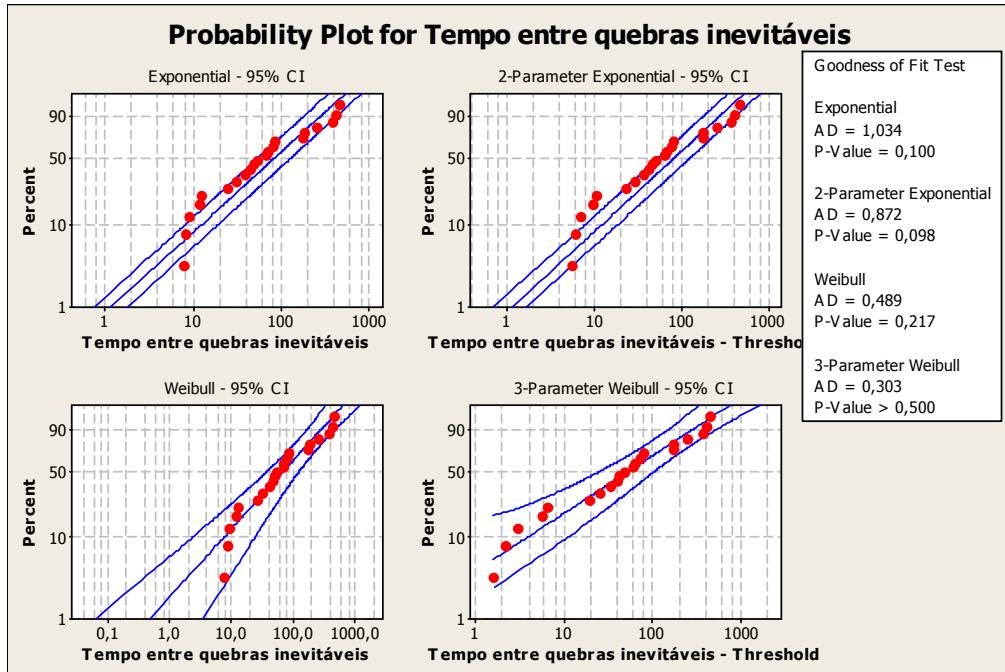
## Anexo A4

### Análise do tempo entre falhas inevitáveis (3.5)

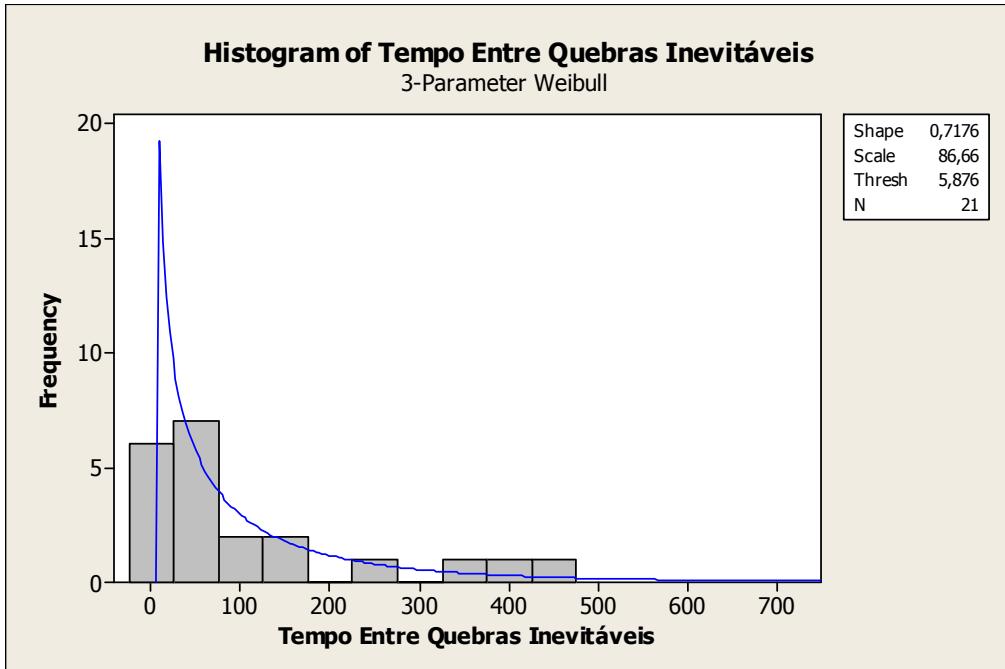
- Saída do Minitab para o teste de aderência AD:

Distribuição	AD	P-Valor
Normal	2,179	<0,005
Transformação Box-Cox	0,319	0,511
Lognormal	0,319	0,511
Lognormal 3-Parâmetros	0,586	*
Exponencial	1,034	0,100
Exponencial 2-Parâmetros	0,872	0,098
Weibull	0,489	0,217
Weibull 3-Parâmetros	0,303	>0,500
Menor Valor Extremo	2,571	<0,010
Maior Valor Extremo	1,656	<0,010
Gamma	0,598	0,152
Gamma 3-Parâmetros	0,291	*
Logística	1,883	<0,005
Loglogística	0,336	>0,250
Loglogística 3-Parâmetros	0,346	*

