

UNIVERSIDADE DE ARARAQUARA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Vlamir Faria Barriento

**ESTUDO DE TEMPOS DE PARADAS PARA MANUTENÇÃO DE
MÁQUINAS E COMPORTAMENTO HUMANO: FATORES QUE
POSSAM IMPACTAR NOS RESULTADOS DE ÁREAS PRODUTIVAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da Universidade de Araraquara – UNIARA – como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, Área de Concentração: Gestão Estratégica e Operacional da Produção.

Prof. Dr. Jorge Alberto Achcar
Orientador

Araraquara, SP – Brasil
2017

FICHA CATALOGRÁFICA

B27e Barriento, Vlamir

Estudo de tempos e paradas para manutenção de máquinas e comportamento humano: fatores que possam impactar nos resultados de áreas produtivas/Vlamir Barriento. – Araraquara: Universidade de Araraquara, 2017.
125f.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – Universidade de Araraquara-UNIARA

Orientador: Prof. Dr. Jorge Alberto Achcar

1. Manutenção. 2. Autonomia. 3. Indisponibilidade. 4. Confiabilidade.
5. Desempenho. 6. Indústria alimentícia. I. Título.

CDU 62-1

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BARRIENTO, V. F. **Estudo de tempos de paradas para manutenção de máquinas e comportamento humano: fatores que possam impactar nos resultados de áreas produtivas**. 2017. 125 folhas. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade de Araraquara, Araraquara-SP.

ATESTADO DE AUTORIA E CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Vlamir Faria Barriento

TÍTULO DO TRABALHO: Estudo de tempos de paradas para manutenção de máquinas e comportamento humano: fatores que possam impactar nos resultados de áreas produtivas.

TIPO DO TRABALHO/ANO: Dissertação / 2017

Conforme LEI Nº 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998, o autor declara ser integralmente responsável pelo conteúdo desta dissertação e concede a Universidade de Araraquara permissão para reproduzi-la, bem como emprestá-la ou ainda vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação pode ser reproduzida sem a sua autorização.



Vlamir Faria Barriento

Universidade de Araraquara – UNIARA

Rua Carlos Gomes, 1217, Centro. CEP: 14801–340, Araraquara-SP

Email: vlamir.barriento@terra.com.br



UNIVERSIDADE DE ARARAQUARA - UNIARA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

FOLHA DE APROVAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da Universidade de Araraquara – UNIARA – para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Gestão Estratégica e Operacional da Produção.

NOME DO AUTOR: **VLAMIR FARIA BARRIENTO**

TÍTULO DO TRABALHO:

"ESTUDO DE TEMPOS DE PARADAS PARA MANUTENÇÃO DE MÁQUINAS E COMPORTAMENTO HUMANO: FATORES QUE POSSAM IMPACTAR NOS RESULTADOS DE ÁREAS PRODUTIVAS."

Assinatura do(a) Examinador(a)

Conceito

Prof(a). Dr(a). Jorge Alberto Achcar (orientador(a))
Universidade de Araraquara - UNIARA

Aprovado () Reprovado

Prof(a). Dr(a). José Luís Garcia Hermosilla
Universidade de Araraquara - UNIARA

Aprovado () Reprovado

Prof(a). Dr(a). Daiane Leite da Roza
Universidade de São Paulo - USP

Aprovado () Reprovado

Versão definitiva revisada pelo(a) orientador(a) em: 08/06/2017

Prof(a). Dr(a). Jorge Alberto Achcar (orientador(a))

A Deus, por me proporcionar uma família linda, vivendo plenamente ao meu lado, sempre me apoiando nos desafios que aparecem na minha vida, pela qual tenho muito a agradecer pela compreensão e apoio ao longo do período de elaboração desse trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por olhar por mim e por me dar força para a continuidade dos objetivos traçados de conclusão deste desenvolvimento e outros planos na minha vida.

Ao Prof. Dr. Jorge Alberto Achcar, que me deu total apoio em todos os momentos e necessidades, demonstrando ser uma pessoa extremamente comprometida com meu trabalho, evidenciando sua competência e conhecimento ao longo do mesmo, por quem tive o grande privilégio de ser orientado.

À minha mãe Ruth, meu pai Alberto (in memoriam) e ao meu irmão Alberto, que foram os responsáveis pela minha criação, demonstrando sempre os caminhos corretos a serem seguidos na vida e o real valor do conhecimento.

A minha esposa Denise, a minha filha Letícia e a minha filha Larissa, sem as quais eu não teria forças para chegar até aonde estou chegando, pois os carinhos e conselhos foram fundamentais durante este desenvolvimento e em toda minha vida.

À empresa aonde trabalho atualmente, me proporcionando tranquilidade para desenvolver estes estudos e acreditando no meu potencial.

Aos colegas e docentes do curso, incluindo os que não conseguiram seguir este caminho junto conosco, pelas palavras e gestos de amizade, pelo incentivo, pelo companheirismo e ajuda, e especialmente ao grupo da “Mesa 17”, pelos inúmeros momentos agradáveis, sempre reforçando o conceito de trabalho de equipe.

“Consulta o passado por arquivo de informações que te facilite os movimentos em rumo certo, mas não te prenda à lembrança de caráter negativo, porque hoje é o dia de construir o amanhã com o material selecionado de que disponhas no campo da experiência. ” (Emmanuel)

RESUMO

O segmento de produção de alimentos necessita a cada dia de um maior entendimento dos resultados industriais para encontrar novas oportunidades de ganhos para se tornar mais competitivo no mercado. O presente trabalho apresenta um estudo sobre tempos de manutenção e confiabilidade de equipamentos, passando pelos aspectos motivacionais e autonomia de funcionários da área de manutenção em uma indústria de alimentos localizada no interior do estado de São Paulo, procurando correlacionar tais aspectos com resultados da empresa com um enfoque estatístico, usando a Distribuição de Weibull, Modelos de ANOVA, Análise Descritiva, Modelos de Regressão Lineares (EMQ-estimadores de mínimos quadrados e EMV- estimadores de máxima verossimilhança) e análises gráficas usando *Box-plots* para poder planejar ações estratégicas objetivando melhores resultados. Vários fatores analisados neste estudo podem afetar o desempenho desses equipamentos industriais e dos profissionais da manutenção como, tipo de falha, motivo da falha, local da instalação, formação, idade, experiência, autonomia e motivação. Metodologicamente, este trabalho é classificado como aplicado, de objetivo descritivo e abordagem quantitativa. As análises foram feitas através de 42.071 registros na empresa estudada e com a aplicação de um questionário abordando motivação e autonomia nos funcionários da manutenção. Os resultados obtidos por estas análises são de interesse para os gerentes de produção e manutenção, em termos de planejamento sobre o uso das máquinas, detecção dos fatores de maiores riscos para o uso das máquinas, minimização dos tempos de paradas para manutenção e até em assertividade em processos seletivos. O resultado deste trabalho evidencia que realmente existem alguns fatores que impactam mais significativamente que outros nos resultados da manutenção e são de grande importância sob o enfoque geral da área de Engenharia de Produção para otimização de seus recursos. Com os resultados obtidos, conclui-se que empresas e profissionais da área de produção podem evoluir com o estímulo da autonomia, pois comprova-se, que com maior autonomia, diminuem os tempos de intervenções de manutenção em máquinas e processos industriais.

Palavras-chave: Manutenção. Autonomia. Confiabilidade. Desempenho. Indústria Alimentícia.

ABSTRACT

The food production segment requires a greater understanding of industrial results each day to find new profit opportunities to become more competitive in the market. The present work presents a study on equipment maintenance times and reliability, passing through the motivational aspects and autonomy of maintenance staff in a food industry located in the state of São Paulo, seeking to correlate these aspects with the results of the company with a focus in statistical analysis, such as using Weibull Distribution, ANOVA models, Descriptive Analysis, Linear Regression Models (LSE - Least Squares Estimators and MLE- Maximum Likelihood Estimators) and graphical techniques using Box-plots to be able to plan strategic actions aiming at better results. Several factors analyzed in this study may affect the performance of the maintenance times of the industrial equipment such as failure type, failure reason, installation site, training, age, experience, autonomy and motivation. Methodologically, this work is classified as applied, with descriptive objective and quantitative approach. The analyzes were done through 42,071 records in the company studied and with the application of a questionnaire addressing motivation and autonomy in maintenance staff. The results obtained by these analyzes are of interest to the production and maintenance managers, in terms of planning on the use of machines, detection of important factors affecting the maintenance times, minimization of the stop times for maintenance and even better selection of maintenance operators. The results of this work shows that there are indeed some factors that impact more significantly than others in the maintenance results and are of great importance under the general approach of the area of Production Engineering to optimize its resources. With the results obtained, it can be concluded that companies and professionals in the production area can evolve with the stimulation of autonomy, since it is proven that, with greater autonomy, the maintenance intervention times in machines and industrial processes are reduced.

Keywords: *Maintenance. Autonomy. Reliability. Performance. Food industry.*

Lista de figuras

Figura 1 - Curva da banheira com período de operação prolongado.....	17
Figura 2 - Metodologias aplicadas neste trabalho.....	22
Figura 3 - Processo Manutenção.....	25
Figura 4 - Histogramas para os tempos de manutenção originais e transformados(escala logarítmica).....	50
Figura 5 - <i>Box-plot</i> para os logaritmos dos tempos de manutenção (função).....	51
Figura 6 - <i>Box-plot</i> para os logaritmos dos tempos de manutenção (turno).....	51
Figura 7 - <i>Box-plot</i> para os logaritmos dos tempos de manutenção (área).....	52
Figura 8 - <i>Box-plot</i> para os logaritmos dos tempos de manutenção (tipo de serviço).....	53
Figura 9 - <i>Box-plot</i> para os logaritmos dos tempos de manutenção (característica principal do ser).....	54
Figura 10 - <i>Box-plot</i> para os logaritmos dos tempos de manutenção (oficina do serviço).....	54
Figura 11 - <i>Box-plot</i> para os logaritmos dos tempos de manutenção (ano).....	55
Figura 12 - Intervalo de confiança 95% para as médias dos log(tempo) - função.....	58
Figura 13 - Intervalo de confiança 95% para as médias dos log(tempo) - turno.....	59
Figura 14 - Intervalo de confiança 95% para as médias dos log(tempo) - área.....	59
Figura 15 - Intervalo de confiança 95% para as médias dos log(tempo) - tipo de serviço.....	60
Figura 16 - Intervalo de confiança 95% para as médias dos log(tempo)- característica principal do serviço.....	61
Figura 17 - Intervalo de confiança 95% para as médias dos log(tempo) - ano.....	61
Figura 18 - Intervalo de confiança 95% para as médias dos log(tempo) - oficina serviço....	62
Figura 19 - Histograma dos resíduos (regressão linear múltipla).....	64
Figura 20 - Gráfico da normalidade dos resíduos (regressão linear múltipla).....	65
Figura 21 - Gráfico de resíduos padronizados (regressão log-normal).....	66
Figura 22 - Gráfico de funções de confiabilidade (distribuição Weibull - função).....	72
Figura 23 - Gráfico de funções de confiabilidade (distribuição de Weibull - turno).....	75
Figura 24 - Gráfico de funções de confiabilidade (distribuição de Weibull – serviço).....	78
Figura 25 - Gráfico de funções de confiabilidade (distribuição de Weibull – anos).....	81
Figura 26 - Gráfico de funções de confiabilidade (distribuição de Weibull - oficina de serviço).....	83

Figura 27 - Gráfico de funções de confiabilidade (distribuição de Weibull- áreas primeira parte).....	83
Figura 28 - Gráfico de funções de confiabilidade (distribuição de Weibull – áreas segunda parte).....	84
Figura 29 – Histograma para os dados (escala original e escala logarítmica).....	86
Figura 30 – <i>Box-plot</i> para tempos de manutenção na escala logarítmica (função)	87
Figura 31 – <i>Box-plot</i> para tempos de manutenção na escala logarítmica (turno)	88
Figura 32 – <i>Box-plot</i> para tempos de manutenção na escala logarítmica (área)	90
Figura 33 – <i>Box-plot</i> para tempos de manutenção na escala logarítmica (tipo de serviço)	91
Figura34 – <i>Box-plot</i> para tempos de manutenção na escala logarítmica (característica principal do serviço)	92
Figura 35 – <i>Box-plot</i> para tempos de manutenção na escala logarítmica (oficina do serviço).93	
Figura 36 – <i>Box-plot</i> para tempos de manutenção na escala logarítmica (executo meu trabalho de forma independente dos outros)	94
Figura 37 – <i>Box-plot</i> para tempos de manutenção na escala logarítmica (tenho liberdade para fazer praticamente tudo o que quero no meu trabalho)	95
Figura 38 – <i>Box-plot</i> para tempos de manutenção na escala logarítmica (orgulho-me de executar o meu trabalho o melhor que consigo)	96
Figura 39 – <i>Box-plot</i> para tempos de manutenção na escala logarítmica (tento pensar em diversas maneiras de fazer o meu trabalho de forma eficiente e eficaz).....	97
Figura 40 – Gráficos de resíduos (modelos de regressão múltiplo).....	104

Lista de Quadros

Quadro 1 - As quatro gerações da manutenção	26
Quadro 2 - Diferenças entre modalidades de manutenção preventiva	28

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Estatísticas descritivas para os tempos de manutenção t_i (min) relacionados a alguns fatores	44
Tabela 2 - Análise de variância para os logaritmos dos tempos de manutenção.....	57
Tabela 3 - Regressão linear (EMQ) para os logaritmos dos tempos de manutenção.....	64
Tabela 4 - Regressão log-normal (EMV) para os tempos de manutenção.....	66
Tabela 5 - Regressão Weibull (EMV) para os tempos de manutenção.....	67
Tabela 6 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - função auxiliar de manutenção mecânica máquinas de embalagem	68
Tabela 7 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - função técnico de manutenção mecânica máquina de embalagem.....	69
Tabela 8 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - função auxiliar de manutenção mecânica geral.....	69
Tabela 9 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - função técnico de manutenção mecânica geral.....	70
Tabela 10 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - função técnicos eletroeletrônicos.....	70
Tabela 11 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - função auxiliar de manutenção eletroeletrônica.....	71
Tabela 12 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - função outras funções.....	71
Tabela 13 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção – primeiro turno....	73
Tabela 14 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção – segundo turno....	73
Tabela 15 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção – terceiro turno.....	74
Tabela 16 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção – quarto turno.....	74
Tabela 17 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - turno administrativo.....	75
Tabela 18 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção – manutenção corretiva.....	76
Tabela 19 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - tipo serviço serviços programados.....	76
Tabela 20 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - tipo serviço inspeções.....	77

Tabela 21 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - tipo serviço lubrificação.....	77
Tabela 22 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - ano 2012.....	79
Tabela 23 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - ano 2013.....	79
Tabela 24 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - ano 2014.....	80
Tabela 25 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - ano 2015.....	80
Tabela 26 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - oficina eletroeletrônica.....	81
Tabela 27 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - oficina mecânica de máquinas de embalagem.....	82
Tabela 28 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - oficina mecânica geral.....	82
Tabela 29 - Estatísticas descritivas para os tempos de manutenção na escala logarítmica (função).....	87
Tabela 30 - Estatísticas descritivas para os tempos de manutenção na escala logarítmica (turno).....	88
Tabela 31 - Estatísticas descritivas para os tempos de manutenção na escala logarítmica (área).....	89
Tabela 32 - Estatísticas descritivas para os tempos de manutenção na escala logarítmica (tipo serviço).....	90
Tabela 33 - Estatísticas descritivas para tempos de manutenção na escala logarítmica (característica principal do serviço).....	92
Tabela 34 - Estatísticas descritivas para tempos de manutenção na escala logarítmica (oficina do serviço).....	93
Tabela 35 - Estatísticas descritivas para os tempos de manutenção na escala logarítmica (executo meu trabalho de forma independente dos outros).....	94
Tabela 36 - Estatísticas descritivas para os tempos de manutenção na escala logarítmica (tenho liberdade para fazer praticamente tudo o que quero no meu trabalho).....	95
Tabela 37 - Estatísticas descritivas para os tempos de manutenção na escala logarítmica (orgulho-me de executar o meu trabalho o melhor que consigo).....	96
Tabela 38 - Estatísticas descritivas para os tempos de manutenção na escala logarítmica (tento pensar em diversas maneiras de fazer o meu trabalho de forma eficiente e eficaz).....	97
Tabela 39 - ANOVA para tempos de manutenção (escala logarítmica) – fator função	98
Tabela 40 - ANOVA para tempos de manutenção (escala logarítmica) – fator turno.....	99

Tabela 41 - ANOVA para tempos de manutenção (escala logarítmica) – fator área.....	99
Tabela 42 - ANOVA para tempos de manutenção (escala logarítmica) – fator tipo de serviço.....	100
Tabela 43 - ANOVA para tempos de manutenção (escala logarítmica) – fator característica principal do serviço.....	101
Tabela 44 - ANOVA para tempos de manutenção (escala logarítmica) – fator oficina de serviço.....	102
Tabela 45 - Estimadores de mínimos quadrados (modelo de regressão linear múltiplo) para tempos de manutenção (escala logarítmica).....	103
Tabela 46 - Correlações entre as variáveis relacionadas a autonomia.....	105

Lista de Abreviaturas e Siglas

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- MCC – Manutenção Centrada em Confiabilidade
- MTTR – *Mean Time To Repair* (Tempo Médio Para Reparo)
- NBR – Norma Brasileira Regulamentadora
- NC – Não Conformidade
- SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
- VU – Vida Útil

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	Erro! Indicador não definido.
1.1 Contextualização	16
1.2 Objetivos.....	19
1.2.1 Objetivos gerais	19
1.2.2 Objetivos específicos.....	19
1.3 Justificativas	19
1.4 Caracterização do estudo.....	21
1.4.1 Dados	21
1.4.2 Aspectos metodológicos.....	22
1.4.3 Estrutura do trabalho	23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	24
2.1 Manutenção	24
2.1.1 Manutenção corretiva	27
2.1.2 Manutenção preventiva.....	28
2.1.3 Manutenção preditiva	28
2.1.4 Engenharia de manutenção - Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC)	29
2.2 Autonomia.....	30
3. METODOLOGIA	32
3.1 Alguns conceitos básicos em confiabilidade industrial.....	32
3.1.1 Conceito confiabilidade.....	32
3.1.2 A função de confiabilidade.....	32
3.1.3 Função de confiabilidade e distribuição acumulada de falhas.....	33
3.1.4 Função densidade de probabilidades de falha.....	33
3.1.5 Função taxa de risco ou taxa de falha.....	34
3.1.6 Função taxa de falha acumulada.....	35
3.1.7 Tempo médio para reparo (MTTR).....	35
3.1.8 Uso da distribuição de Weibull para os tempos de manutenção.....	35
3.1.9 Uso das distribuição log-normal para os tempos de manutenção.....	37
3.1.10 Análise dos dados de manutenção assumindo um modelo de regressão log-linear.....	38
3.2. Caracterização da pesquisa.....	38
4. ANÁLISE E COLETA DE DADOS DE MANUTENÇÃO	41
4.1 Análise descritiva dos tempos de manutenção	44

4.2	Uso de um modelo de análise de variância (ANOVA) para os tempos de manutenção na escala logarítmica	56
4.3	Uso de um modelo de regressão linear múltiplo para os tempos de manutenção na escala logarítmica	64
4.4	Uso de um modelo log-linear múltiplo para os tempos de manutenção na escala original	65
4.5	Determinação das funções de confiabilidade para os tempos de manutenção assumindo uma distribuição de Weibull para cada fator	67
4.5.1	Função.....	67
4.5.2	Turno.....	72
4.5.3	Tipo de serviço.....	76
4.5.4	Ano.....	78
4.5.5	Oficina de serviço.....	81
4.5.6	Áreas.....	83
5.	INFLUÊNCIA DE FATORES DA EMPRESA, PESSOAIS DE CADA FUNCIONÁRIO DE MANUTENÇÃO E RELACIONADAS À AUTONOMIA NOS TEMPOS DE MANUTENÇÃO.....	85
5.1	Descrição das variáveis.....	85
5.2	Análise descritiva dos dados relacionados aos fatores categóricos.....	86
5.3	Uso de modelo ANOVA para fatores categóricos afetando tempo manutenção (escala logarítmica).....	98
5.4	Análise de regressão linear.....	102
5.5	Análise de correlação para as variáveis relacionadas a autonomia dos técnicos em manutenção.....	104
6.	CONCLUSÕES E INTERPRETAÇÕES DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	108
6.1	Dados de manutenção com fatores da indústria	108
	REFERÊNCIAS	109
	APÊNDICE A1 – CURVAS DE CONFIABILIDADE ASSUMINDO UMA DISTRIBUIÇÃO LOG-NORMAL PARA OS DADOS DE MANUTENÇÃO	114
	APÊNDICE A2 - ALGUMAS CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS SOBRE ANÁLISE DE DADOS DE CONFIABILIDADE.....	118
	ANEXO A – QUESTIONÁRIO SOBRE MOTIVAÇÃO E AUTONOMIA APLICADA AOS FUNCIONÁRIOS DA MANUTENÇÃO.....	125

1. INTRODUÇÃO

1.1.Contextualização

As indústrias em todos os setores entendem que é uma necessidade crítica ter a manutenção adequada nas suas instalações (LUXHOJ et al., 1997). O processo de manutenção agrega valor ao processo em termos de lucro, qualidade, tempo e serviço (ZHU et al, 2002). Sem uma manutenção de alta qualidade uma indústria pode estar em grande desvantagem no mercado que exige cada vez mais produtos de baixo custo com alta qualidade para serem entregues em curto espaço de tempo (CHOLASUKE; ANTHONY, 2004).