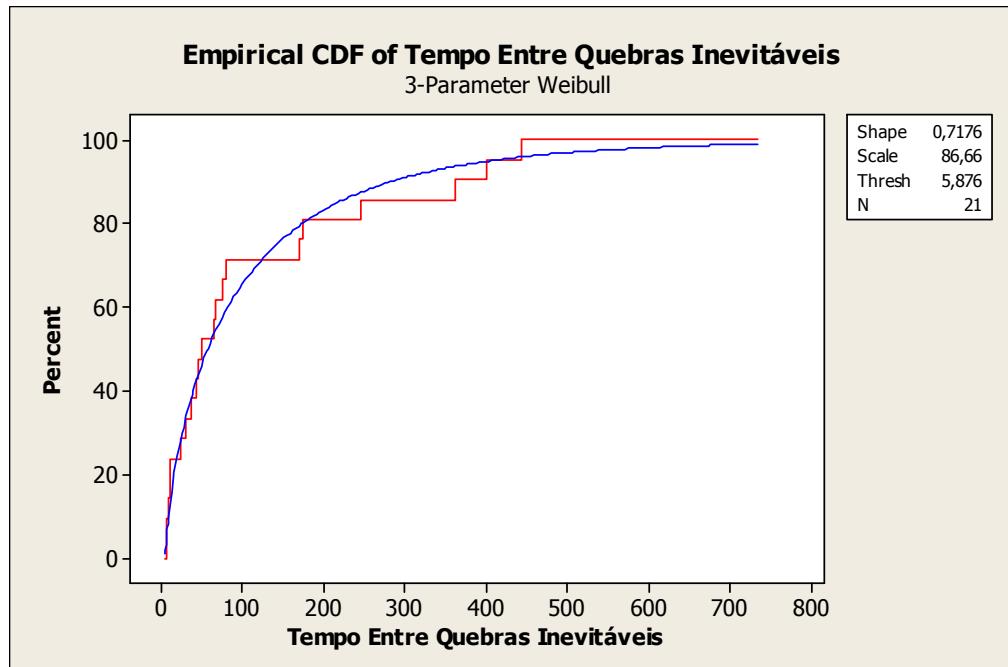
- Papel de probabilidade para distribuição Weibull de 3 parâmetros para tempo entre falhas inevitáveis:



- Histograma dos dados com distribuição Weibull de 3 parâmetros ajustada:



- Gráfico da função de distribuição acumulada da Weibull de 3 parâmetros para tempo entre quebras inevitáveis:



## Anexo A5

### Análise do tempo de reparo (3.5)

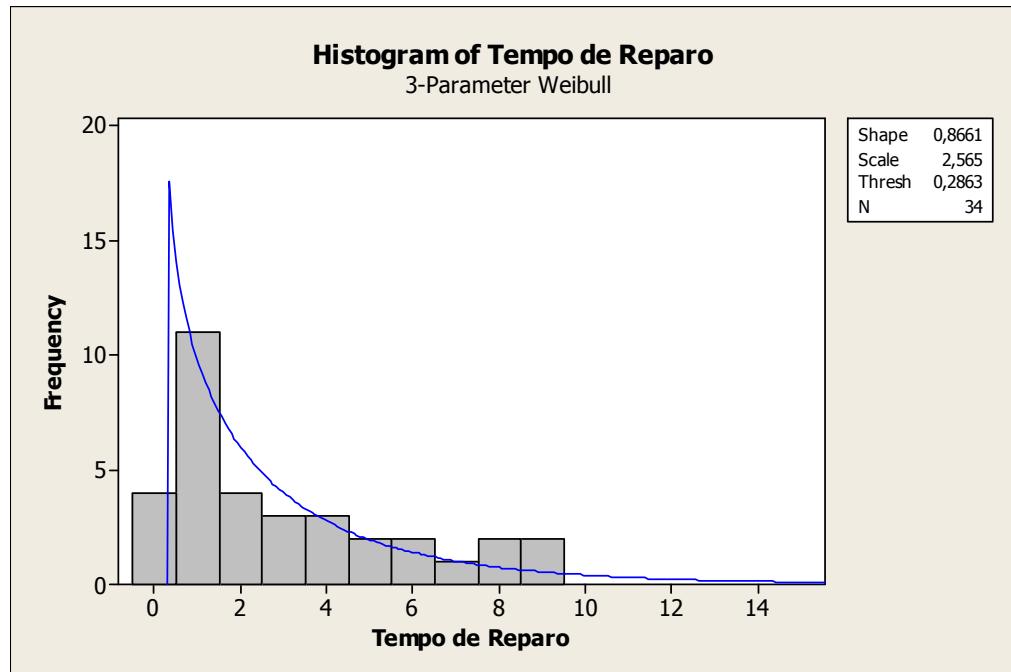
- Saída do Minitab para o teste AD para tempo de reparo de falhas evitáveis:

Distribuição	AD	P-Valor
Normal	1,664	<0,005
Transformação Box-Cox	0,323	0,483
Lognormal	0,532	0,139
Lognormal 3- Parâmetros	0,337	*
Exponencial	0,941	0,124
Exponencial 2- Parâmetros	0,919	0,065
Weibull	0,796	0,033
Weibull 3-Parâmetros	0,464	0,266
Menor Valor Extremo	1,792	<0,010
Maior Valor Extremo	1,578	<0,010
Gamma	0,903	0,028
Gamma 3-Parâmetros	0,484	*
Logística	1,590	<0,005
Loglogística	0,521	0,135
Loglogística 3- Parâmetros	0,342	*