A gestão dos ativos deveria estar diretamente relacionada com a direção da organização, devido a sua importância para o negócio (MORTELARI et al., 2012).

Em geral a programação e execução da manutenção é parte do planejamento empresarial de qualquer indústria, enfatizando a receita operacional, lucros e demais resultados financeiros. Muitos estudos de manutenção industrial consideram vários indicadores destinados à avaliação da qualidade dos processos de manutenção. Estes indicadores medem Eficiência, Eficácia, Efetividade, Produtividade e Qualidade das ações da manutenção (ANHESINE, 1999; CLIFTON, 1974; COKINS, 1996; GOLD 1985).

Os serviços de manutenção exercem papel importante no desempenho de outros setores dentro da indústria. Este papel pode ser sumarizado em três categorias: como diferencial competitivo, como suporte às atividades de manufatura e como geradores de lucro (GIANESE; CORREA, 1994).

A gestão da manutenção usualmente é focada no acompanhamento das ações dos diversos programas industriais, com indicadores de qualidade para todo o processo da manutenção, incluindo as fases de programação e execução. Na prática podem ocorrer desvios consideráveis em relação aos planos originais. Além das incertezas da fase de planejamento, decorrentes do desconhecimento de mecanismos de falhas dos ativos da empresa, outras variáveis, de caráter aleatório, podem impedir o cumprimento das manutenções programadas, ditadas por imprevistos e falhas no sistema de produção. Em especial, a aleatoriedade de muitos mecanismos de falha, principalmente em instalações automatizadas, dificulta a previsão de manutenções preventivas, afetando a qualidade da manutenção. A manutenção industrial deve obedecer a alguns critérios de Eficiência, Eficácia, Efetividade, Produtividade e Qualidade. O uso desses índices pode não ser suficiente para um completo estudo da

manutenção, especialmente na descoberta de fatores importantes que afetam o tempo de manutenção.

Dentro dos modernos conceitos de manutenção, existem várias metodologias e processos que sempre buscam melhores resultados. A diminuição de paradas não programadas em máquinas e equipamentos que afetam a produtividade da empresa, seja por aspecto de indisponibilidade de máquinas, ou por perda de qualidade de seus produtos em função de perdas de funções específicas de seus equipamentos, são os principais objetivos de uma área de manutenção. Com este objetivo alcançado, existe paralelamente um outro, que é o prolongamento da vida útil dos equipamentos, conforme ilustrado na Figura 1, maximizando o tempo de uso dos ativos.

Figura 1 – Curva da banheira com período de operação prolongado



Fonte: adaptado de Fogliato e Ribeiro (2009)

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) a Norma Brasileira NBR 15.575 – Parte 1 – Requisitos Gerais, 2013 (p. 10): Vida Útil (VU) “Período de tempo em que um edifício e/ou seus sistemas, elementos e componentes se prestam às atividades para as quais foram projetados e construídos considerando: 1- o atendimento dos níveis de desempenho previstos na NBR 15.575, e 2- a periodicidade e a correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção”. Esta definição da ABNT enfatiza a importância de se praticar manutenção, nas suas modernas técnicas e metodologias, para o atingimento dos resultados planejados para a empresa.

Um mesmo produto pode apresentar desempenho distinto operando em ambientes de calor ou umidade intensas, se comparado a produtos expostos a condições climáticas amenas de uso (FOGLIATO; RIBEIRO, 2009).

O conhecimento formal resultante da análise de falhas e da busca da minimização de sua ocorrência provê uma rica variedade de contextos nos quais surgem considerações acerca da confiabilidade (FOGLIATO; RIBEIRO, 2009).

Ao examinar dados tratados, é possível descobrir padrões previamente não detectados pelos funcionários que em geral podem levar à grandes perdas da margem de lucro de seus produtos (BOX; BISGAARD, 1987). Dessa forma, surge a necessidade de analisar dados de manutenção usando técnicas estatísticas (HOPE; MUHLEMANN, 1997; JOINER, 1994; JURAN, 1999).

O homem continua e continuará sendo, por muitos anos, o elo principal entre esses avanços tecnológicos e seus resultados primordiais (TORRES, 2009).

Quando os funcionários sentem que as organizações se preocupam com eles, por satisfazer as suas necessidades, eles desenvolvem um senso de lealdade e conexão com a organização. O senso de conexão aumenta o compromisso quando a organização o apoia no seu crescimento pessoal e profissional; e o compromisso aumenta no envolvimento emocional e intelectual quando a organização lhes dá oportunidades de fazer o tipo de trabalho que lhes proporciona situações desafiadoras, onde eles têm que usar sua criatividade ou trabalho que lhes permitem fazer uma diferença no mundo, cumprindo o seu sentido de existência (BARRET, 2015).

Os valores estão no cerne do processo de decisão humana. Quando se trabalha em uma organização cuja cultura se alinha com os valores pessoais, os profissionais se sentem livres. Nesta situação, nós somos capazes de nos doar completamente para o trabalho. Não só trazer energia, criatividade e o entusiasmo, mas também trazer o compromisso com o bem-estar dos funcionários e o sucesso da organização. Desencadear esta energia, é equivalente a libertar a alma corporativa. (BARRET, 2015).

Nessa direção, um outro ponto importante também relacionado à descoberta de fatores que podem impactar em melhor desempenho na manutenção dos equipamentos da indústria é considerado como segundo objetivo de estudo neste trabalho: covariáveis relacionadas a características de cada operador (idade, tempo de empresa, etc.) de manutenção e um grau de autonomia auto avaliado pelos funcionários do setor de manutenção da indústria.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivos gerais

O foco de estudo tem dois objetivos relacionados à área de manutenção da indústria alimentícia considerada: um primeiro objetivo é relacionado à pesquisa usando modelos estatísticos para encontrar fatores importantes que levam a maiores (ou menores) tempos de manutenção de equipamentos da indústria alimentícia; um segundo objetivo é relacionado à descoberta de fatores, também usando um modelo estatístico, que leva ao desejo de maior autonomia dos funcionários do setor de manutenção da indústria. Isso é importante, pois talvez com maior autonomia por parte dos funcionários do setor de manutenção, pode-se ter melhor desempenho na área de manutenção. Em síntese, segue :

- Identificar fatores humanos e técnicos de uma área de manutenção que afetam o tempo de manutenção de máquinas e equipamentos de uma indústria alimentícia, através de uma análise estatística dos tempos de paradas não programadas para manutenção de máquinas e equipamentos.
- Verificar se algumas covariáveis relacionadas a cada operador de manutenção (idade, tempo de serviço na indústria, etc.) e um grau de autonomia auto atribuído por cada funcionário do setor de manutenção da indústria afetam o desempenho (tempo) de manutenção.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificação de correlações entre características da área de manutenção e dos funcionários da área, que impactam em melhoria de desempenho de máquinas e equipamentos da indústria alimentícia em termos de menores tempos de manutenção.
- Identificação de correlações entre características dos funcionários da área, que pode impactar em melhoria de desempenho na manutenção de máquinas e equipamentos da indústria alimentícia em termos de menores tempos de manutenção.

1.3. Justificativas

Devido à alta competitividade, as indústrias devem atingir desempenhos mais elevados, ou seja, maior qualidade de seus produtos e serviços com menores custos (KLEINDORFER; SINGHAL; WASSENHOVE, 2005).

Segundo Mirshawka e Olmedo (1993), o substancial aumento dos custos de manutenção e complexidade dos equipamentos, associados a uma forte questão de segurança do trabalho em máquinas e equipamentos levou a área de manutenção a patamares de importância no mesmo nível de outras importantes áreas dentro de uma indústria.

A importância da atividade de manutenção tem aumentado devido ao seu papel fundamental na melhoria da disponibilidade de equipamentos e qualidade de produtos (ALSYOUF, 2007).

Na constante busca de competitividade, as empresas em geral, tem como um grande objetivo a eliminação dos desperdícios a fim de produzir cada vez mais com menos recursos e menos tempo, e assim, conseqüentemente, uma produção com um custo mais baixo. Por este motivo, indicadores de eficiência de processos industriais tem sido implementados, visando facilitar a identificação de pontos frágeis na linha de produção e assim possibilitar a implantação de estratégias operacionais e gerenciais que garantam a maior produtividade possível.

Vários estudos indicaram a preferência de simulação e outras técnicas estatísticas, para otimizar problemas de manutenção com uma abordagem analítica e matemática. Esta linha de raciocínio é em parte devida a modernos sistemas de fabricação que envolvem numerosas interações e dependências entre componentes (ALRABGHI; TIWARI, 2014).

De acordo com Fogliato e Ribeiro (2009) uma questão essencial para se ter confiabilidade dos equipamentos refere-se a identificação dos modos de falha, ou seja, dos modos como os equipamentos podem falhar em cumprir suas funções.

Altos índices de disponibilidade não significam a total satisfação por parte da operação industrial (MORTELARI; SIQUEIRA; PIZZATI, 2012).

Tavares (1996) cita que a previsibilidade e o impacto das falhas sobre o negócio apontam para o tipo de estratégia a ser adotada, conforme a importância de cada equipamento utilizado pela empresa.

“Um equipamento pode falhar várias vezes e retornar a operação rapidamente, após um desligamento forçado, por exemplo. Outro falha uma única vez permanece um longo período parado, por falta de um sobressalente inexistente na planta. Note que no primeiro caso tivemos alta disponibilidade e baixa confiabilidade, já que confiabilidade é definida pela quantidade de falhas conhecidas e sob controle por um determinado período de tempo. No segundo caso houve apenas uma falha, portanto maior confiabilidade, mas o longo período de paralisação causado pela falta do sobressalente derrubou o índice de disponibilidade” (MORTELARI; SIQUEIRA; PIZZATI, 2012, pag. 71).

Como a competitividade está cada vez mais forte, o aprofundamento das informações sobre disponibilidade de equipamentos e motivação, com uma análise estatística, é de grande importância para se tratar planos estratégicos da área industrial.

Segundo Mendes (2011) o fator de destaque em um estudo de abordagem quantitativa em tempos de parada de máquinas em uma indústria farmacêutica é “outros”, levando-o ao primeiro lugar em impactos negativos na empresa. O que sinaliza que outros fatores além dos inerentes a quebras de equipamentos impactam fortemente nos resultados industriais e são desconhecidos neste estudo realizado.

Silva e Severino (2015) utilizam e classificam as ocorrências durante a operação que podem acontecer divididas sob a ótica de cinco naturezas distintas, que são: parada ou interrupção de algum equipamento ou processo por motivo de manutenção corretiva, fator externo, falhas de processo, decisão administrativa e características do processo.

Estudos realizado por Godwin e Nsobundu (2013) objetivou identificar os lapsos na cultura de manutenção de uma indústria, usando o modelo de desempenho da produtividade, para identificar a eficácia e eficiência do seu sistema de produção usando o modelo de eficiência global do equipamento e também estabelecendo a correlação entre desempenho e a produtividade do seu sistema, utilizando técnicas de análise estatística.

1.4. Caracterização do estudo

1.4.1. Dados

O presente trabalho foi desenvolvido na área de manutenção em uma indústria de alimentos de grande porte, localizada no interior do estado de São Paulo com coleta de dados feitas através de 42.071 registros de eventos de intervenções em máquinas e equipamentos envolvidas no processo produtivo, caracterizando como sendo registros de documentações indiretas particulares (máquina, tempo de parada de máquina, funcionário, turno, oficina, cargo, turno, tipo de serviço e ano) da empresa estudada entre os anos de 2012 a 2015. Aplicou-se também um questionário em 132 funcionários da área de manutenção abordando motivação e autonomia, aonde 100 devolveram o mesmo preenchido. Estes dados serviram para identificar indicadores de tempos de paradas de máquinas e percepção da autonomia pelos funcionários da área de manutenção.

1.4.2. Aspectos metodológicos

Esta pesquisa de objetivo descritivo, de natureza quantitativa aplicada e exploratória, investiga correlações comportamentais de variáveis operacionais dependentes.

A pesquisa procura encontrar a correlação entre tempos de paradas de máquinas e autonomia, com os resultados da empresa sob um enfoque estatístico apoiado pelo *software* Minitab versão 2016, usando Distribuição de Weibull, Modelos de ANOVA, Análise Descritiva, Modelos de Regressão Lineares (EMQ-estimadores de mínimos quadrados e EMV- estimadores de máxima verossimilhança) e análises gráficas usando *Box-plots*, como ferramentas estatísticas.

A Figura 2 elucida a metodologia utilizada na condução deste trabalho, destacando na cor rosa as metodologias utilizadas : natureza aplicada e quantitativa, com objetivos exploratórios e descritivos, com os procedimentos de pesquisa bibliográfica, estudo de caso e levantamento de dados.

Figura 2 – Metodologias aplicadas neste trabalho destacadas em rosa



Fonte: o próprio autor

1.4.3. Estrutura do trabalho

Este trabalho está estruturado da seguinte forma:

- Introdução: apresenta-se o trabalho destacando seu contexto, problema de pesquisa, objetivos, justificativa, aspectos metodológicos e sua estrutura (seção 1);
- Revisão Bibliográfica: se subdivide em duas seções contendo informações sobre Manutenção (seção 2.1) e Autonomia (seção 2.2).
- Metodologia: apresentada, e evidenciada as correlações com o trabalho (seção 3).
- Coleta e análise dos dados obtidos (seções 4 e 5)
- Conclusões e interpretações dos resultados obtidos (seção 6)
- Referências bibliográficas: apresenta as obras citadas no trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Manutenção

A área de manutenção industrial, tem como principal característica a prestação de serviço em ativos.

Baseado em Gianese e Correa (1994), serviços tem três principais características em suas operações que são: a intangibilidade dos serviços, a necessidade da presença do cliente ou um bem de sua propriedade e o fato de que geralmente os serviços são produzidos e consumidos simultaneamente, ou seja, não tem estoque.

De acordo com os posicionamentos destes autores, serviço é qualquer ato ou desempenho que uma parte possa oferecer a outra, e que seja essencialmente intangível e não resulte na propriedade de nada. Sua produção pode ou não estar vinculada a um produto físico e o mesmo não pode ser estocado.

Neste estudo, os serviços analisados são aplicados a produtos físicos (equipamentos), chamados de ativos. Segundo Mortelari, Siqueira e Pizzati (2012), ativo é: planta, maquinário, propriedade, prédios, veículos e outros itens que possuam um valor distinto para as organizações.

Qualquer ativo está sujeito a um processo de deterioração que progressivamente o impede de desempenhar a função para a qual foi projetado. Isto significa que além da quebra inesperada, é possível também ter a perda de função em um ativo em razão do final de sua vida útil e suas condições e tempo de uso, que podem acelerar ou não o seu desgaste. Equipamentos que trabalham em ambientes mais hostis, ou mais horas durante um período, podem se desgastar com muito mais rapidez.

A palavra manutenção vem de uma derivação do latim, *manus tenere*, que significa manter o que se tem. Manutenção (como definido em alguns dicionários da língua portuguesa) é apresentado como um conjunto de medidas necessárias para a conservação ou permanência de alguma coisa ou de uma situação, ou ainda como os cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular e permanente de motores e máquinas.

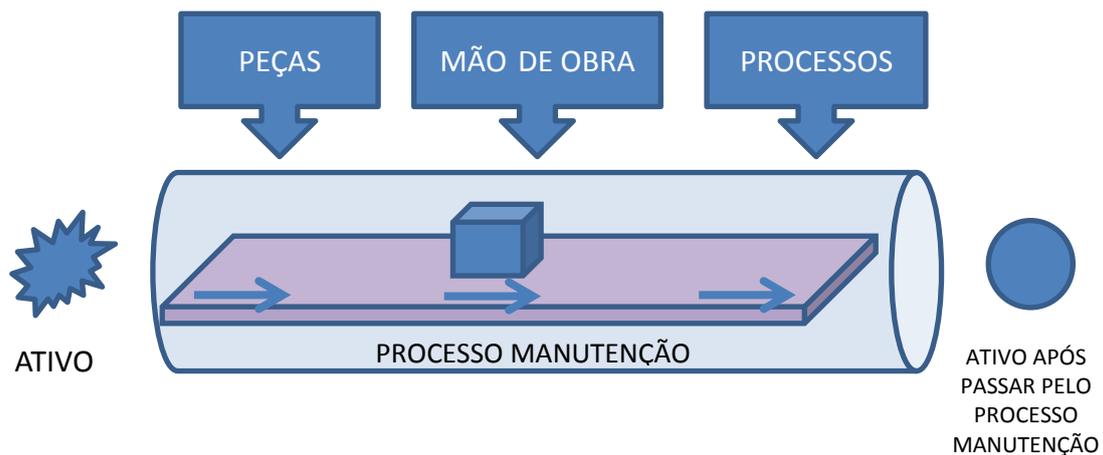
A função manutenção acontecerá mais intensamente em alguns lugares e equipamentos em relação a outros. Quanto mais crítico o processo ou ativo, ou mais agressivo o seu ambiente de trabalho e modo de operação, mais necessário à aplicação de manutenção em suas diferenciadas metodologias.