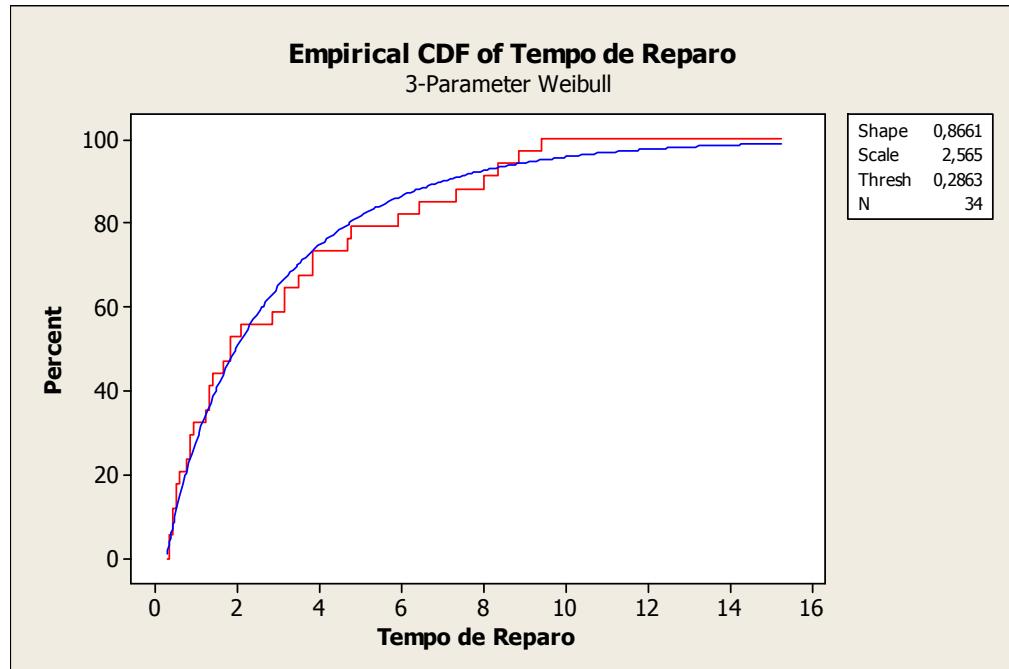
- Saída do Minitab para o teste AD para tempo de reparo de falhas inevitáveis:

Distribuição	AD	P-Valor
Normal	0,557	0,132
Transformação Box-Cox	0,265	0,658
Lognormal	0,491	0,196
Lognormal 3- Parâmetros	0,477	*
Exponencial	0,376	0,669
Exponencial 2- Parâmetros	0,332	>0,250
Weibull	0,291	>0,250
Weibull 3-Parâmetros	0,313	>0,500
Menor Valor Extremo	0,919	0,017
Maior Valor Extremo	0,417	>0,250
Gamma	0,300	>0,250
Gamma 3-Parâmetros	0,311	*
Logística	0,519	0,141
Loglogística	0,478	0,187
Loglogística 3- Parâmetros	0,480	*

- Histograma dos dados com distribuição Weibull de 3 parâmetros ajustada:



- Gráfico da função de distribuição acumulada da Weibull de 3 parâmetros para tempo de reparo:



## Anexo B

- **Programa da Simulação Inicial:**

```
#include <iostream>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>
#include <cmath>

long seed=0;

float Random(int min,int max)// funcao que gera numero aleatorio entre 0 e 1
{
    float r;
    //srand(time(NULL));

    if(!seed)
    {
        time(&seed);
        srand((unsigned)seed);
    }

    r=min+rand()%(max-min+1);

    return r/10000;
}

int main()
{ float a=-1;
    float r=0; //numero aleatorio
    float relogio_quebra=0; //relogio que acumula os intervalos entre quebras
    float relogio_reparo=0; //relogio que acumula os tempos de reparo
    float resultado1=0; //equivale ao intervalo entre quebras, calculado a cada iteração
    float resultado2=0; //equivale ao tempo de reparo calculado a cada iteração
    float td=2400; //tempo de calendario, considerando que o periodo de 6 meses estudado teve
aproximadamente 2400 horas
    float tc=0; //tempo de carga
    float to=0; //tempo de operação
    float disp=0; //disponibilidade
    float resultado1a=0;
    float eleva=(1/0.7346);
```

```

while ( relogio_quebra + relogio_reparo < 2400) { // 6 meses de funcionamento
r= Random(0,10000);
printf ("Random number: %f\n", r);
resultado1a=a*(log(1-r)*pow(58.69,0.7346));
printf ("Resultado1a: %f\n", resultado1a);
resultado1=pow(resultado1a,eleva);
printf ("Resultado: %f\n", resultado1);
relogio_quebra = relogio_quebra + resultado1;
r= Random(0,10000);
resultado2=a*(1/0.33 *log(1- r));
relogio_reparo = relogio_reparo + resultado2;
printf ("Random number: %f\n", r);
printf ("Resultado2: %f\n", resultado2);

}

printf ("\n\nTempo total entre quebras: %f\n", relogio_quebra);
printf ("Tempo total de reparo: %f\n", relogio_reparo);
tc=td; //considerando que não há planejamento de manutenção preventiva
to=tc-relogio_reparo; //nao considerando tempo de setup
printf ("ITO: %f\n", to/tc);
printf ("IPO: 0,89\n");
printf ("IPA: 0,993\n");
printf ("OEE: %f\n", 0.89*0.993*(to/tc));
disp= relogio_quebra/(relogio_reparo+relogio_quebra);
printf ("\nDisponibilidade: %f\n", disp);

system("pause>>NULL");

return 0;
}