Diante desta situação de necessidade de recuperar a função original de máquinas e equipamentos que deixaram de fazer por algum tipo de quebra ou desgaste, que existe a função manutenção.

Baseado nos conceitos apresentados e agrupando as principais definições de autores sobre o assunto (TAVARES, 1996; KARDEC; RIBEIRO, 2002; BRANCO FILHO, 2008 e 2006; VERRI, 2008), pode-se definir que: manutenção é a combinação de atividades desenvolvidas, organizadas e administradas com o objetivo de garantir de forma economicamente viável o estado operacional de um determinado sistema de forma segura.

O processo de manutenção (ver Figura 3) tem por função a entrega de um ativo na sua condição a qual foi projetada de funcionamento, após receber a aplicação de recursos de mão de obra, peças e processos (MIRSHAWKA; OLMEDO, 1993).

Figura 3 – Processo Manutenção



Fonte: adaptado do texto de Mirshawka e Olmedo (1993)

A evolução das técnicas de gestão de manutenção é uma das disciplinas de gerenciamento que mais evoluiu nos últimos anos (MORTELARI; SIQUEIRA; PIZZATI, 2012).

Quadro 1 – As quatro gerações de manutenção

1940	1950	1960	1970	1980	1990	2010	2011	2012	...								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;">PRIMEIRA GERAÇÃO</th> <th style="width: 25%;">SEGUNDA GERAÇÃO</th> <th style="width: 25%;">TERCEIRA GERAÇÃO</th> <th style="width: 25%;">QUARTA GERAÇÃO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> •Conserto após avaria </td> <td style="vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> •Maior disponibilidade das instalações •Maior vida útil dos equipamentos •Custos menores </td> <td style="vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> •Maior disponibilidade e confiabilidade das instalações •Maior segurança •Maior qualidade dos produtos •Ausência de danos ao meio ambiente •Maior vida útil dos equipamentos •Maior efetividade de custo </td> <td style="vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> •Gestão de risco aplicado aos ativos •Confiabilidade humana •Acuracidade na medição e demonstração de resultados •Maior disponibilidade e confiabilidade das instalações •Maior segurança •Melhor qualidade dos produtos •Ausência de danos ao meio ambiente •Maior vida útil dos equipamentos •Maior efetividade de custos </td> </tr> </tbody> </table>										PRIMEIRA GERAÇÃO	SEGUNDA GERAÇÃO	TERCEIRA GERAÇÃO	QUARTA GERAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> •Conserto após avaria 	<ul style="list-style-type: none"> •Maior disponibilidade das instalações •Maior vida útil dos equipamentos •Custos menores 	<ul style="list-style-type: none"> •Maior disponibilidade e confiabilidade das instalações •Maior segurança •Maior qualidade dos produtos •Ausência de danos ao meio ambiente •Maior vida útil dos equipamentos •Maior efetividade de custo 	<ul style="list-style-type: none"> •Gestão de risco aplicado aos ativos •Confiabilidade humana •Acuracidade na medição e demonstração de resultados •Maior disponibilidade e confiabilidade das instalações •Maior segurança •Melhor qualidade dos produtos •Ausência de danos ao meio ambiente •Maior vida útil dos equipamentos •Maior efetividade de custos
PRIMEIRA GERAÇÃO	SEGUNDA GERAÇÃO	TERCEIRA GERAÇÃO	QUARTA GERAÇÃO														
<ul style="list-style-type: none"> •Conserto após avaria 	<ul style="list-style-type: none"> •Maior disponibilidade das instalações •Maior vida útil dos equipamentos •Custos menores 	<ul style="list-style-type: none"> •Maior disponibilidade e confiabilidade das instalações •Maior segurança •Maior qualidade dos produtos •Ausência de danos ao meio ambiente •Maior vida útil dos equipamentos •Maior efetividade de custo 	<ul style="list-style-type: none"> •Gestão de risco aplicado aos ativos •Confiabilidade humana •Acuracidade na medição e demonstração de resultados •Maior disponibilidade e confiabilidade das instalações •Maior segurança •Melhor qualidade dos produtos •Ausência de danos ao meio ambiente •Maior vida útil dos equipamentos •Maior efetividade de custos 														

Fonte: adaptado de Mortelari, Siqueira e Pizzati (2012)

Segundo Kardec (2002), existem seis tipos básicos de manutenção : corretiva não planejada, corretiva planejada, preventiva, preditiva, detectiva e engenharia de manutenção.

2.1.1. Manutenção corretiva

Manutenção corretiva é todo trabalho de manutenção realizado em máquinas que estejam em falha (BRANCO FILHO, 2008). Elas podem ser planejadas ou não, dependendo do nível de emergência e impacto da falha.

A Manutenção corretiva é a que exige menos esforços de preparação da manutenção, mas ao mesmo tempo é a que pode mais impactar negativamente nos resultados da área. Manutenção corretiva também é conhecida como o conceito mais primário de gestão de manutenção, por ter uma característica reativa, sendo acionada somente no momento da necessidade.

Ainda segundo Mirshawka e Olmedo (1993), manutenção corretiva é aquela que se conduz quando o equipamento falha ou cai abaixo de uma condição aceitável quando em operação.

Uma das principais tratativas a ser dada a uma manutenção corretiva é registrar o que foi executado com o maior número de informações possíveis. Estes registros são de extrema importância para análise de comportamento de máquinas e equipamentos, permitindo identificar oportunidades de intervenção com maior assertividade. Segundo Fogliato e Ribeiro (2009), para se ter um sistema de eficiente de coleta e análise de dados, permitindo uma base histórica de dados de confiabilidade na empresa, deve-se criar um grupo dedicado a estas atribuições, mediante a necessidade de ter informações precisas e confiáveis.

Branco Filho (2008), em relação a importância dos registros de informações, relata que uma descrição de tudo o que foi feito em uma determinada intervenção, deve constar na ordem de serviço e deve ser preservada para uso posterior.

“Estas descrições podem ser processadas para estudos de confiabilidade, para levantamento do custo desta tarefa e para estimativa do custo na próxima atividade idêntica; para levantamento de tempo de máquina parada nesta vez e para estimativa de tempo de parada, na próxima parada; para emissão de pedido de compra para a próxima parada ou emissão de requisição antecipada de material para uso no próximo evento e etc..” (BRANCO FILHO, 2008, pag. 191).

2.1.2. Manutenção preventiva

Manutenção preventiva é todo trabalho de manutenção realizado em máquinas que estejam em condições operacionais, ainda que com algum defeito (BRANCO FILHO, 2008).

Uma das grandes vantagens da manutenção preventiva é que o próprio processo de manutenção é que escolhe a hora da parada, seja na periodicidade atrelada ao tempo ou ao estado do equipamento após receber uma inspeção.

Existem dois tipos de abordagem de manutenção preventiva: manutenção preventiva baseada na condição ou estado e manutenção preventiva baseada no tempo.

A diferença entre estes modelos de manutenção preventiva, segundo Branco Filho (2008) são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Diferenças entre modalidades de Manutenção Preventiva

MANUTENÇÃO PREVENTIVA BASEADA NA CONDIÇÃO OU ESTADO	MANUTENÇÃO PREVENTIVA BASEADA NO TEMPO
O que determina o intervalo da execução é a condição ou estado do equipamento a sofrer a intervenção, com a detecção de anomalias executada através de inspeções sistematizadas em determinada rotina pré-estabelecida.	O que determina o intervalo da execução é um agendamento prévio de intervenções programadas gerado através de premissas previamente estabelecidas, com periodicidade definida.

Fonte: adaptado a partir do texto de Branco Filho (2008)

2.1.3. Manutenção preditiva

Segundo Branco Filho (2008), manutenção preditiva é todo trabalho de acompanhamento e monitoração das condições da máquina, de seus parâmetros operacionais e de sua degradação.

Com este trabalho de acompanhamento de condições, determina-se o ótimo para se executar a manutenção preventiva em um equipamento, ou seja, o ponto a partir do qual a probabilidade do equipamento falhar assume índices indesejáveis.

“A estatística e a teoria das probabilidades constituem a base para se ter uma manutenção baseada no estado real da máquina e/ou seus componentes. A descoberta da tendência por meio da análise dos dados, frequentemente premia também o analista com a descoberta das causas da falha e sugere os tipos de ações preventivas que devem ser feitas para se evitar futuras falhas.” (MIRSHAWKA; OLMEDO, 1993, pag. 12).

A grande diferença entre a manutenção preditiva e a manutenção preventiva é que, no caso da manutenção preditiva antes da parada para intervenção, já se aplica conceitos de engenharia de manutenção para diagnosticar o que está acontecendo com as máquinas e equipamentos. Desta forma, pode-se programar a intervenção de forma bem assertiva, atuando somente aonde se encontra a não conformidade, tendo uma previsibilidade até de quanto tempo se tem para o acontecimento da quebra.

Decisões humanas são necessárias para estabelecer os processos de manutenção, de forma que a inspeção ou a detecção automática permita determinar quando o limite inferior de qualquer variável analisada tenha sido ultrapassado (MIRSHAWKA; OLMEDO, 1993).

2.1.4. Engenharia de manutenção - Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC)

Confiabilidade, é um processo para se determinar – sistemática e cientificamente – o que deve ser feito para assegurar que os sistemas físicos-operacionais continuem a atender as necessidades de seus usuários (MORTELARI; SIQUEIRA; PIZZATI, 2012). Mortelari, Siqueira e Pizzati (2012), definem MCC como um programa que reúne várias técnicas de engenharia para assegurar que os equipamentos de uma planta fabril continuarão realizando as funções especificadas.

De acordo com Fogliato e Ribeiro (2009), o principal objetivo da manutenção é o de manter e melhorar a confiabilidade e regularidade de operação do sistema produtivo.

Mortelari, Siqueira e Pizzati (2012), afirmam que falha é uma condição não satisfatória, e que estas falhas podem ter as seguintes consequências:

- a. Segurança – envolve possíveis perdas do equipamento e de seus componentes;
- b. Operacionais – envolvem perda indireta econômica bem como os custos diretos do reparo;
- c. Não operacionais – envolvem somente os custos diretos dos reparos;
- d. Ocultas – envolvem a exposição a uma possível falha múltipla, como resultado de uma falha não detectada de uma função oculta;

As técnicas estatísticas voltadas para análise de confiabilidade de máquinas e equipamentos, podem ser usadas para avaliar programas de manutenção preventiva em sistemas e instalações já existentes, com o objetivo de melhorias contínuas, para tornar a manutenção mais eficiente, obter melhorias de confiabilidade, de disponibilidade e tornar a empresa mais competitiva (BRANCO FILHO, 2008).

Moubray (1997) afirma que não basta executar certo as tarefas de manutenção, é preciso executar certo as tarefas certas.

Já Mortelari, Siqueira e Pizzati (2012), afirmam que, não basta executar certo as ações de manutenção, é preciso executar certo as ações certas, e somente elas. Isto se dá ao fato destes autores entenderem que a confiabilidade também tem a responsabilidade de eliminar ações desnecessárias.

A diferença da MCC das outras modalidades de manutenção é que ela baseia-se no conceito da modelagem dos tempos até a falha de determinado equipamento para se determinar a probabilidade de não ocorrer a falha (FOGLIATO; RIBEIRO, 2009).

2.2. Autonomia

Um tema que é de grande interesse para a indústria em termos de melhoria de desempenho dos funcionários da manutenção: autonomia e motivação. Estes temas que tem sido discutidos extensivamente por vários autores na literatura, relacionam autonomia com o aumento de produtividade. Kouzes e Posner (2003), consideram dentro das cinco regras e dos dez compromissos de uma boa liderança, que a permissão para agir, baseada no compromisso de fortalecer os outros compartilhando poder e autoridade, é uma das formas de se aumentar a autonomia da equipe. Esses autores afirmam ainda que ao examinar exemplos de indivíduos com poder e sem poder, surge uma mensagem muito clara: a sensação de ter poder – literalmente sentir-se “capaz” – vem de uma profunda sensação de controlar a própria vida. Segundo Ribeiro (2008), a autonomia é uma ferramenta de mudança da forma de se encarar os problemas. Como o entendimento de problemas faz parte de grande parte do tempo de uma área de Manutenção, a autonomia é fundamental para a melhoria dos resultados. Marx (1997) cita que a autonomia começa a ser vislumbrada como parte integrante de um projeto empresarial em busca de competitividade e desempenho. De acordo com estes autores, a autonomia proporciona humores positivos. Pink (2009), evidencia vários experimentos onde a autonomia aumenta a produtividade empresarial. Ele cita os exemplos do Google, onde quase

metade dos novos produtos nasceram durante os 20% do tempo em que a autonomia é praticada. Em algumas situações, um ambiente de trabalho focado apenas em resultados, permitindo que os funcionários trabalhem quando, como e onde eles quiserem levam a maior produtividade comprometimento, satisfação dos empregados e diminuição de *turnover*.

Wharton (1993) mostra que os trabalhadores que gozam de maior autonomia são, por um lado, menos sujeitos à estafa (*burnout*). Por outro lado, Granday, Fiske e Steiner (2005) citam que os trabalhadores se sentem mais satisfeitos do que os seus colegas com mais autonomia. De acordo também com estes autores, a autonomia proporciona humores positivos. Os humores positivos aumentam a atenção e estimulam a criatividade.

As emoções positivas motivam os indivíduos a seguir novos caminhos de pensamento e ação, criativos e improvisados, é o que citam os autores Martin-Krumm e Tarquínio (2011).

Burgdorf e Panksepp (2006), mostraram que principalmente dois hormônios contribuem para os humores positivos: a ocitocina e a dopamina. Para quem ainda não estiver convencido que os humores positivos são diretamente influenciados pela autonomia, nos últimos 30 anos foi comprovada a validade do modelo demanda / controle (KARASEK, 1979) que não deixa dúvidas sobre este ponto: a autonomia melhora o bem-estar no trabalho. Resumindo, a autonomia permite um melhor entendimento da complexidade, estimula a criatividade, favorece os relacionamentos harmoniosos, proporciona a capacidade de ver a vida de uma forma positiva e reduz o nível de estresse.

Associado à ideia de autonomia nas empresas, existe um conceito recentemente introduzido na literatura: *empowerment*. *Empowerment* é um conceito de gestão introduzido por uma pesquisadora da Universidade de Harvard, Estados Unidos (KANTER, 1972, 1977, 1984, 1986, 1993, 2008, 2010, 2011 e 2015). Segundo a autora, as empresas que dão mais poder e autonomia aos seus trabalhadores são as que estão mais bem posicionadas para competir em longo prazo (CARDOSO JUNIOR, 2009).

De acordo com Chiavenato (1999), *empowerment* é um conceito do qual muito se fala, mas pouco se pratica. Seu objetivo é simples: transmitir responsabilidade e recursos para todas as pessoas a fim de obter a sua energia criativa e intelectual, de modo que possam mostrar a verdadeira liderança dentro de suas próprias esferas individuais de competência, e também, ao mesmo tempo, ajudá-las a enfrentar os desafios globais de toda a empresa. O *empowerment* busca a energia, o esforço e a dedicação de todos e tirar do gerente o antigo monopólio do poder, das informações e do desenvolvimento.

Ulrich (2003) comenta que no *empowerment* o poder emana do próprio indivíduo, que assume total responsabilidade por seus atos, sendo seu objetivo é delegar recursos para que

todos da empresa se sintam com poder para agir com responsabilidade. Nessa mesma linha de pensamento, Tracy (1994) faz menção de que os funcionários que possuem mais autonomia e maior responsabilidade, se mostram mais motivados e geram melhores resultados.

São as emoções que impulsionam as pessoas em direção as suas metas e que também influenciam à sua maneira de perceber os fatos (MACÊDO et al, 2007). Os pensamentos destes autores, se agrupados, demonstra que um funcionário autônomo e motivado pode contribuir com resultados melhores no seu local de trabalho.

3. METODOLOGIA

3.1. Alguns conceitos básicos em confiabilidade industrial

3.1.1. Conceito de confiabilidade

Pode-se definir confiabilidade como a probabilidade de um componente ou sistema funcionar durante um período de tempo dado quando usado sob certas condições operacionais (EBELING, 1997)

Para Rausand (1994), pode-se distinguir confiabilidade em três principais ramos: confiabilidade humana; confiabilidade de hardware e confiabilidade de *software* (estas últimas compreendendo a confiabilidade de componentes e sistemas técnicos).

Na área médica, a análise de confiabilidade é denominada análise de sobrevivência. A análise de sobrevivência é umas das áreas que mais cresceu nas últimas décadas, muito em função do desenvolvimento e aprimoramento de técnicas estatísticas e da evolução da informática, com computadores cada vez mais velozes (COLOSIMO; GIOLO, 2006).

Na análise de confiabilidade, ou análise de sobrevivência, a variável resposta é, na maioria dos casos, o tempo até a ocorrência de um evento de interesse. Esse tempo é chamado “tempo de falha”, podendo ser o tempo até a morte do paciente, tempo até a cura de uma doença (COLOSIMO; GIOLO, 2006); na manutenção, tempo até a falha (quebra) do equipamento.

3.1.2. A função de confiabilidade

Em vários tipos de estudos sobre manutenção e confiabilidade são utilizadas muitas definições matemáticas e distribuições de probabilidade (DHILLON, 2006, p.12).

De acordo com Ebeling (1997), na engenharia de confiabilidade uma falha pode ser descrita como um evento aleatório. Assim, um evento aleatório E ocorrerá com uma probabilidade denotada por $P(E)$, onde $0 \leq P(E) \leq 1$. Quanto mais próximo de 1 for $P(E)$, mais provável será a ocorrência do evento (por exemplo, falha).

3.1.3. Função de confiabilidade e distribuição acumulada de falhas

A variável aleatória T, usualmente contínua, que representa o tempo de falha, é geralmente especificada por sua função de sobrevivência ou pela função taxa de falha (COLOSSIMO; GIOLO, 2006).

Por isso a função confiabilidade é também chamada, função de sobrevivência.

A função de confiabilidade é uma das principais funções probabilísticas usadas para descrever estudos de sobrevivência e é definida com a probabilidade de uma observação não falhar até um certo tempo t, ou seja, é possível determinar a probabilidade de sucessos de não falhas durante um tempo determinado (COLOSSIMO; GIOLO, 2006).

$$R(t) = P(T \geq t) \quad (3)$$

Como consequência, tem-se que a função distribuição acumulada de falhas é definida com a probabilidade de uma observação não sobreviver ao tempo t.

$$F(t) = 1 - R(t), \quad t \geq 0 \quad (4)$$

3.1.4. Função densidade de probabilidade de falhas

A função densidade de probabilidade de falha denotada por $f(t)$, permite determinar as probabilidades de falhas ao longo de um período de tempo.