```

- **Programa da Simulação Final:**

```
#include <iostream>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>
#include <cmath>

long seed=0;

float Random(int min,int max)// funcao que gera numero aleatorio entre 0 e 1
{
    float r;
    //srand(time(NULL));

    if(!seed)
    {
        time(&seed);
        srand((unsigned)seed);
    }

    r=min+rand()%(max-min+1);

    return r/10000;
}
```

```

int main()
{

float tempsim=20000; //tempo de simulação
float rel=0; //relógio principal
float relev=0; //relógio retroativo de falhas evitáveis
float med=179.9*2.5; //média da distribuição exponencial usada para calcular tempo entre
falhas evitáveis e variável, conforme análise de sensibilidade
float relin=0; //relógio retroativo de falhas inevitáveis
float relin1=0; //usado para calcular relin
float relpv=0; //relógio retroativo de tempo para manutenção preventiva
float relpvi=200; //tempo de intervalo entre cada parada para manutenção preventiva (nesse
caso simulando para paradas a cada 200h de máquina funcionando)
float relrep=0; //marca o tempo acumulado de reparo
float relpar=0; //marca o tempo acumulado de parada para preventiva
float marcaev=0; //marca o número de falhas evitáveis que ocorreram
float marcain=0; //marca o número de falhas inevitáveis que ocorreram
float marcapar=0; //marca o número de paradas para manutenção preventiva ocorreram
float temprep=0; //marca os tempos randômicos de reparo
float temprep1=0; //usado para calcular temprep
float temppar=2.5; //marca os tempos randômicos de parada para manutenção preventiva (por
enquanto marcando tempo fixo de 2 horas)
float r=0; //número randômico
float a=-1;
float eleva1=(1/0.7176); //auxilia no cálculo de relin
float eleva2=(1/0.8661); //auxilia no cálculo de temprep
float disp=0;
float to=0; //para calculo do OEE
}

```

```
float relevcomp=0; //para comparação dos tempos entre quebra evitável que tinha antes de
fazer a preventiva com o tempo gerado ao se fazer a parada p/ preventiva
```

```
r= Random(0,10000);
```

```
relev=a*(med*log(1- r));
```

```
r= Random(0,10000);
```

```
relin1=a*(log(1-r)*pow(86.66,0.7176));
```

```
relin=pow(relin1,eleva1)+5.876;
```

```
relpv=relpvi;
```

```
while (rel<tempsim){
```

```
if(relev>0&&relin>0&&relpv>0)
```

```
{ //chaves que abre o if(relev>0&&relin>0&&relpv>0)
```

```
relev--;
```

```
relin--;
```

```
relpv--;
```

```
rel++;
```

```
} //chaves que fecha o if(relev>0&&relin>0&&relpv>0)
```

```
else
```

```
{ //chaves que abre o else
```

```
if(relev<0)
```

```

{ //chaves que abre o if(relev<0)

    rel=rel+relev;

    relin=relin-relev;

    relpv=relpv-relev;

    marcaev++;



    r= Random(0,10000);

    temprep1=a*(log(1-r)*pow(2.565,0.8661));

    temprep=pow(temprep1,eleva2)+0.2863; //gerando tempo de reparo


    relrep=relrep+temprep;

    rel=rel+temprep;

    printf("PARADA POR QUEBRA EVITAVEL\n");

    printf("Numero de paradas por quebra evitavel: %f\n", marcaev);

    printf("Relogio reparo: %f\n",relrep);

    printf("Relogio geral: %f\n",rel);

    printf("Tempo de reparo: %f\n\n",temprep);

    temprep=0;





    r= Random(0,10000);

    relev=a*(med*log(1- r)); //gerando um novo tempo para falha evitável


}

//chaves que fecha o if(relev<0)

if(relin<0)

{ //chaves que abre o if(relin<0)

    rel=rel+relin;

    relev=relev-relin;

```

```

relpv=relpv-relin;
marcain++;

r= Random(0,10000);

temprep1=a*(log(1-r)*pow(2.565,0.8661));
temprep=pow(temprep1,eleva2)+0.2863; //gerando tempo de reparo

relrep=relrep+temprep;
rel=rel+temprep;
printf("PARADA POR QUEBRA INEVITAVEL\n");
printf("Numero de paradas por quebra inevitavel: %f\n", marcain);
printf("Relogio reparo: %f\n",relrep);
printf("Relogio geral: %f\n",rel);
printf("Tempo de reparo: %f\n",temprep);
temprep=0;

r= Random(0,10000);

relin1=a*(log(1-r)*pow(86.66,0.7176));
relin=pow(relin1,eleva1)+5.876; //gerando novo tempo para falha inevitável

}//chaves que fecha o if(relin<0)

if(relpv<0)
{//chaves que abre o if(relpv<0)

rel=rel+relpv;
relin=relin-relpv;
marcapar++;
}

```

```

rel=rel+tempvar; //precisa criar rotina para esse tempo ser randômico
relrep=relrep+tempvar;
relpar=relpar+tempvar;
printf("PARADA PARA MANUTENCAO PREVENTIVA\n");
printf("Numero de paradas para manutencao: %f\n", marcapar);
printf("Relogio reparo: %f\n",relrep);
printf("Relogio geral: %f\n",rel);
printf("Tempo de parada: %f\n",tempvar);
relpv=relpv;

relevcomp=relev;
r= Random(0,10000);
relev=a*(med*log(1- r)); //gerando um novo tempo para falha evitável

if(relev<relevcomp)
    relev=relevcomp; //comparando o tempo que tinha para uma quebra evitável antes
com um tempo gerado ao fazer a preventiva

}//chaves que fecha o if(relpv<0)

if (relev==0)
{
//chaves que abre if(relev==0)

r= Random(0,10000);
temprep1=a*(log(1-r)*pow(2.565,0.8661));
temprep=pow(temprep1,eleva2)+0.2863; //gerando tempo de reparo

rel=rel+temprep;

```

```

relrep=relrep+temprep;
marcaev++;

printf("PARADA POR QUEBRA EVITAVEL\n");
printf("Numero de paradas por quebra evitavel: %f\n", marcaev);
printf("Relogio reparo: %f\n",relrep);
printf("Relogio geral: %f\n",rel);
printf("Tempo de reparo: %f\n\n",temprep);
temprep=0;

r= Random(0,10000);
relev=a*(med*log(1- r)); //gerando um novo tempo para falha evitável
}//chaves que fecha o if(relev==0)

if (relin==0)
{
//chaves que abre o if (relin==0)

r= Random(0,10000);
temprep1=a*(log(1-r)*pow(2.565,0.8661));
temprep=pow(temprep1,eleva2)+0.2863; //gerando tempo de reparo

relrep=relrep+temprep;
rel=rel+temprep;
marcain++;

printf("PARADA POR QUEBRA INEVITAVEL\n");
printf("Numero de paradas por quebra inevitavel: %f\n", marcain);
printf("Relogio reparo: %f\n",relrep);
printf("Relogio geral: %f\n",rel);
}

```

```

printf("Tempo de reparo: %f\n\n",temprep);

temprep=0;

r= Random(0,10000);

relin1=a*(log(1-r)*pow(86.66,0.7176));

relin=pow(relin1,eleva1)+5.876; //gerando novo tempo para falha inevitável

} //chaves que fecham o if (relin==0)

if (relpv==0)

{ //chaves que abre if (relpv==0)

marcapar++;

rel=rel+temppar; //precisa criar rotina para esse tempo ser randômico

relrep=relrep+temppar;

relpar=relpar+temppar;

printf("PARADA PARA MANUTENCAO PREVENTIVA\n");

printf("Numero de paradas para manutencao: %f\n", marcapar);

printf("Relogio reparo: %f\n",relrep);

printf("Relogio geral: %f\n",rel);

printf("Tempo de parada: %f\n\n",temppar);

relpv=relpvi;

relevcomp=relev;

r= Random(0,10000);

relev=a*(med*log(1- r)); //gerando um novo tempo para falha evitável

if(relev<relevcomp)

```

```

relev=relevcomp; //comparando o tempo que tinha para uma quebra evitável antes
com um tempo gerado ao fazer a preventiva

} //chaves que fecha o if (relpv==0)

}//chaves que fecha o else

}//chaves que fecha o while (rel<2000)

disp=(rel-relrep)/rel;
to=tempsim-relrep; //não considerando tempo de setup

printf("Tempo de maquina rodando: %f\n", rel);
printf("Tempo de maquina parada: %f\n\n", relrep);
printf("Numero de quebras evitaveis: %f\n",marcaev);
printf("Numero de quebras inevitaveis: %f\n",marcain);
printf("Numero de paradas para manutencao: %f\n\n",marcapar);
printf("ITO: %f\n", to/(tempsim-relpar));
printf ("IPO: 0,89\n");
printf ("IPA: 0,993\n\n");
printf ("OEE: %f\n", 0.89*0.993*to/(tempsim-relpar));
printf("Disponibilidade: %f",disp);

system("pause>>NULL");
return 0;

}//chaves que fecha o int main

```

## Anexo C

**Tabela de Índices do FMEA**

Grau	Severidade	Ocorrência	Detecção
1	Efeito não percebido pelo cliente	Extremamente remoto, altamente improvável	É quase certo que será detectado
2	Efeito bastante insignificante, percebido pelo cliente; entretanto não faz com que o cliente procure o serviço	Remoto, Improvável	Probabilidade muito alta de detecção
3	Efeito insignificante, que perturba o cliente, mas não faz com que procure o serviço	Pequena chance de ocorrência	Alta probabilidade de detecção
4	Efeito bastante insignificante, mas perturba o cliente, fazendo com que procure o serviço	Pequeno número de ocorrências	Chance moderada de detecção
5	Efeito menor, inconveniente para o cliente; entretanto não faz com que o cliente procure o serviço	Espera-se um número ocasional de falhas	Chance média de detecção
6	Efeito menor, inconveniente para o cliente, fazendo com que procure o serviço	Ocorrência moderada	Alguma probabilidade de detecção
7	Efeito moderado, que prejudica o desempenho do projeto levando a uma falha grave ou a uma falha que pode impedir a execução das funções do projeto	Ocorrência frequente	Baixa probabilidade de detecção
8	Efeito significativo, resultante em falha grave; entretanto, não coloca a segurança do cliente em risco e não resulta em custo significativo da falha	Ocorrência elevada	Probabilidade muito baixa de detecção
9	Efeito crítico que provoca a insatisfação do cliente, interrompe as funções do projeto, gera custo significativo da falha e impõe um leve risco de segurança ao cliente	Ocorrência muito elevada	Probabilidade remota de detecção
10	Perigoso, ameaça a vida ou pode provocar incapacidade permanente ou outro custo significativo da falha que coloca em risco a continuidade operacional da organização	Ocorrência certa	Detecção quase impossível