Assumindo a hipótese de que a função confiabilidade é derivável e contínua em relação aos tempos de falha, em consequência, pela expressão (4), a função distribuição

acumulada de falhas também será derivável. Sob esta hipótese, pode-se derivar a função distribuição acumulada $F(t)$ de falhas para se obter a função densidade de probabilidade de falhas $f(t)$,

$$f(t) = \frac{dF}{dt}(t), \quad t \geq 0 \quad (5)$$

Da mesma forma, chega-se à conclusão que:

$$\frac{dR}{dt}(t) = -\frac{dF}{dt}(t) = -f(t), \quad t \geq 0 \quad (6)$$

e, a partir daí (sob as mesmas hipóteses), tem-se:

$$F(t) = \int_0^t f(s).ds, \quad t \geq 0 \quad (7)$$

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(s).ds, \quad t \geq 0 \quad (8)$$

3.1.5. Função taxa de risco ou taxa de falha

A função taxa de risco ou taxa de falha denotada por $h(t)$, é a probabilidade da falha ocorrer em um intervalo de tempo $[t_1, t_2]$, dado que não ocorreu até t_1 , em outras palavras, representa as proporções de falhas ocorrendo por unidade de tempo (COLOSSIMO; GIOLO, 2006).

A probabilidade de falhas no intervalo $[t_1, t_2]$ pode ser expressa em termos da função confiabilidade como:

$$R(t_1) - R(t_2) \quad (9)$$

Assim, a taxa de falha no intervalo $[t_1, t_2]$ é expressa por:

$$\frac{R(t_1) - R(t_2)}{(t_2 - t_1)R(t_1)} \quad (10)$$

De modo geral, pode-se representar o intervalo $[t_1, t_2]$ por $(t, t + \Delta t)$, isto é, $t_2 = t + \Delta t$ e a expressão (10) assume a seguinte forma:

$$h(t) = \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{\Delta t R(t)} \quad (11)$$

Assumindo um Δt bastante pequeno, $h(t)$ representa a taxa de falha instantânea, ou taxa de risco, no tempo t condicional à sobrevivência até o tempo t , isto é, ela descreve a forma em que a taxa instantânea de falha muda com o tempo (COLOSSIMO; GIOLO, 2006).

Assim, pode-se achar da expressão (11), quando $\Delta t \rightarrow 0$, uma fórmula muito útil para a função de risco $h(t)$ dada por:

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (12)$$

$$\text{onde: } \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{\Delta t} = f(t)$$

3.1.6. Função taxa de falha acumulada

De acordo com Colossimo e Giolo (2006), a função taxa de falha acumulada é outra função muito utilizada na análise de sobrevivência e, como seu próprio nome sugere, é a taxa de falha que acumula as falhas do indivíduo, tendo sua definição como:

$$H(t) = \int_0^t h(t) dt \quad (13)$$

3.1.7. Tempo médio para reparo (MTTR)

O MTTR (Mean Time To Repair), é a média aritmética dos tempos de reparo de um sistema, equipamento ou item. O MTTR é obtido através da seguinte equação:

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^n (Tri)}{n} \quad (14)$$

3.1.8. Uso da distribuição de Weibull para os tempos de manutenção

Inicialmente assumir uma distribuição de probabilidade muito popular na área de confiabilidade industrial: a distribuição de Weibull com dois parâmetros (WEIBULL,1951; JOHNSON et al, 1994; NELSON, 2004; COLOSIMO; GIOLO, 2006). Sua função densidade de probabilidade dada por,

$$f(t_i) = \frac{\alpha t_i^{\alpha-1}}{\lambda^\alpha} \exp\left\{-\left(\frac{t_i}{\lambda}\right)^\alpha\right\}, \quad (15)$$

onde $t_i > 0$ denota os tempos de paradas das máquinas. Os parâmetros λ e α denotam respectivamente os parâmetros de escala e de forma. Diferentes valores de α levam a diferentes formas para a distribuição o que a torna muito flexível na análise de dados para tempos entre chegadas.

A função de confiabilidade para um tempo t^* é dada por,

$$R(t^*) = P(T > t^*) \quad (16)$$

Observar que (16) representa a probabilidade de um tempo de parada ser maior do que um valor fixado t^* ($t^* \geq 0$).

Assumindo a distribuição de Weibull descrita em (15), tem-se que,

$$R(t^*) = \exp\left\{-\left(\frac{t^*}{\lambda}\right)^\alpha\right\} \quad (17)$$

A função de risco $h(t)$ (ou taxa instantânea de falha), da distribuição de Weibull (COLOSSIMO; GIOLO, 2006; NELSON, 2004; MEEKER; ESCOBAR, 1998) é dada de $h(t) = f(t)/R(t)$ por,

$$h(t) = \alpha t^{\alpha-1} / \lambda^\alpha \quad (18)$$

Observar que se $\alpha = 1$, evidencia uma distribuição exponencial, isto é, a distribuição exponencial é um caso especial da distribuição de Weibull. A função de risco $h(t)$ dada por (18) é estritamente crescente para $\alpha > 1$ (isto é, os tempos de ocorrência do evento de interesse são menores ou duram menos numa linguagem de durabilidade industrial), estritamente decrescente para $\alpha < 1$ (isto é, os tempos de ocorrência do evento de interesse são maiores ou duram mais numa linguagem de durabilidade industrial), e constante para $\alpha = 1$. Assim, observa-se uma grande flexibilidade de ajuste aos dados.

Assumimos um modelo de regressão de Weibull para os tempos de parada definido por,

$$\begin{aligned} \log(t_i) = & \beta_0 + \beta_1 \text{Função} + \beta_2 \text{Turno} + \beta_3 \text{Área} + \beta_4 \text{Tipo serviço} \\ & + \beta_5 \text{Característica serviço} + \beta_6 \text{ano} + \beta_7 \text{oficina serviço} \\ & + \sigma * \varepsilon_i \end{aligned} \quad (19)$$

onde t_i são os tempos de manutenção; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6$ e β_7 , são parâmetros de regressão. O parâmetro $\sigma *$ está relacionado com o parâmetro de forma da distribuição de Weibull (15) pela relação $\sigma *= 1/\alpha$. O termo ε_i em (19) é uma quantidade aleatória com distribuição de valor extremo (NELSON, 2004; LAWLESS, 1982) com função densidade de probabilidade dada por $f(\varepsilon) = \exp(\varepsilon - \exp(\varepsilon))$, $-\infty < \varepsilon < \infty$.

Considerando-se o modelo de regressão (19), a função de sobrevivência ou de confiabilidade (COLOSSIMO; GIOLO, 2006) em um tempo t fixo é dada por,

$$R(t) = \exp\{-[t/\exp(\beta_0 + \beta_1 \text{Função} + \beta_2 \text{Turno} + \beta_3 \text{Área} + \beta_4 \text{Tipo serviço} + \beta_5 \text{Característica serviço} + \beta_6 \text{ano} + \beta_7 \text{oficina serviço})]^\alpha\}$$

3.1.9. Uso da distribuição log-normal para os tempos de manutenção

Outra possibilidade é assumir uma distribuição normal padrão para o erro ε_i em (19), o que implicaria em um modelo de regressão log-normal para os tempos de manutenção, com densidade,

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi t\sigma}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{\log(t) - \mu}{\sigma} \right)^2 \right\} \quad t \geq 0 \quad (20)$$

A adequabilidade do modelo pode ser avaliada a partir de gráficos dos resíduos para cada modelo proposto.

Algumas considerações adicionais sobre a análise de dados de sobrevivência (confiabilidade) são introduzidos em um apêndice A.2 no final deste trabalho.

3.1.10. Análise dos dados de manutenção assumindo um modelo de regressão log-linear

Com os dados de manutenção desse estudo inicialmente foi ajustado um modelo de regressão log-linear dado por (19) assumindo uma distribuição log-normal com densidade (20) para os tempos de manutenção.

3.2. Caracterização da pesquisa

O método científico adotado neste estudo, de acordo com as afirmações de Fachin (2001), é histórico, pois compreende a passagem da descrição para a explicação de uma situação do passado.

Segundo Thiollent (1994), precisamos dar atenção à colocação dos principais problemas a partir dos quais a investigação será desencadeada. Para isto é necessário a escolha certa das variáveis a serem trabalhadas de acordo com o tema da pesquisa e posterior análise.

Fachin (2001) afirma que uma variável é um dos muitos fatores de natureza mutável que podem causar um fenômeno particular, sendo um conceito operacional que contém um ou mais atributos ou valores e, em dado projeto e pesquisa, pode assumir diferentes valores.

Segundo Volpato e Barreto (2014), as variáveis a serem estudadas são divididas em teóricas ou operacionais. Ainda em relação a variáveis estudadas, e na definição destes mesmos autores as mesmas podem ser dependentes ou independentes. No estudo realizado as variáveis são operacionais e o resultado procura evidenciar em quais fatores as mesmas são dependentes.

Em relação a categoria da variável, e segundo Fachin (2012) o presente estudo se enquadra como uma variável quantitativa, pois as mesmas são determinadas em relação a dados ou uma proporção numérica.

As variáveis analisadas são de ordem temporal, conforme afirma Marconi e Lakatos (1985), partindo do princípio lógico que o acontecido depois não pode ter tido influência no que ocorreu antes, ou seja a variável anterior no tempo é a independente e a que se segue é dependente.

Toda pesquisa necessita de um levantamento de dados, e estes dados podem ser originados de diversas formas e fontes. No caso deste estudo, a pesquisa foi feita através de um banco de dados de uma empresa do segmento alimentício do interior do estado de São Paulo, em um período compreendido entre 2012 e 2015. Segundo Marconi e Lakatos (1985), e de acordo com estas características, a pesquisa se enquadra como de documentação indireta através de arquivo particulares.

Existem pesquisas que necessitam de hipóteses, e outras não. As pesquisas que não precisam de hipóteses descrevem algo (variáveis), ou seja, são pesquisas descritivas segundo Volpato e Barreto (2014), caso que se enquadra este estudo.

A pesquisa é de natureza aplicada, pois os resultados serão aplicados na solução de problemas reais em uma indústria, (CERVO; BERVIAN, 2002; MARCONI; LAKATOS, 2002). Segundo Miguel (2012), uma pesquisa onde o pesquisador tem como objetivo fundamental a obtenção de soluções para o modelo em questão e assegurar que tais soluções ajudem a esclarecer a estrutura do problema descrito no modelo, se chama axiomática, que é o caso do estudo feito.

A forma de se abordar o problema será quantitativa. Nenhum subjetivismo estará influenciando a apreensão dos fatos no uso da indução para a geração do conhecimento (MIGUEL, 2012). Técnicas estatísticas descreverão o funcionamento de um sistema, objetivando melhor entender todo o processo e suas variáveis para tomadas de decisões mais assertivas.

Quanto ao tipo, a pesquisa será exploratória, objetivando a identificação de elementos que possam interferir ou se correlacionar nos resultados de uma área de manutenção, para propor mudanças na estratégia de manutenção, ou a necessidade de investimentos em outros tópicos, como no comportamento humano.

De acordo com Cervo e Bervian (2002) e Marconi e Lakatos (2002), o estudo experimental tem por objetivo encontrar a relação de causa e efeito de fatores, buscando a

mudança de alguma situação ou fenômeno. A pesquisa experimental, aplicada nesta pesquisa, pretende dizer o modo ou a causa do fenômeno produzido, e suas correlações.

Em relação aos procedimentos adotados neste trabalho, o estudo iniciará por uma pesquisa bibliográfica, em função do tema já ter sido parcialmente estudado por outros pesquisadores em função da relevância do tema.

“Os livros ou textos selecionados servem para leituras ou consultas; podem ajudar nos estudos em face dos conhecimentos técnicos e atualizados que contém, ou oferecer subsídios para a elaboração de trabalhos científicos, incluindo seminários, trabalhos escolares e monografias.” (MARCONI; LAKATOS, 1985, pag. 20).

Como as questões de pesquisa, procuram explicar alguma circunstância presente, mais o método de estudo de caso aplicado ao estudo, será relevante (YIN, 2010). Neste caso a coleta de dados será realizada através de um banco de dados de tempos de manutenção e com a aplicação de um questionário a um grupo de 130 funcionários da área na empresa estudada. A habilidade em estabelecer relações causais reais é um dos maiores desafios para os pesquisadores (MIGUEL, 2012).

Para a confecção do questionário aplicado neste trabalho, adotou-se como modelo, questões utilizadas em uma pesquisa aplicada em uma região de Portugal (OLIVEIRA, 2015), que eram originalmente para uma análise fatorial exploratória de motivação e desempenho individual de um grupo de profissionais da área da saúde, e foram adaptadas somente para o foco deste estudo que é motivação e autonomia na área de manutenção, centralizando os questionamentos nas seguintes questões :

- MOTIVAÇÃO
 - Orgulho-me de executar o meu trabalho o melhor que consigo
 - Tento pensar em diversas maneiras de fazer o meu trabalho de forma eficiente e eficaz
- AUTONOMIA
 - Executo meu trabalho de forma independente dos outros
 - Tenho liberdade para fazer praticamente tudo o que quero no meu trabalho

Foram entregues questionários (Anexo A) com estas quatro afirmações para funcionários da manutenção da empresa estudada para que se auto avaliassem, atribuindo notas de 0 a 10, para posterior devolução para tabulação.

4. COLETA E ANÁLISE DE DADOS DE MANUTENÇÃO

A indústria alimentícia estudada está situada no interior do estado de São Paulo, Brasil, e atua no segmento de biscoitos, torradas, cobertos e *snacks*. Fundada em 1956, atualmente se consolida como a segunda maior fabricante de biscoitos no Brasil, a 2ª marca mais consumida e o maior fabricante no segmento de Maria/Maisena dentro do segmento de biscoitos.

Como toda indústria de biscoitos, seus principais processos são: recebimento de matéria prima e insumos, dosagem de ingredientes, preparação de massas, moldagem ou laminação, fornos, sistemas de empacotamento e expedição.

Atualmente a empresa possui dezoito linhas de fabricação, com equipamentos originários de diversos países (Itália, França, Alemanha, Inglaterra, Brasil, etc.) em 53 mil metros quadrados de área construída. Tem seu parque fabril com uma capacidade de 170 mil toneladas por ano, utilizando processos modernos e equipamentos com alto grau de automação. Sua linha de produtos compõe-se de mais de 100 itens, entre biscoitos salgados, doces, rosquinhas, recheados, *wafers*, cobertos, *snacks*, biscoitos especiais e cookies.

Seu quadro funcional está em torno de 3.200 funcionários, 1.600 ligados diretamente ao processo de produção, mantendo as suas atividades por 24 horas diárias nos sete dias da semana. Neste quadro suportando toda essa grande operação, está sob a responsabilidade da

área de manutenção, 159 funcionários distribuídos nas seguintes subáreas específicas: Segurança do Trabalho, Meio Ambiente, Predial, Eletroeletrônica, Automação, Confiabilidade, Manutenção Mecânica Geral, Manutenção Mecânica de Máquinas de Embalagem, Almoxarifado de Peças, Utilidades e Planejamento e Controle da Manutenção.

Dentro da estrutura de manutenção, temos um grande grupo de funcionários que estão alocados nos turnos de trabalho para dar apoio a produção com intervenções corretivas para reparo ou ajustes, em todas as oficinas existentes na empresa e analisadas neste estudo que são: mecânica de máquinas de embalagem, mecânica geral e eletroeletrônica. Somente dentro da área de manutenção de máquinas de embalagem é que existe o 4º. horário, compreendido das 10h00 às 19h00, de segunda a sexta feira. Este horário foi criado para atender uma demanda de ajuste e preparação de máquinas (*set up*) que ocorrem na grande maioria dos casos neste horário, em função de abranger os dois horários de refeições da área produtiva.

Toda esta operação industrial faz com que os produtos da empresa atinjam, além do Brasil, mais de 60 países em todos os continentes.

Em geral, qualquer indústria ou empresa, tem grandes coleções de dados armazenados sobre manutenção, tais como, tempo de reparo, dias e horas da ocorrência da manutenção, setor onde ocorre a manutenção, dia da semana, turno, entre vários outros. Ao examinar os dados disponíveis é possível descobrir padrões previamente não detectados pelos funcionários que em geral podem levar à grandes perdas da margem de lucro de seus produtos (BOX; BISGAARD, 1987). Dessa forma surge a necessidade de analisar dados de manutenção usando técnicas estatísticas (HOPE; MUHLEMANN, 1997; JOINER, 1994; JURAN, 1999).

A análise estatística de dados relacionados aos tempos até falhas ou de ocorrência de algum evento de interesse como o tempo de manutenção pode levar a melhores estratégias para manutenção dos diferentes tipos de equipamentos e possíveis descobertas de fatores que levam a melhor desempenho na manutenção dos equipamentos. Alguns desses possíveis fatores que podem afetar os tempos de manutenção são o setor da indústria, o tipo de equipamentos, modelos de equipamentos, turnos de trabalho, causa da falha ou oficina da manutenção.

O objetivo principal deste estudo é relacionado ao estudo dos tempos de manutenção de equipamentos industriais, uma área vinculada à teoria de confiabilidade industrial. Para isso será analisado um conjunto de dados denotando os tempos de paradas para manutenção devido a falhas de equipamentos em uma grande indústria do setor alimentício.

Uma sólida base de dados de tempos de equipamentos, se faz necessário para a obtenção de quaisquer análises e planejamentos estratégicos em uma área industrial. Estes

tempos podem sofrer interferências de condições externas aos equipamentos impactando diretamente nos seus resultados.

Kardec e Ribeiro (2002) afirmam que uma organização com muitos talentos individuais pode conseguir resultados inferiores a uma outra organização com menos talentos individuais mas com mais espírito de equipe. Ou seja, o comportamento humano e o meio ao qual ele está inserido poderá levar a indústria a resultados diferentes. Pode-se afirmar, nesta linha de raciocínio, que indivíduos com características diferentes inseridos em contextos desiguais, podem impactar nos resultados da sua área de atuação de forma distinta.

Associado a essas observações relacionadas à tempos de manutenção, identificamos alguns fatores que podem afetar os tempos de manutenção dos equipamentos como função, área, tipo serviço, característica principal do serviço e ano.

Esses possíveis fatores e seus níveis foram codificados nas seguintes variáveis categóricas, baseado no contexto da empresa estudada :

- **Função de um manutentor:** (1) Auxiliar de Manutenção Mecânica Máquinas de Embalagem; (2) Técnicos de Manutenção Mecânica Máquinas de Embalagem; (5) Auxiliar de Manutenção Mecânica Geral; (6) Técnicos de Manutenção Mecânica Geral; (7) Técnicos de Manutenção Eletroeletrônica; (9) Auxiliar de Manutenção Eletroeletrônica; (13) outro.
- **Turno de trabalho:** (1) Primeiro Turno (6:00 às 14:45); (2) Segundo Turno (14:45 às 22:50); (3) Terceiro Turno (22:50 às 6:00); (4) Quarto Turno (10:00 às 19:00); (5) Administrativo (8:00 às 18:00 horas).
- **Área:** (1) Linha de Produção 1; (2) Linha de Produção 2; (3) Linha de Produção 3; (4) Linha de Produção 4; (5) Linha de Produção 5; (6) Linha de Produção 6; (7) Linha de Produção 7; (8) Linha de Produção 8; (9) Linha de Produção 9; (10) Linha de Produção 10; (11) Linha de Produção 11; (12) Linha de Produção 12; (13) Linha de Produção 13; (14) Linha de Produção 14; (15) Linha de Produção 15; (16) Linha de Produção 16; (17) Linha de Produção 17; (23) Campo reserva; (25) Iluminação; (26) Silos externos; (27) Torre de resfriamento; (28) Tratamento de água; (29) Expedição; (30) Central de ar comprimido; (31) Central de vapor; (32) Central de gás; (33)

Central de gerador; (34) Casa da bomba; (35) Área de tanques; (36) Cabine secundária; (37) Almojarifado; (38) Central de embalagens; (39) Fabricação 1; (40) Fabricação 2; (41) Sala de nobreaks; (42) Sala de cremes; (43) Plastificador de gordura; (44) Escritório; (45) Oficinas; (46) Engenharia; (47) Áreas industriais comuns.

- **Tipo de serviço:** (1) Manutenção Corretiva;(2) Serviços Programados (Preventiva e Corretiva Programada); (3) Inspeções; (4) Lubrificação.
- **Característica principal do serviço:** (1) Ajustar; (2) Acompanhar Funcionamento; (3) Alinhar; (4) Adaptar;(5) Aferir; (6) Bloqueio de Fontes de Energia (LOTO); (7) Auxiliar; (8) Inspeções; (9) Campo reserva; (10) Consertar; (11) Confeccionar; (12) Lubrificar; (13) Campo reserva; (14) Eliminar Vazamento; (15) Rearmar; (16) Substituir; (17) Verificar; (18) Retirar; (19) Revisar; (20) Limpar / Organizar; (21) Set Up; (22) Destruir; (23) Identificar; (24) Fixar; (25) Aterrizar Eletricamente; (26) Instalar; (27) Inverter; (28) Melhoria.
- **Oficina do serviço:** (1) Eletroeletrônica; (2) Mecânica de Máquinas de Embalagem; (3) Mecânica Geral
- **Anos :**2012, 2013, 2014 e 2015.

4.1. Análise descritiva dos tempos de manutenção

Na Tabela 1, constam os sumários descritivos para os dados (tempos de manutenção) para os diferentes níveis dos fatores analisados (uso do *software* MINITAB[®], versão 16).

Tabela 1 - Estatísticas descritivas para os tempos de manutenção t_i (min) relacionados a alguns fatores

VARIÁVEL	FUNÇÃO	N	MÉDIA	DP	MIN	MEDIANA	MAX
tempo minutos	1	2855	101,130	123,800	1,000	60,000	800,000
	2	8211	60,966	80,359	0,000	35,000	820,000
	5	2083	79,820	122,580	1,000	25,000	940,000
	6	13258	45,393	87,569	0,000	8,000	780,000
	7	11083	27,860	51,150	0,000	12,000	1100,000
	9	4432	40,100	71,520	0,000	20,000	610,000
	13	149	74,720	114,300	5,000	30,000	580,000
VARIÁVEL	TURNO	N	MÉDIA	DP	MIN	MEDIANA	MAX

tempo minutos	1	12467	50,110	79,520	0,000	23,000	1100,000	
	2	13520	42,995	76,469	0,000	15,000	780,000	
	3	8467	30,282	49,321	0,000	10,000	580,000	
	4	1473	188,530	160,360	1,000	140,000	820,000	
	5	6144	51,250	91,370	0,000	15,000	780,000	
VARIÁVEL	ÁREA	N	MÉDIA	DP	MIN	MEDIANA	MAX	
tempo minutos	1	3326	56,600	101,490	0,000	20,000	780,000	
	2	3755	37,480	65,390	0,000	14,000	699,000	
	3	2056	45,010	64,010	1,000	21,000	630,000	
	4	72	37,920	55,130	2,000	19,000	240,000	
	5	3348	57,560	75,790	0,000	30,000	510,000	
	6	3260	37,740	80,910	0,000	8,000	780,000	
	7	4688	35,669	65,767	0,000	14,000	720,000	
	8	2973	51,530	91,880	0,000	15,000	820,000	
	9	2049	35,740	70,250	0,000	9,000	540,000	
	10	1523	33,940	81,600	0,000	8,000	940,000	
	11	805	79,120	123,160	0,000	30,000	600,000	
	12	751	48,680	76,220	0,000	20,000	555,000	
	13	1279	57,950	86,080	0,000	30,000	570,000	
	14	3937	43,360	77,150	0,000	14,000	570,000	
	15	1583	45,800	79,990	1,000	8,000	505,000	
	16	303	84,620	108,310	2,000	40,000	580,000	
	17	259	70,530	77,490	1,000	45,000	450,000	
	23	3	13,330	4,040	11,000	11,000	18,000	
	25	91	88,120	74,390	5,000	70,000	400,000	
	26	560	41,570	67,030	1,000	13,000	400,000	
	27	64	50,440	55,430	2,000	25,000	240,000	
	28	8	33,750	21,000	5,000	35,000	60,000	
	29	292	73,230	91,330	5,000	39,500	450,000	
	30	107	91,100	136,400	7,000	25,000	570,000	
	31	232	232,180	128,860	3,000	235,000	720,000	
	32	59	43,440	44,550	3,000	25,000	200,000	
	33	64	29,730	43,240	1,000	16,000	270,000	
	34	39	42,310	39,520	10,000	30,000	140,000	
	35	89	33,910	53,350	2,000	8,000	180,000	
	36	2	75,000	21,200	90,000	75,000	90,000	
	37	39	99,800	105,700	3,000	60,000	570,000	
	38	278	94,560	95,360	1,000	60,000	510,000	
	39	1491	40,740	77,390	0,000	15,000	1100,000	
	40	1590	52,720	96,150	1,000	16,000	780,000	
	41	156	11,269	6,300	2,000	10,000	42,000	
	43	86	19,500	58,720	5,000	11,000	540,000	
	44	242	109,930	112,600	3,000	60,000	570,000	
	45	558	113,180	118,830	3,000	60,000	610,000	
	47	54	206,000	186,200	10,000	145,000	510,000	
	VARIÁVEL	TIPO SERVIÇO	N	MÉDIA	DP	MIN	MEDIANA	MAX
	tempos minutos	1	12091	65,144	80,197	1,000	36,000	720,000
		2	10913	93,480	119,870	1,000	40,000	940,000
		3	16470	9,730	22,610	0,000	3,000	1100,000

	4	2597	33,508	48,238	2,000	14,000	540,000	
VARIÁVEL	CARAC. DO SERVIÇO	N	MÉDIA	DP	MIN	MEDIANA	MAX	
tempos minutos	0	1	10,000	*	10,000	10,000	10,000	
	1	5231	36,682	47,709	1,000	25,000	800,000	
	2	840	108,020	133,030	3,000	50,000	940,000	
	3	197	72,350	94,720	1,000	40,000	480,000	
	4	12	167,800	104,600	27,000	195,000	300,000	
	5	58	88,100	103,700	3,000	40,000	440,000	
	6	345	25,850	23,970	8,000	20,000	195,000	
	7	10	95,300	79,600	25,000	69,000	270,000	
	8	16588	10,710	26,250	0,000	4,000	1100,000	
	10	6246	92,660	107,380	1,000	60,000	780,000	
	11	118	175,400	147,600	10,000	130,000	570,000	
	12	2968	38,820	55,350	2,000	16,000	540,000	
	14	234	113,060	92,700	2,000	90,000	470,000	
	15	257	41,490	51,110	2,000	30,000	580,000	
	16	2030	98,540	104,380	1,000	60,000	630,000	
	17	459	97,050	102,010	2,000	60,000	590,000	
	18	6	174,700	119,500	8,000	210,000	330,000	
	19	917	222,560	165,960	1,000	180,000	820,000	
	20	2565	34,445	44,647	1,000	29,000	610,000	
	21	1025	110,970	64,700	2,000	100,000	510,000	
	22	89	70,650	68,200	4,000	58,000	340,000	
	23	861	21,643	28,967	4,000	20,000	510,000	
	24	318	52,030	67,250	1,000	30,000	440,000	
	25	49	43,670	21,840	10,000	40,000	120,000	
	26	350	153,420	140,590	1,000	100,000	700,000	
	28	272	220,000	158,820	8,000	197,000	600,000	
	VARIÁVEL	ANO	N	MÉDIA	DP	MIN	MEDIANA	MAX
	tempos minutos	2012	217	89,680	110,110	0,000	25,000	630,000
2013		15838	54,466	86,788	0,000	25,000	820,000	
2014		11140	48,940	88,116	0,000	14,000	780,000	
2015		14876	42,200	77,730	0,000	15,000	1100,000	
VARIÁVEL	OFICINA DO SERVIÇO	N	MÉDIA	DP	MIN	MEDIANA	MAX	
tempos minutos	1	15396	31,450	57,850	0,000	15,000	1100,000	
	2	11209	70,780	94,816	0,000	39,000	820,000	
	3	15466	50,268	94,264	0,000	8,000	940,000	

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

Algumas conclusões dos resultados da Tabela 1:

- **Fator função:** observa-se que a função 1 (Auxiliar de Manutenção Mecânica Máquinas de Embalagem) o tempo médio amostral de manutenção é bem maior do

que para as outras funções; da mesma forma a função 7 (Técnicos de Manutenção Eletroeletrônica), o tempo médio amostral de manutenção é bem menor do que para as outras funções. Pode ser interpretado esse tempo médio maior de manutenção para a função 1 (Auxiliar de Manutenção Mecânica Máquinas de Embalagem) por esta equipe ter uma característica com menos experiência e conhecimento do que os técnicos da área e ainda que, em um grande número de intervenções, necessitam de auxílio de outros profissionais para a resolução de problemas. Esta condição destes profissionais demandam uma maior necessidade de tempo de entendimento da situação, apoio de outro técnico e intervenção assistida para desenvolvimento destas dificuldades (conhecimento e experiência). No caso da função 7 (Técnicos de Manutenção Eletroeletrônica) o tempo médio amostral é menor basicamente em duas situações distintas. A primeira é que uma grande parte da atuação destes profissionais é feita em cima de ajustes e rearmes de sensores e proteções de circuitos elétricos ou eletrônicos, nas quais, 5488 registros de ajustes ou rearmes (para todas as oficinas). Estas ações demandam pouquíssimo tempo de intervenção na maioria dos 11.084 registros observados, apesar do grande volume. O outro aspecto desta equipe que a caracteriza com um tempo médio amostral menor que as outras áreas, é o nível de escolaridade da equipe, da qual, 98% são técnicos ou engenheiros facilitando o diagnóstico na dinâmica das atividades. Algumas funções apresentam D.P. (desvio-padrão) amostral bem grandes, principalmente nas funções auxiliares mecânicas ((1) Auxiliar de Manutenção Mecânica Máquinas de Embalagem; (5) Auxiliar de Manutenção Mecânica Geral). Esta variação está impactada na necessidade de uso de mão de obra auxiliar para a realização de outros serviços além dos de atividade diretamente relacionada a máquinas e equipamentos produtivos, como: organização, limpeza, levantamento de dados, dentre outros, aonde demandam mais tempo a ser aplicado.

- **Fator turno:** observa-se que o turno 4 (Quarto Turno (10:00 às 19:00)) o tempo médio amostral de manutenção é bem maior do que para os outros turnos; os outros turnos apresentam tempos médios amostrais razoavelmente parecidos. O turno 4 também apresenta desvio padrão amostral bem grande. Neste caso fica evidenciado a principal responsabilidade deste grupo de trabalho que é a realização de *set ups* nas máquinas de embalagem, sendo a função 2 (Técnicos de Manutenção Mecânica de Máquinas de Embalagem) a grande responsável por estes resultados. Este turno

foi criado neste horário em função de estar contemplando os dois horários de refeições da área produtiva 9h00 – 13h00 e 16h00 – 19h00), que é o momento aonde se programa os *set ups* a serem realizados, para aproveitarem o tempo de refeição da operação, sem impactar duplamente de forma negativa nos resultados. Os tempos médios de 110 minutos encontrados nesta atividade de *set up*, das quais o turno 4 (Quarto horário – 10h – 19h) tem a sua maior responsabilidade de intervenção, coincidem com os tempos de refeições programados para as linhas de produção.

- **Fator área:** observa-se que a área 31(Central de vapor) o tempo médio amostral de manutenção é bem maior do que para as outras áreas; as áreas 44 (Escritório), 45 (Oficinas) e 47 (Áreas industriais comuns) também apresentam tempos médios amostrais de manutenção com valores grandes quando comparados às demais áreas. Fica evidenciado na análise, que nestas áreas são executados os serviços de longa duração, pela própria característica e criticidade das mesmas. Para as áreas 44 (Escritório), 45 (Oficinas) e 47 (Áreas industriais comuns) são programados e registrados as atividades que requerem grande tempo de atuação, como instalações de infraestrutura ou revisão em conjunto de equipamentos, como por exemplo : revisão em luminárias de determinada área, ações de inspeção para detecção de não conformidades, busca de condições inseguras par trabalho, inspeção objetivando identificação de vazamentos e revisões de circuitos de distribuição de utilidades em geral (vapor, água e energia). Com o tempo amostral alto evidenciado para a área 31(Central de vapor) confirma-se a necessidade de cuidados de segurança de se trabalhar com uma Central de Vapor. No caso desta empresa em estudo, a caldeira utilizada demora 120 minutos para esfriar para oferecer condições adequadas de segurança para se realizar a intervenção. Somente com a mesma fria e desligada é que se pode realizar intervenções seguras na mesma. Este é um dos principais motivos de ser apresentado neste estudo tempos médios amostrais maiores que 120 minutos. Associado a esta condição de boa prática de segurança em atividades de manutenção em vasos de pressão, existe também uma outra condição, que é a dificuldade de realizar intervenções em equipamento que suporta toda a produção (vapor para aquecimento de processos e higienização de máquinas). Em função desta dificuldade de intervenção, se faz necessário otimizar a parada da fábrica para intervenções em equipamentos críticos, e quando esta parada ocorre,

aproveita-se para realizar diversas intervenções ao longo dos três turnos de trabalho que a fábrica disponibiliza para intervenções críticas, periódicas e de longa duração (Ex.: subestações, transformadores, compressores e central de vapor).

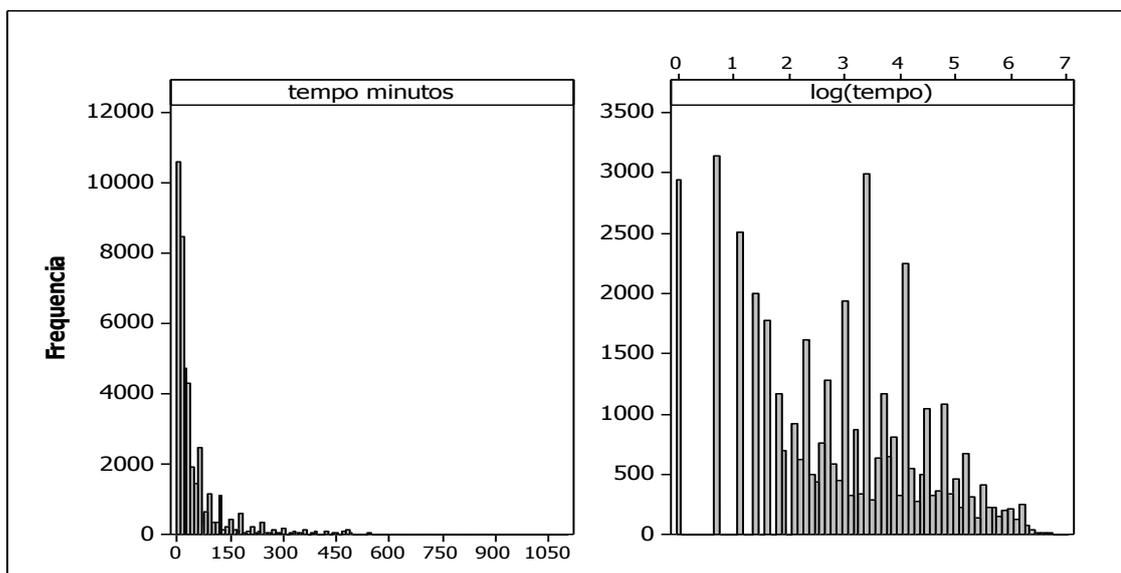
- **Fator tipo de serviço:** observa-se que o fator de tipo de serviço 2 (Serviços Programados - Preventiva e Corretiva Programada) apresenta tempo médio amostral de manutenção é bem maior do que para os outros tipos de serviço. Para uma empresa que tem uma área de manutenção estruturada como a analisada, este resultado não poderia ser diferente. Somente com serviços programados previamente, é que se consegue reverter resultados de indisponibilidade de máquinas e equipamentos (demonstrado no fator “Ano de Serviço”. No caso da empresa estudada, é aplicado a maior parte do tempo das atividades de manutenção, é com a característica de serviços programados, chegando a uma média amostral de mais de 30 minutos a mais do que o tipo de serviço 1 (manutenção corretiva) o que significa 29% a mais de tempo do homem de manutenção, aplicado de forma analisada e programada adequadamente.
- **Fator característica principal do serviço:** observa-se que os fatores característica principal do serviço 19 (Revisar) e 28 (Melhoria) apresentam tempos médios amostrais de tempo de serviço maiores. A própria descrição do fator (Característica Principal do Serviço) já comprova os resultados das análises. Todas as atividades de Revisões e Melhorias são executadas de forma programada com disponibilidade de máquina, ou equipamento disponível por um longo tempo, pois tais atividades além de demandarem mudanças conceituais, ou desmontagem das máquinas, exige-se um maior tempo de intervenção. Além deste fator, e pelo equipamento sofrer mudanças significativas em suas características, seja por uma melhoria implementada, ou por uma grande revisão e substituição de partes, se faz necessário um período de testes antes de liberação para uso, levando aos tempos médios amostrais maiores.
- **Fator oficina de serviço:** observa-se que a oficina 2 (mecânica de máquinas de embalagem) apresenta maior tempo médio de manutenção. Esta oficina tem por característica atuar no produto final, que seria o produto na sua embalagem primária, no formato em que chega ao consumidor final. Em função disto, e

diferentemente de outras oficinas, se faz necessários muitos ajustes em máquinas e acompanhamento de desempenho por longo períodos, para se assegurar uma boa qualidade de pacotes finais. Os tempos amostrais da média, ou mediana, refletem que esta é a oficina que fica na maior parte do tempo, atuando junto a máquina e equipamentos, em função da necessidade constante de acompanhamento.