## Anexo D

- **Tabela da disponibilidade média obtida para cada intervalo, por cenário simulado:**

Intervalo (h)	Média * 1,25	Média * 1,50	Média * 1,75	Média * 2,00	Média *2,25	Média * 2,50
50	0,9265958	0,9276612	0,9274598	0,9268130	0,9276078	0,9337120
100	0,9468472	0,9527682	0,9510972	0,9501504	0,9507364	0,9503536
150	0,9525658	0,9553792	0,9538458	0,9588596	0,9565612	0,9563978
200	0,9543664	0,9553142	0,9593918	0,9596034	0,9613688	0,9598384
250	0,9571484	0,9574626	0,9620410	0,9602216	0,9594684	0,9606398
300	0,9552332	0,9618634	0,9625604	0,9615398	0,9618362	0,9612989
350	0,9534472	0,9612704	0,9638836	0,9634414	0,9649626	0,9640124
400	0,9606714	0,9591736	0,9621018	0,9608918	0,9614476	0,9640106
450	0,9607050	0,9606670	0,9598018	0,9611550	0,9622508	0,9657770
500	0,9597914	0,9622210	0,9602300	0,9646580	0,9631078	0,9636660
550	0,9608018	0,9629720	0,9594700	0,9625040	0,9661234	0,9674289
600	0,9603496	0,9624424	0,9610458	0,9658338	0,9653174	0,9662462
650	0,9601206	0,9679602	0,9639020	0,9649246	0,9662522	0,9676580
700	0,9605138	0,9567206	0,9668842	0,9619236	0,9637892	0,9678556
750	0,9560964	0,9642202	0,9633230	0,9658686	0,9639486	0,9675484
800	0,9584736	0,9618338	0,9617026	0,9657484	0,9635028	0,9670504
850	0,9591840	0,9628232	0,9629210	0,9661450	0,9651076	0,9669472
900	0,9587424	0,9630342	0,9685058	0,9633070	0,9616222	0,9656386
950	0,9613118	0,9629038	0,9626110	0,9656852	0,9655226	0,9658204
1000	0,9575530	0,9617382	0,9621440	0,9654872	0,9629204	0,9697490

- **Tabela de custos para o cenário da média espaçada em 25% (baseados na fórmula da seção 3.7), explicitando o número médio de paradas devido às falhas evitáveis e inevitáveis e devido à manutenção preventiva por intervalo:**

Intervalo	Evitável	Inevitável	Preventiva	Custo (R\$)
50	1,4	184,0	370,8	1.195.501,84
100	18,3	184,0	188,8	1.245.250,62
150	37,1	184,0	126,5	1.339.059,79
200	49,2	184,0	95,0	1.401.796,51
250	53,7	184,0	76,1	1.423.156,39
300	60,2	184,0	63,1	1.457.934,18
350	68,2	184,0	54,1	1.502.658,77
400	66,8	184,0	47,4	1.492.560,89
450	72,6	184,0	42,1	1.525.322,42
500	73,5	184,0	37,9	1.529.479,13
550	70,2	184,0	34,1	1.508.968,43
600	74,4	184,0	31,6	1.533.059,49
650	77,8	184,0	29,0	1.552.403,64
700	83,6	184,0	27,0	1.586.070,86
750	82,5	184,0	25,0	1.579.032,70
800	79,0	184,0	23,5	1.557.973,37
850	81,3	184,0	22,0	1.571.130,15
900	86,5	184,0	21,0	1.601.532,22
950	85,7	184,0	20,0	1.596.538,30
1000	81,2	184,0	19,0	1.569.716,87

- **Tabela de custos para o cenário da média espaçada em 50% (baseados na fórmula da seção 3.7), explicitando o número médio de paradas devido às falhas evitáveis e inevitáveis e devido à manutenção preventiva por intervalo:**

Intervalo	Evitável	Inevitável	Preventiva	Custo (R\$)
50	2,0	184,0	371,3	1.199.178,67
100	8,3	184,0	189,3	1.186.394,54
150	23,8	184,0	126,6	1.260.626,14
200	36,5	184,0	95,5	1.327.012,24
250	38,4	184,0	76,4	1.332.978,97
300	45,6	184,0	63,4	1.371.886,30
350	50,3	184,0	54,3	1.397.115,65
400	58,7	184,0	47,5	1.444.803,77
450	54,1	184,0	42,0	1.416.157,37
500	54,8	184,0	38,0	1.419.189,10
550	58,8	184,0	34,4	1.441.798,40
600	61,1	184,0	31,7	1.454.625,85
650	60,6	184,0	29,0	1.450.935,17
700	64,5	184,0	27,0	1.473.393,66
750	62,1	184,0	25,0	1.458.686,36
800	62,9	184,0	23,8	1.463.076,49
850	63,4	184,0	22,0	1.465.532,14
900	70,3	184,0	21,0	1.505.963,07
950	76,5	184,0	19,9	1.542.237,02
1000	69,6	184,0	19,0	1.501.284,64

- **Tabela de custos para o cenário da média espaçada em 75% (baseados na fórmula da seção 3.7), explicitando o número médio de paradas devido às falhas evitáveis e inevitáveis e devido à manutenção preventiva por intervalo:**