- **Fator ano de serviço:** observa-se o ano 2012 apresenta maior tempo médio de manutenção quando comparado com os anos 2013, 2014 e 2015. Esta análise pode ser caracterizada como a mais importante informação extraída desta análise preliminar feita, que evidencia a certeza de que as estratégias traçadas pela área de manutenção desta empresa, foram até agora, de forma muito assertiva, pois com o passar dos anos os tempos médios de intervenções nos últimos quatro anos vem decaindo de forma gradativa e consistente. Deve-se destacar nesta análise que o tempo médio amostral de tempo de intervenção da área de manutenção de 2015 é a metade do que o analisado em 2012, e que com certeza a área de manutenção teve uma contribuição muito grande na disponibilização de máquinas e equipamentos produtivos.

Na Figura 4, os histogramas de todos tempos de manutenção originais e transformados (escala logarítmica), demonstra melhor simetria para os dados transformados (normalidade aproximada).

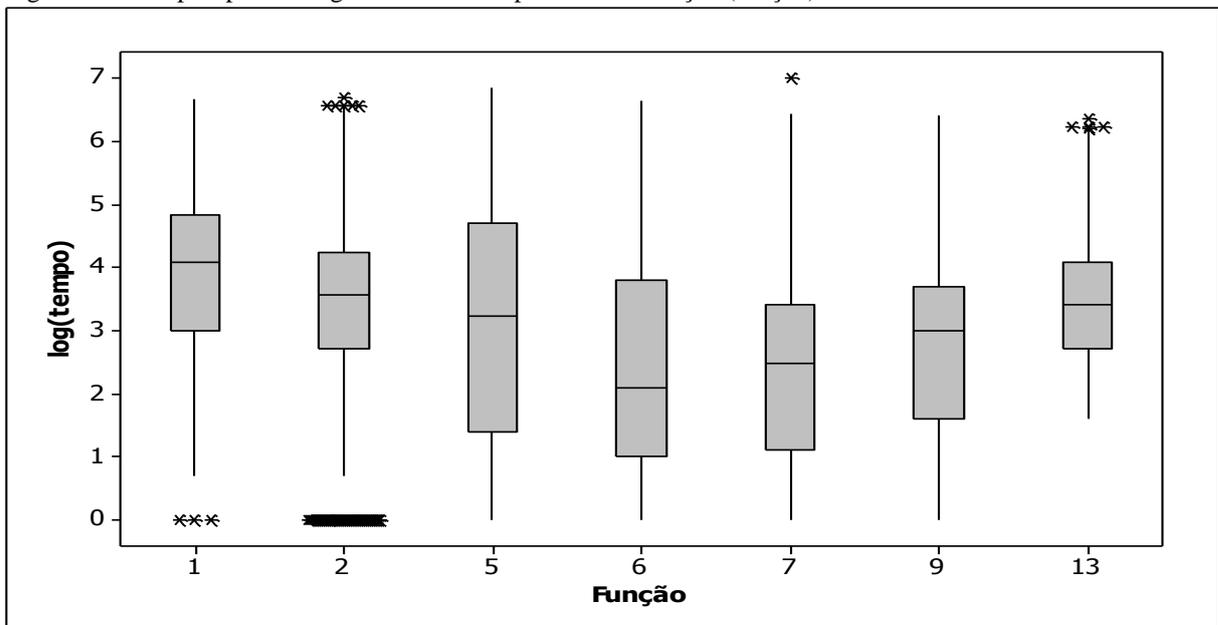
Figura 4 - Histogramas para os tempos de manutenção originais e transformados (escala logarítmica)



Fonte: Minitab® 16

A Figura 5 apresenta os gráficos *box-plots* dos tempos de manutenção transformados para a escala logarítmica obtidos para o fator função. Pelos gráficos da Figura 5, observa-se que há grande variabilidade nos tempos de manutenção e a indústria tem grande interesse em identificar os fatores mais importantes que afetam essa variabilidade. Também, observa-se que há superposição entre a maioria dos *box-plots*. Isto evidencia uma similaridade entre as funções da área de manutenção estudada. Para a função 2 (Técnico de Manutenção de Máquina de Embalagem) existem alguns pontos nos extremos (*outlier*) porque para esta função também existem ajustes de máquinas aonde os tempos de ação são muito pequenos e algumas ações de reparo mais longas, evidenciado no comportamento do gráfico da figura 5.

Figura 5 - Box-plot para os logaritmos dos tempos de manutenção (função)

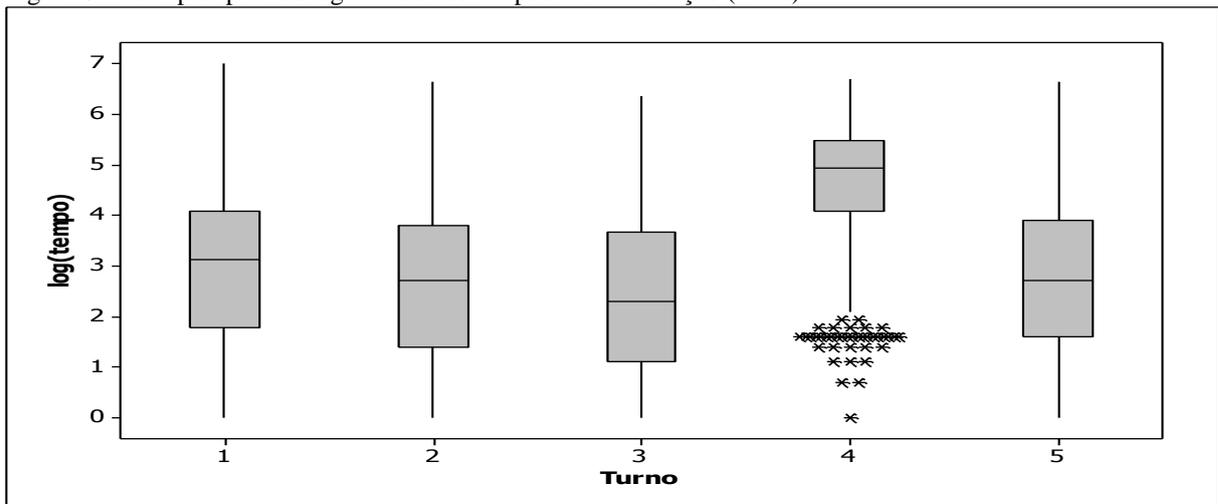


Fonte: Minitab® 16

A Figura 6 apresenta os gráficos *box-plots* dos tempos de manutenção transformados para a escala logarítmica obtidos para o fator turno.

Pelo *box-plot* da Figura 6, observa-se que o turno 4 (Quarto Turno - 10:00 às 19:00) o tempo médio amostral de manutenção é bem maior do que para os outros turnos em função das atividades de set up que realizam; os outros turnos apresentam tempos médios amostrais razoavelmente parecidos. Os outros turnos apresentam *box-plots* superpostos, uma possível indicação de igualdade entre os tempos de manutenção, devido a característica de atendimento de ocorrências corretivas similares de quebras de máquinas e equipamentos, independente da especialidade da oficina ou tipo de ocorrência.

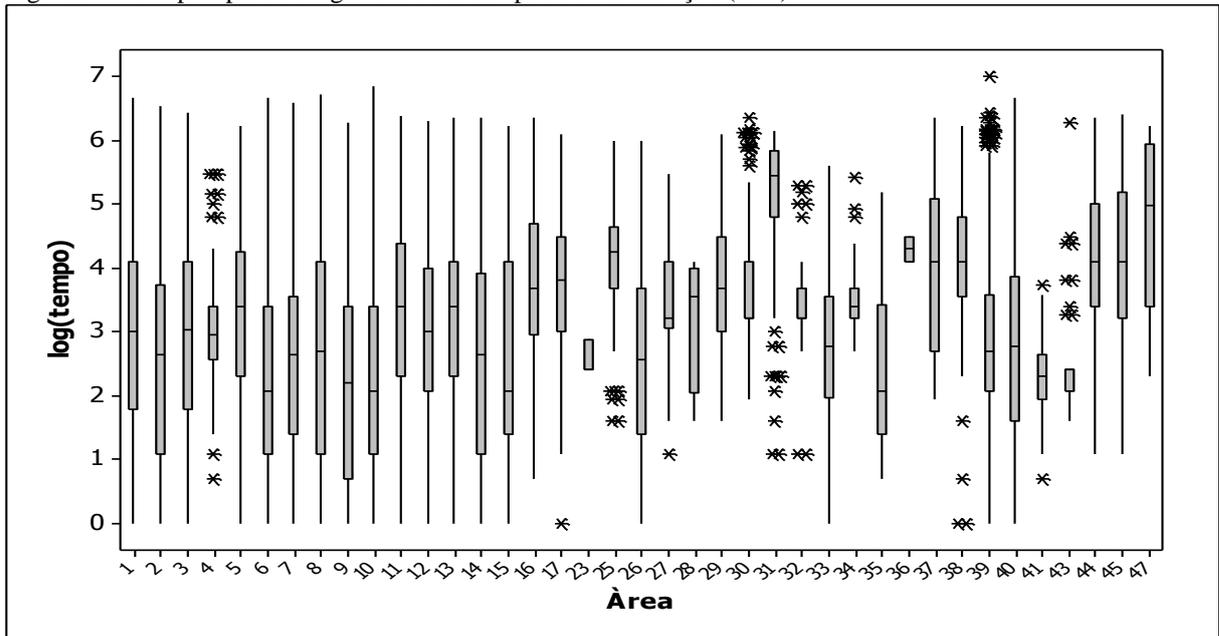
Figura 6 - Box- plot para os logaritmos dos tempos de manutenção (turno)



Fonte: Minitab® 16

A Figura 7 apresenta os gráficos *box-plots* dos tempos de manutenção transformados para a escala logarítmica para o fator área. Chama a atenção as áreas 4 (Linha 04), 30 (Compressores de Ar) e 39 (Fabricação 1) os *outliers*. Conseguem-se associar estas situações a situações particulares destas três áreas, aonde existe uma concentração de equipamentos com vida útil já muito avançada, que, quando ocorrem quebras nos mesmos, pode-se ter situações de difícil resolução e demora para recolocação em funcionamento.

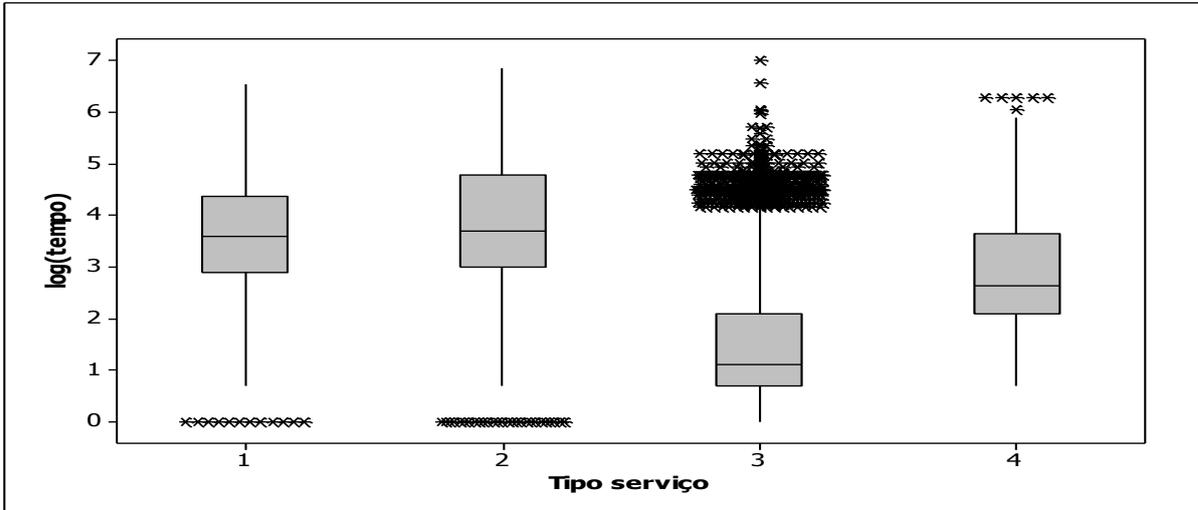
Figura 7 - Box- plot para os logaritmos dos tempos de manutenção (área)



Fonte: Minitab® 16

Pelos gráficos da Figura 7, é possível observar que há grande variabilidade nos tempos de manutenção entre as diferentes áreas, o que fica difícil analisá-las de forma isolada. A Figura 8 apresenta os gráficos *box-plots* dos tempos de manutenção transformados para a escala logarítmica para o fator tipo de serviço.

Figura 8 - Box- plot para os logaritmos dos tempos de manutenção (tipo de serviço)



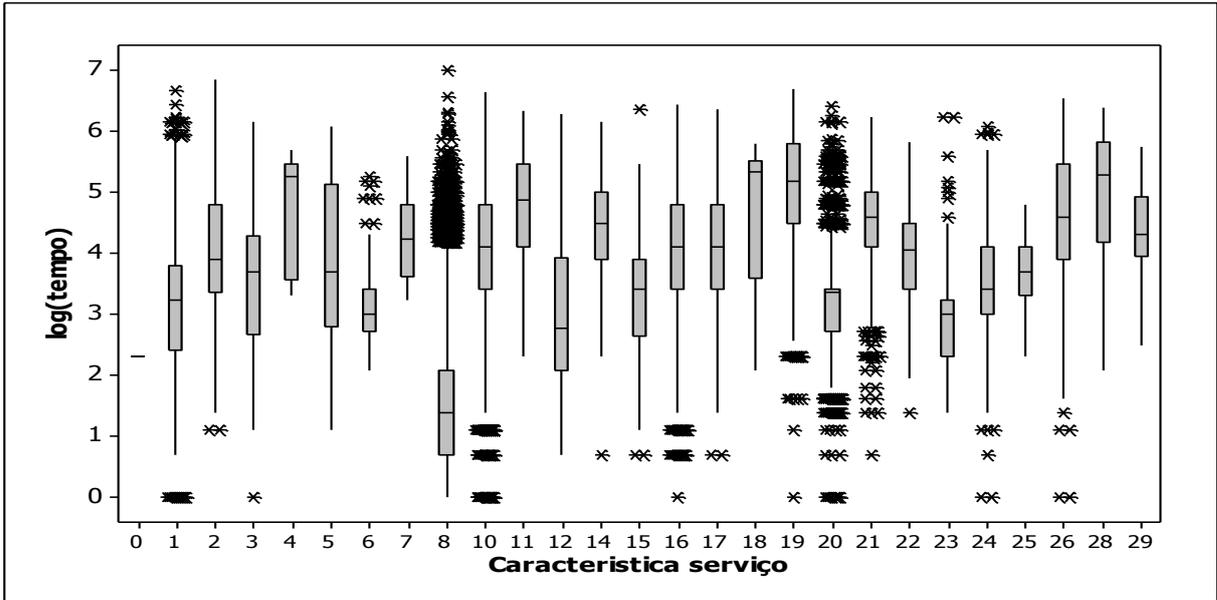
Fonte: Minitab® 16

Pelos gráficos da Figura 8, é possível observar que o tipo de serviço 3 (Inspeções) apresenta tempos de manutenção menores entre os diferentes tipos de serviço, apesar de existir muitas observações com valores grandes (observações discordantes) o que leva a uma distribuição bem assimétrica. Fato este explicável em função de existirem inspeções de tamanhos e formatos diferentes de acordo com sua criticidade e equipamentos a serem inspecionados.

A Figura 9 apresenta os gráficos *box-plots* dos tempos de manutenção transformados para a escala logarítmica para o fator característica principal de serviço.

Pelos gráficos da Figura 9, é possível observar que há grande variabilidade nos tempos de manutenção entre as diferentes características principais de serviço. Em uma área de manutenção existem vários tipos de intervenções a serem feitas com complexidades, conhecimentos e profissionais diferentes, nos levando a esta grande variedade de tempos médios. As mais diversas formas de atuação de uma área de manutenção, leva a esta grande variação de tempos devido a diferenças de características de atuação para cada tipo de serviço.

Figura 9 - Box- plot para os logaritmos dos tempos de manutenção (característica principal de serviço)

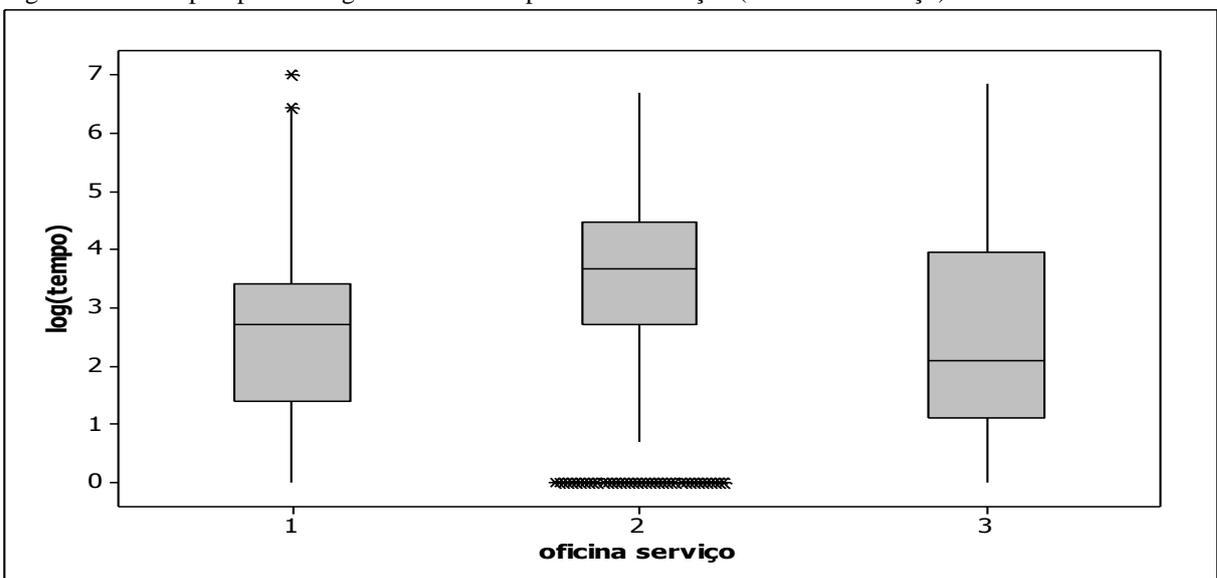


Fonte: Minitab® 16

Nas características de serviço 8 (Inspeções) e 20 (Limpar / Organizar) fica evidenciado que existem tempos muito variados de intervenções em função do tamanho da inspeção a ser realizada e a complexidade e tamanho do equipamento a ser limpo / organizado.

A Figura 10 apresenta os gráficos *box-plots* dos tempos de manutenção transformados para a escala logarítmica para o fator oficina de serviço. A oficina 2 (Manutenção de Máquinas de Embalagem) mostra uma grande variabilidade de tempos, concentrando *outliers* na parte de baixo do gráfico, aonde se concentram as atividades de ajustes de máquinas em função de variações de produtos ou materiais de embalagem.