Intervalo	Evitável	Inevitável	Preventiva	Custo (R\$)
50	1,1	182,0	370,8	1.181.933,38
100	9,8	182,0	189,0	1.183.362,54
150	19,6	182,0	126,8	1.224.105,19
200	21,9	182,0	95,3	1.229.028,47
250	28,6	182,0	76,3	1.263.339,43
300	36,5	182,0	63,7	1.306.486,07
350	41,6	182,0	54,9	1.334.157,49
400	43,3	182,0	47,6	1.342.182,87
450	44,1	182,0	42,4	1.345.475,19
500	50,4	182,0	38,0	1.381.433,39
550	47,8	182,0	34,4	1.365.107,11
600	52,5	182,0	31,7	1.392.092,95
650	53,6	182,0	29,1	1.397.868,64
700	49,9	182,0	27,0	1.375.464,78
750	53,2	182,0	25,1	1.394.411,11
800	55,6	182,0	23,9	1.408.240,16
850	53,9	182,0	22,0	1.397.689,85
900	52,8	182,0	21,0	1.390.926,13
950	59,4	182,0	20,0	1.429.587,26
1000	56,1	182,0	19,0	1.409.845,02

- **Tabela de custos para o cenário da média espaçada em 100% (baseados na fórmula da seção 3.7), explicitando o número médio de paradas devido às falhas evitáveis e inevitáveis e devido à manutenção preventiva por intervalo:**

Intervalo	Evitável	Inevitável	Preventiva	Custo (R\$)
50	0,3	183,0	371,1	1.183.195,58
100	3,7	183,0	189,4	1.153.385,74
150	11,4	183,0	126,8	1.181.630,01
200	21,2	183,0	95,3	1.230.798,27
250	24,1	183,0	76,8	1.242.829,00
300	32,3	183,0	63,6	1.287.580,77
350	32,6	183,0	54,6	1.286.880,52
400	36,7	183,0	46,8	1.308.927,06
450	37,3	183,0	42,1	1.311.176,74
500	40,7	183,0	38,0	1.330.109,22
550	38,7	183,0	34,9	1.317.459,77
600	43,5	183,0	32,0	1.344.980,65
650	37,4	183,0	29,0	1.308.171,38
700	42,5	183,0	27,0	1.337.709,07
750	46,3	183,0	25,0	1.359.577,62
800	46,1	183,0	23,8	1.358.068,41
850	43,5	183,0	22,0	1.342.236,15
900	49,8	183,0	21,0	1.379.127,47
950	50,1	183,0	20,0	1.380.622,82
1000	45,8	183,0	19,0	1.354.981,25

- **Tabela de custos para o cenário da média espaçada em 125% (baseados na fórmula da seção 3.7), explicitando o número médio de paradas devido às falhas evitáveis e inevitáveis e devido à manutenção preventiva por intervalo:**

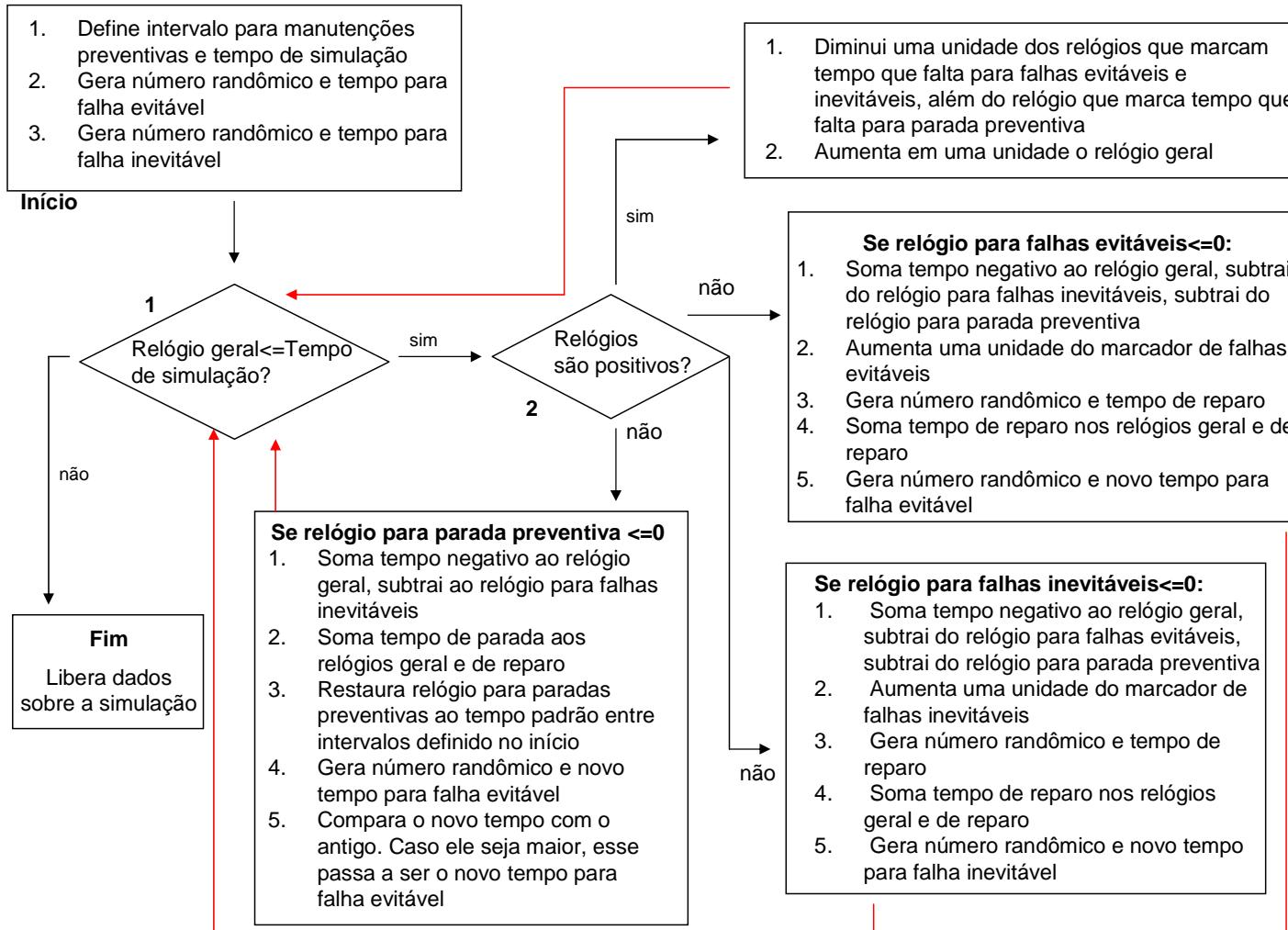
Intervalo	Evitável	Inevitável	Preventiva	Custo (R\$)
50	0,0	184,0	370,7	1.187.215,34
100	1,7	184,0	189,3	1.147.458,97
150	7,9	184,0	127,2	1.166.991,47
200	14,9	184,0	95,2	1.199.504,38
250	17,1	184,0	76,5	1.207.350,69
300	22,2	184,0	63,8	1.233.951,76
350	23,4	184,0	54,8	1.238.560,90
400	32,1	184,0	48,0	1.288.018,81
450	31,1	184,0	42,1	1.280.500,23
500	33,8	184,0	38,0	1.295.303,17
550	31,3	184,0	34,9	1.279.704,05
600	31,1	184,0	31,9	1.277.700,84
650	35,0	184,0	29,0	1.299.912,32
700	41,2	184,0	27,0	1.335.939,27
750	40,3	184,0	25,0	1.330.080,97
800	41,2	184,0	23,8	1.335.061,03
850	40,8	184,0	22,0	1.332.207,28
900	40,3	184,0	21,0	1.328.983,17
950	43,7	184,0	20,0	1.348.766,44
1000	47,0	184,0	19,0	1.367.959,78

- **Tabela de custos para o cenário da média espaçada em 150% (baseados na fórmula da seção 3.7), explicitando o número médio de paradas devido às falhas evitáveis e inevitáveis e devido à manutenção preventiva por intervalo:**

Intervalo	Evitável	Inevitável	Preventiva	Custo (R\$)
50	0,0	182,0	372,0	1.175.773,46
100	1,3	182,0	189,8	1.133.437,80
150	5,2	182,0	127,1	1.139.237,17
200	10,8	182,0	95,5	1.163.600,80
250	15,3	182,0	76,4	1.184.905,79
300	14,9	182,0	63,7	1.179.060,54
350	23,7	182,0	54,3	1.228.394,82
400	23,4	182,0	48,0	1.224.895,98
450	26,8	182,0	42,2	1.243.361,89
500	29,5	182,0	38,0	1.258.137,40
550	27,3	182,0	34,7	1.244.253,18
600	29,1	182,0	32,0	1.254.130,96
650	31,5	182,0	29,1	1.267.493,45
700	33,1	182,0	27,0	1.276.356,03
750	34,3	182,0	25,1	1.282.913,77
800	36,8	182,0	24,0	1.297.360,20
850	35,5	182,0	22,0	1.289.142,18
900	36,8	182,0	21,0	1.296.536,85
950	33,4	182,0	20,0	1.276.204,68
1000	41,5	182,0	19,0	1.323.714,81

## Anexo E

- **Fluxograma da Simulação Final**



## Anexo F

## Checklist de limpeza diária

## Observações

**Marque com um X somente os itens que estão ok**

## Checklist de Manutenção Preventiva

**Equipamento:** Vomm

**Parte:** Seladora

**Manutentor:**

**Data:**

Item nº	Descrição	Status			Observações
		A	B	C	
1	Estado das fitas				
2	Estado dos filtros de limpeza das fitas				
3	Estado das sapatas				
4	Estado dos contatores				
5	Estado das polias				
6	Estado das engrenagens				
7	Estado das correias				
8	Funcionamento das resistências				
9	Funcionamento dos amperímetros				
10	Funcionamento dos potenciômetros				
11	Qualidade da limpeza				

**Parte:** Eixo Central

Item nº	Descrição	Status			Observações
		A	B	C	
1	Verificar se há vazamentos nas gaxetas				
2	Verificar se há ruídos incomuns				
3	Verificar se há vibrações incomuns				
4	Verificar o funcionamento da exaustão				

**Parte:** Bomba de Perfume

Item nº	Descrição	Status			Observações
		A	B	C	
1	Verificar se há vazamentos nas gaxetas				
2	Verificar se há ruídos incomuns				
3	Verificar se há vibrações incomuns				
4	Estado das mangueiras				
5	Estado das conexões				

**Parte:** Rosca Injetora

Item nº	Descrição	Status			Observações
		A	B	C	
1	Verificar se há vazamentos				
2	Verificar se há ruídos incomuns				

**Legenda:**

**A** - O item está ok

**B** - O item está regular e necessita acompanhamento

**C** - O item está crítico e uma substituição ou intervenção deve ser realizada

Caso se marque B ou C, deve-se descrever a situação nas observações