Figura 10 - Box- plot para os logaritmos dos tempos de manutenção (oficina de serviço)

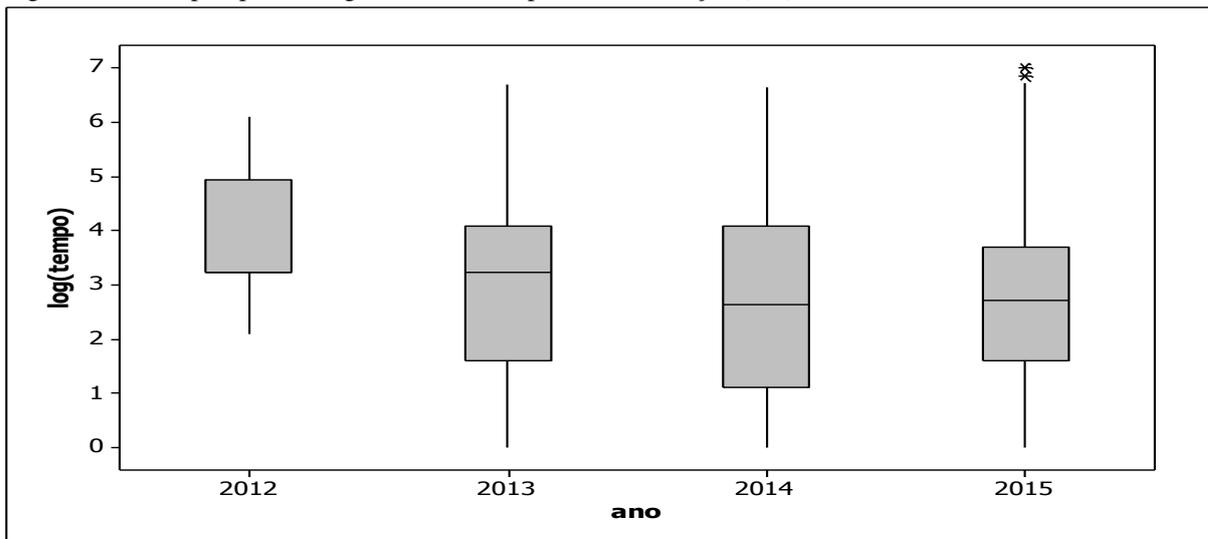


Fonte: Minitab® 16

Pelos gráficos da Figura 10, é possível observar que há grande variabilidade nos tempos de manutenção entre as diferentes oficinas de serviço e superposição entre os *box-plots* o que dificulta concluir por diferenças.

A Figura 11 apresenta os gráficos *box-plots* dos tempos de manutenção transformados para a escala logarítmica para o fator ano.

Figura 11 - Box- plot para os logaritmos dos tempos de manutenção (ano)



Fonte: Minitab® 16

Pelos gráficos da Figura 11, é possível observar que os tempos de manutenção para o ano de 2012 é aparentemente maior do que os tempos de manutenção para os outros anos (2013, 2014 e 2015). Pode-se também verificar que além dos tempos decrescerem ao longo dos anos, uma menor variabilidade de tempos, mesmo continuando com os diversos fatores que podem impactar no desempenho de máquinas e equipamentos. Mesmo com o avanço tecnológico e crescimento da empresa, os tempos decresceram, o que mostra também que a empresa estava analisando de forma correta o seu crescimento e provendo a área de manutenção com os devidos recursos ao longo dos anos.

4.2 Uso de um modelo de análise de variância (ANOVA) para os tempos de manutenção na escala logarítmica

Para descobrir estatisticamente quais fatores são significativos nos tempos de paradas, assumimos uma análise estatística usando um modelo de ANOVA com uma classificação, pois os resultados da análise descritiva apenas indicam algumas conclusões preliminares sobre os dados. Inicialmente foi considerado um modelo de análise de variância com uma

classificação considerando as variáveis qualitativas função, turno, área, tipo de serviço, característica principal do serviço, oficina do serviço e ano para os dados transformados (logaritmos dos tempos de manutenção).

A Análise de Variância (ANOVA) é uma metodologia estatística para testar se um determinado fator tem efeito significativo sobre a variável dependente Y . Supondo μ_j representando o verdadeiro valor da média da variável dependente classificada em diferentes níveis de um fator, significa que, para o nível j , a técnica de ANOVA testa a hipótese de que não existem diferenças entre as médias μ_j , assumindo que não há diferenças entre a variabilidade das observações em cada grupo (variância constante). Para mais detalhes sobre ANOVA, recomenda-se a leitura de Montgomery e Runger (2010).

Na Tabela 2, estão os resultados dessa análise estatística. As suposições necessárias para o uso de um modelo de ANOVA (normalidade dos erros e variância constante) foram verificadas a partir de gráficos de resíduos para cada caso. A partir dos resultados da Tabela 2, observa-se que todos os fatores levam a diferenças significativas entre os tempos de manutenção (escala logarítmica) pois o valor-p é menor do que 0,001 (significativo em um nível de significância igual à 0,1%). É importante salientar que o tamanho amostral é muito grande, o que leva a rejeição da hipótese de igualdade de médias em todos os casos.

Analisando os fatores separadamente, foi encontrado a partir de técnicas de ANOVA ou intervalos de confiança para as médias os fatores que influenciam os tempos de manutenção. Como a igualdade de médias foi rejeitada em todos os casos, evidencia-se nas figuras 12 a 18 os intervalos de confiança 95% para as médias de cada nível em cada fator. A partir desses gráficos consegue-se interpretar e detectar as médias diferentes (intervalos não superpostos indicam diferenças entre médias significativas; intervalos de confiança superpostos, indicam igualdade de médias).

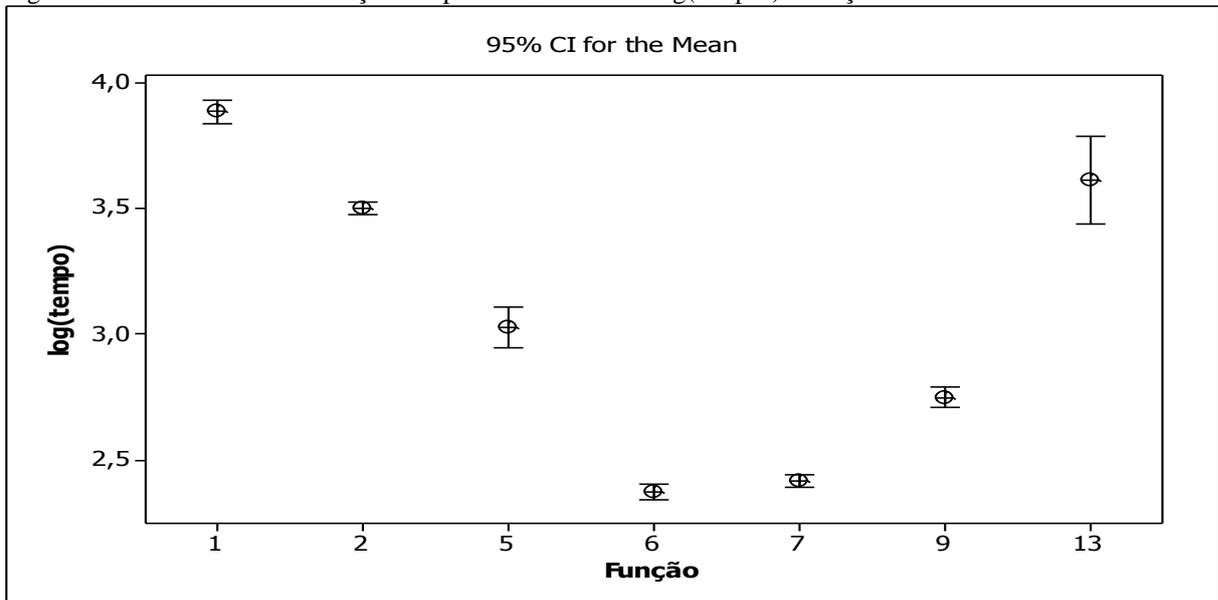
Tabela 2 - Análise de variância para os logaritmos dos tempos de manutenção

FV	GL	SQ	QM	F	P
FUNÇÃO	6	11668,50	1944,80	879,34	< 0,001
ERRO	42064	93029,20	2,20		
TOTAL	42070	104697,80			
S = 1,487		R ² = 11,14%		R ² (adj) = 11,13%	
FV	GL	SQ	QM	F	P
TURNO	4	8242,40	2060,60	898,67	< 0,001
ERRO	42066	96455,40	2,30		
TOTAL	42070	104697,80			
S = 1,514		R ² = 7,87%		R ² (adj) = 7,86%	
FV	GL	SQ	QM	F	P
ÁREA	38	8879,50	233,70	102,50	< 0,001
ERRO	42032	95818,20	2,30		
TOTAL	42070	104697,80			
S = 1,510		R ² = 8,48%		R ² (adj) = 8,40%	
FV	GL	SQ	QM	F	P
TIPO SERVIÇO	3	51505,00	17168,30	13577,40	< 0,001
ERRO	42067	53192,80	1,30		
TOTAL	42070	104697,80			
S = 1,124		R ² = 49,19%		R ² (adj) = 49,19%	
FV	GL	SQ	QM	F	P
CARACTERÍSTICA SERVIÇO	26	56104,40	2157,90	1867,03	< 0,001
ERRO	42044	48593,40	1,20		
TOTAL	42070	104697,80			
S = 1,075		R ² = 53,59%		R ² (adj) = 53,56%	
FV	GL	SQ	QM	F	P
ANO	3	1116,70	372,20	151,18	< 0,001
ERRO	42067	103581,00	2,50		
TOTAL	42070	104697,80			
S = 1,569		R ² = 1,07%		R ² (adj) = 1,06%	
FV	GL	SQ	QM	F	P
OFICINA SERVIÇO	2	9971,00	4985,50	2214,05	< 0,001
ERRO	42068	94726,80	2,30		
TOTAL	42070	104697,80			
S = 1,501		R ² = 9,52%		R ² (adj) = 9,52%	

(G.L. são graus de liberdade; SQ são somas de quadrados; Q.M. são quadrados médios; F é o valor de referência para a distribuição F de Snedecor; P é o valor-p ou nível de significância observado)

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

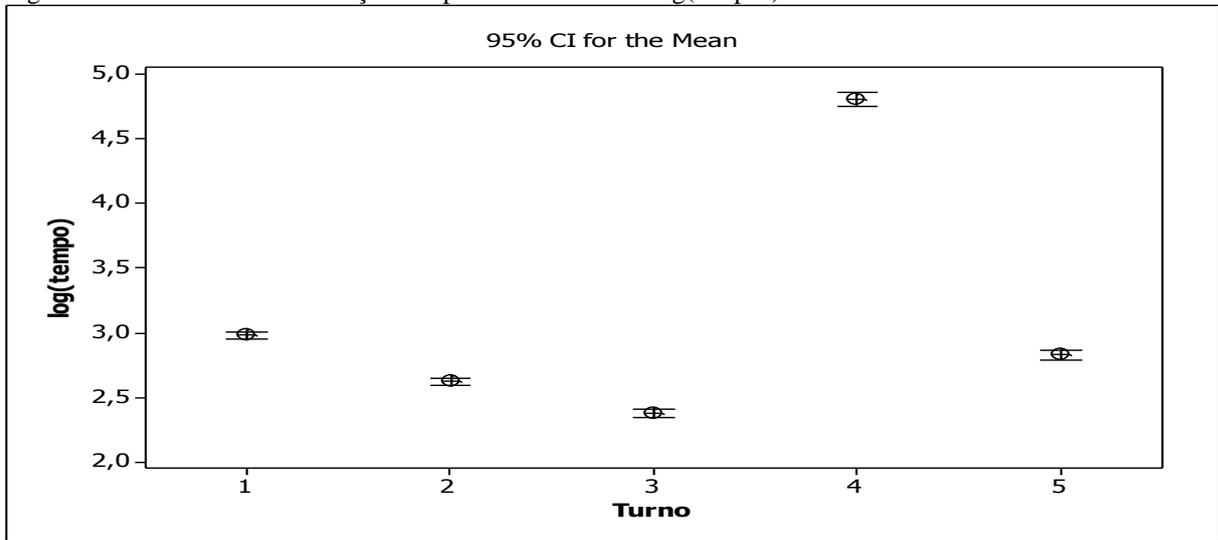
Figura 12 - Intervalos de confiança 95% para as médias dos log(tempo) – função



Fonte: Minitab® 16

A partir dos gráficos da Figura 12, observa-se que as funções 6,7 e 9 (6 – Técnico de manutenção Mecânica Geral, 7 – Técnico de Manutenção Eletroeletrônica, 9 – Auxiliar de Manutenção Eletroeletrônica) apresentam médias de manutenção bem menores (escala logarítmica), o que comprova que estas são as funções que tem o melhor desempenho em termos de tempos de intervenção, colaborando com a melhora de indicadores de manutenção como disponibilidade e tempo médio para reparo. A função 1 (1 – Auxiliar de Manutenção Mecânica de Máquinas de Embalagem) apresenta média de manutenção bem maior. A função de Auxiliar de Manutenção Mecânica de Máquinas de Embalagem é o primeiro nível de manutenção nesta empresa estudada, sendo em muitos casos a porta de entrada para a manutenção, constantemente existindo profissionais com pouca, ou até mesmo nenhuma experiência na área. Situação refletida, e confirmada, por esta análise estatística.

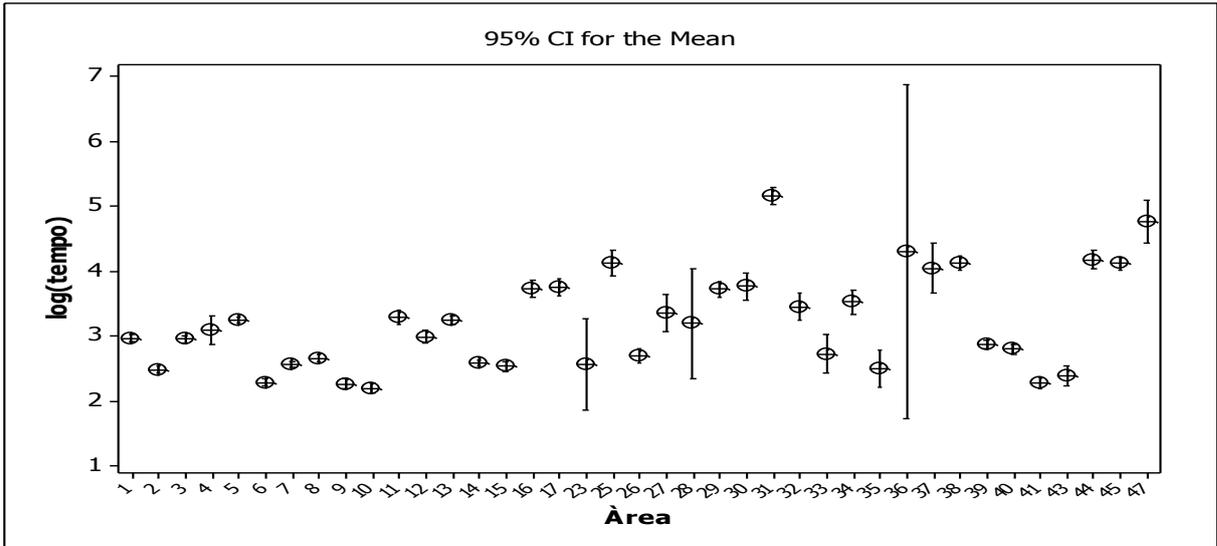
Figura 13 - Intervalos de confiança 95% para as médias dos log(tempo) – turno



Fonte: Minitab® 16

A partir dos gráficos da Figura 13, observa-se que os turnos 1, 2, 3 e 5 (respectivamente primeiro, segundo, terceiro horário e horário administrativo) apresentam médias de manutenção bem menores (escala logarítmica). O turno 4 (quarto horário) apresenta média de manutenção bem maior. Este “quarto horário”, é um horário diferenciado que existe na empresa estudada, que é das 10h00 às 19h00, englobando propositalmente os dois períodos de refeições na empresa. O objetivo com este horário é atender necessidade de *set ups* nos horários de refeição da área de produção, ou intervenções focadas em melhorias, o que leva esta análise de tempo de manutenção maior que os outros horários, pois estas ações possuem estas características de tempo maior para intervenção. Para isto a empresa estudada possui um horário especial para este tipo de atendimento.

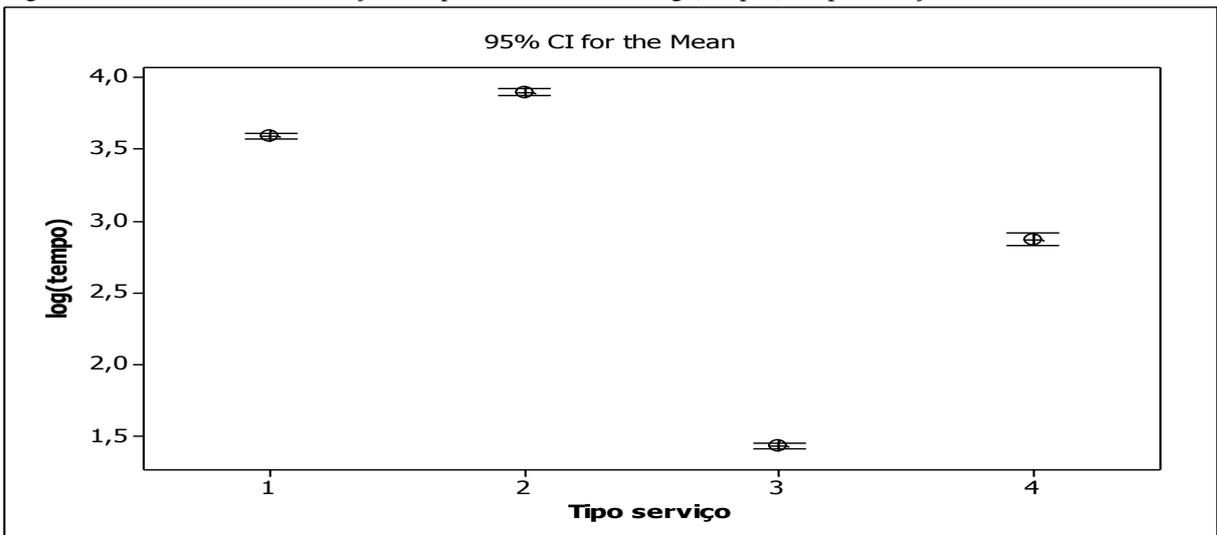
Figura 14 - Intervalos de confiança 95% para as médias dos log (tempo) – área



Fonte: Minitab® 16

A partir dos gráficos da Figura 14, observa-se que muitas áreas apresentam médias de manutenção bem menores e similares (escala logarítmica). A área 31 (central de vapor) e a área 47 (áreas industriais comuns) apresentam média de manutenção bem maior. O caso da Central de Vapor possuir uma maior média de 232,18 minutos de manutenção, está explicado pelo fato da concentração de atividades corretivas programadas para um único dia, ou ainda quando não programadas, demandar a necessidade de resfriamento da central de vapor antes da intervenção pelos aspectos de segurança do trabalho junto aos funcionários da manutenção.

Figura 15 - Intervalos de confiança 95% para as médias dos log (tempos) – tipo serviço

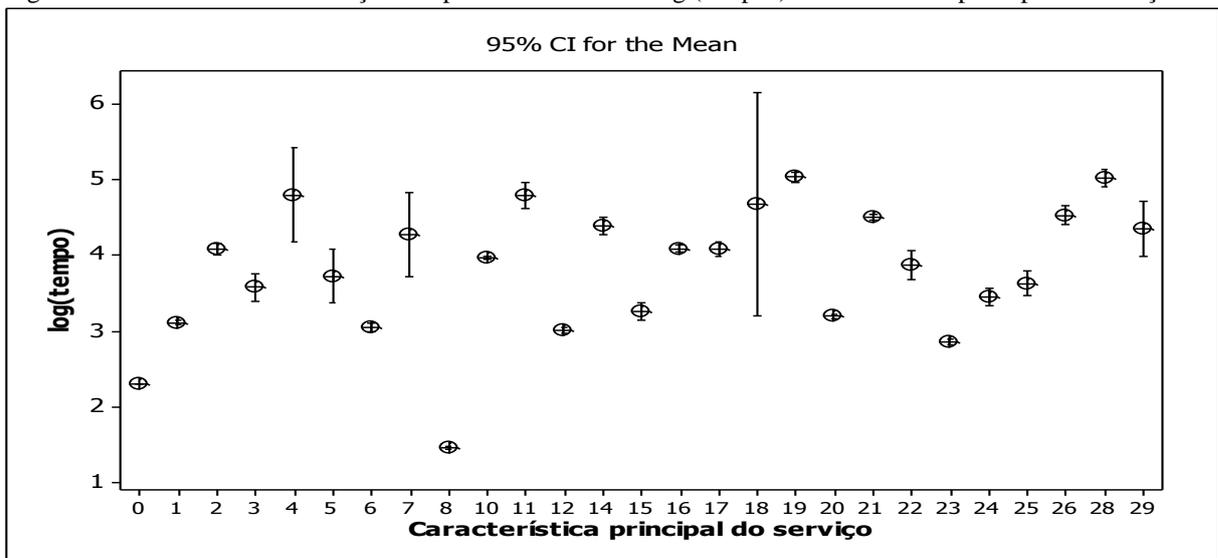


Fonte: Minitab® 16

A partir dos gráficos da Figura 15, observa-se que o tipo de serviço 3 (inspeções) apresenta média de manutenção bem menor (escala logarítmica). Os outros tipos de serviço

apresentam médias de manutenção bem maiores e similares, especialmente os tipos de serviço 1 (Manutenção Corretiva) e 2 (Manutenção Corretiva/Preventiva Programada). As inspeções (tipo de serviço 3) realizadas na empresa estudada levam muito pouco tempo, em função de usarem os aspectos sensitivos (visão, olfato e audição) e utilizarem instrumentos de medição que apresentam a leitura da variável inspecionada de forma muito rápida (alicate-amperímetro, multímetro digital, estetoscópio industrial, termômetros e termovisor) não necessitando de análise das informações, já que os valores coletados são registrados um sistema que compara a leitura feita contra padrões pré-estabelecidos gerando uma NC (não conformidade) e abrindo automaticamente um pedido de trabalho para intervenção corretiva programada. Esta situação de não se precisar de análise, reduz o tempo de intervenção. A mesma coisa não pode ser citada na análise dos outros dois tipos de intervenção (Manutenção Corretiva e Manutenção Corretiva/Preventiva Programada), pois na sua totalidade necessitará de alguma análise antes da execução dos serviços, demandando mais tempo para intervenção conforme mostra o gráfico da Figura 15.

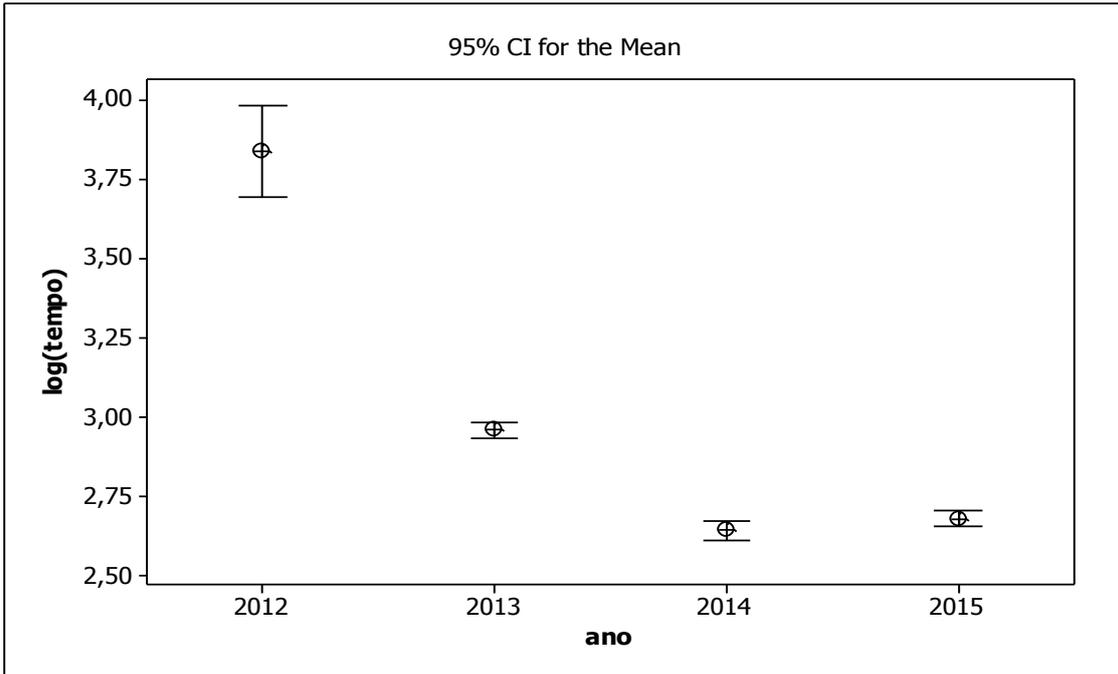
Figura 16 - Intervalos de confiança 95% para as médias dos log (tempos) - característica principal do serviço



Fonte: Minitab® 16

A partir dos gráficos da Figura 16, observa-se que a característica de serviço 8 (inspeção) apresenta média de manutenção bem menor (escala logarítmica), sendo a mesma consideração feita para o tipo de serviço do gráfico da figura 15. As outras características de serviço apresentam médias de manutenção bem maiores e dentro de uma mesma faixa de variação.

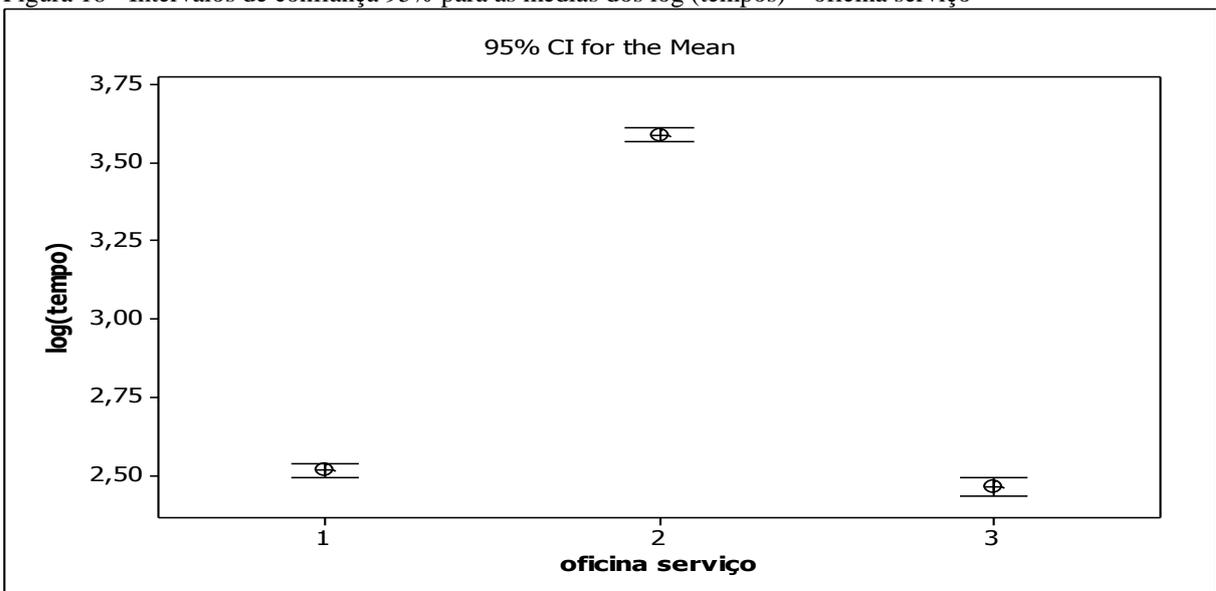
Figura 17 - Intervalos de confiança 95% para as médias dos log (tempos) – ano



Fonte: Minitab® 16

A partir dos gráficos da Figura 17, observa-se que a ano 2012 apresenta média de manutenção bem maior (escala logarítmica). Os outros anos apresentam médias de manutenção bem menores e decrescentes ao longo dos anos. Também através desta análise evolutiva, pode se afirmar que a qualidade da manutenção nesta empresa está evoluindo e que os caminhos traçados como planejamento estratégico estão corretos.

Figura 18 - Intervalos de confiança 95% para as médias dos log (tempos) – oficina serviço



Fonte: Minitab® 16

A partir dos gráficos da Figura 18, observa-se que a oficina de serviço 2 (Manutenção Mecânica de Máquinas de Embalagem) apresenta média de manutenção bem maior (escala

logarítmica). As oficinas de serviço 1 (Eletroeletrônica) e 3 (Manutenção Mecânica Geral) apresentam médias de manutenção bem menores e similares. A oficina de serviço 2 (Manutenção de Máquinas de Embalagem) evidenciada através do gráfico da figura 18 como a que apresenta a maior média de tempo de intervenções de manutenção, se dá ao fato de que, é uma área que demanda mais presença na máquina pelos funcionários da manutenção, em função de necessidades de ajustes nas mesmas. Como é praticamente um dos últimos equipamentos do processo produtivo (embalagem) as mesmas necessitam de constantes ajustes em função de possíveis variações de material de embalagem e dimensional do produto a ser embalado. Em função disto, o funcionário da manutenção demanda muito tempo em observação e ajustes nas mesmas.

O próximo passo foi analisar o efeito de todos esses fatores em conjunto, buscando os fatores realmente relevantes e também ajustar um modelo para previsão.

4.3. Uso de um modelo de regressão linear múltiplo para os tempos de manutenção na escala logarítmica

Na análise estatística, quando o objetivo principal é verificar o efeito combinado das covariáveis sobre uma resposta Y, geralmente se empregam técnicas de regressão linear múltipla (DRAPER; SMITH, 1981; SEBER; LEE, 2003; MONTGOMERY; RUNGER, 2010).

Dessa forma, apesar da maioria das covariáveis serem categóricas não ordinais, assumiu-se um modelo de regressão linear múltipla que pode ser útil para previsões, considerando as covariáveis (variáveis independentes) função (x_1), turno (x_2), área (x_3), tipo serviço (x_4), característica principal do serviço (x_5), ano (x_6), oficina de serviço (x_7) e a resposta transformada $\log(\text{tempo manutenção})$ para satisfazer algumas suposições necessárias para o uso de modelos de regressão, dado por:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \beta_3 x_{3i} + \beta_4 x_{4i} + \beta_5 x_{5i} + \beta_6 x_{6i} + \beta_7 x_{7i} + \varepsilon_i \quad (1)$$

onde os termos ε_i denotam erros assumidos como variáveis aleatórias independentes com distribuição normal com média igual à zero e variância desconhecida igual à σ^2 .

Os objetivos principais do uso de um modelo de regressão linear múltipla são:

- Encontrar os efeitos conjuntos de todos os fatores na produtividade média;

- Identificar quais fatores têm efeitos significativos na resposta (produtividade);
- Encontrar um modelo de previsão.

O modelo de regressão ajustado por mínimos quadrados (EMQ), é dado por:

$$\log(\text{tempo}) = 33,3 - 0,112 \text{ Função} + 0,118 \text{ Turno} + 0,0163 \text{ Área} - 0,826 \text{ Tipo serviço} + 0,0843 \text{ Característica serviço} - 0,0146 \text{ Ano} + 0,0573 \text{ Oficina serviço} \quad (2)$$

Tabela 3 - Regressão linear (EMQ) para os logaritmos dos tempos de manutenção

PREDITOR	COEF	EP COEF	T	P
CONSTANTE	33,27	14,19	2,34	0,019
FUNÇÃO	-0,1119610	0,0029520	-37,93	< 0,001
TURN0	0,1181100	0,0048120	24,55	< 0,001
ÁREA	0,0162878	0,0005286	30,82	< 0,001
TIPO SERVIÇO	-0,0825989	0,0074570	-110,76	< 0,001
CAR. SERVIÇO	0,0842660	0,0010080	83,56	< 0,001
ANO	-0,0146440	0,0070460	-2,08	0,038
OFICINA SERVIÇO	0,0572560	0,0079110	7,24	< 0,001

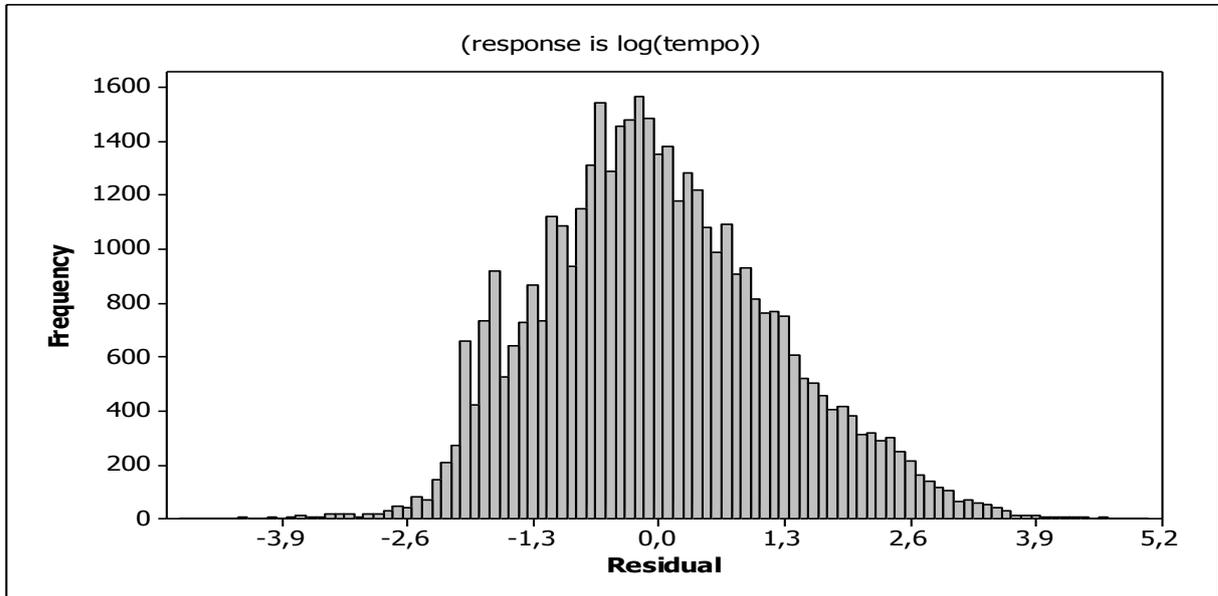
(E.P.: erro padrão; T é o valor de referência para a distribuição T de *Student*; P é o valor-p ou nível de significância observado)

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

A partir dos resultados obtidos na Tabela 3, observa-se que todos os fatores são significativos (valor-p < 0,001) afetando a resposta tempo de manutenção. Isso comprova os resultados obtidos previamente pelas outras análises estatísticas. Como o modelo captura o efeito conjunto de todas as covariáveis na resposta (tempo de manutenção), possivelmente a covariável anos apresenta alguma dependência com alguma das outras covariáveis, o que

levou a não-significância dos anos na resposta tempo de manutenção. Além disso, o modelo de regressão pode ser muito útil para previsões.

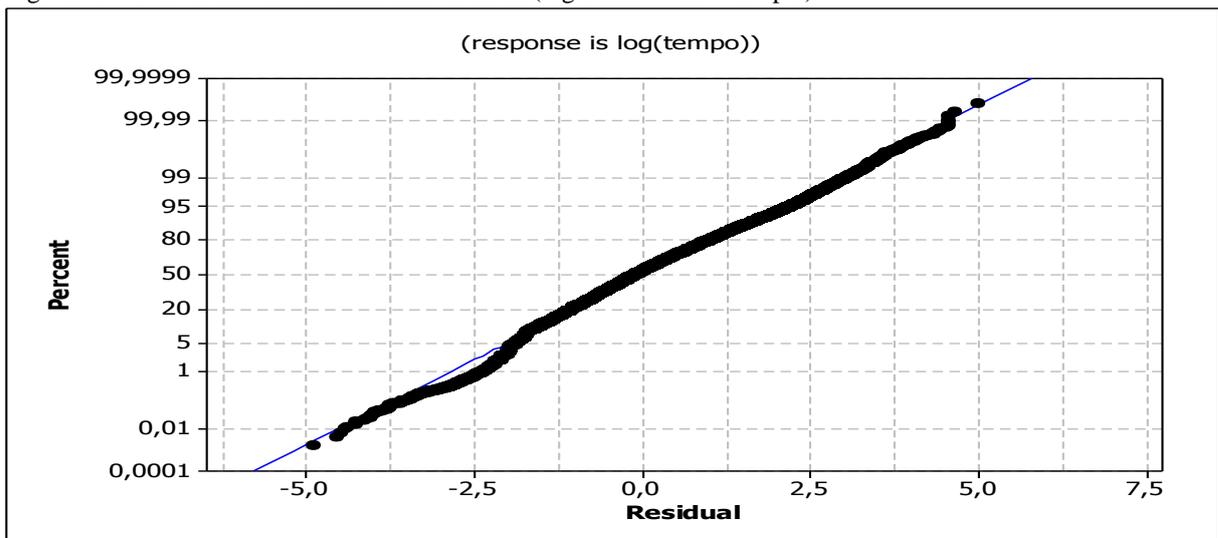
Figura 19 - Histograma dos resíduos (regressão linear múltipla)



Fonte: Minitab® 16

A suposição de normalidade dos resíduos foi verificada a partir de gráficos dos resíduos (ver Figuras 19 e 20).

Figura 20 - Gráfico de normalidade dos resíduos (regressão linear múltipla)



Fonte: Minitab® 16

Também foi observado variância aproximadamente constante para o erro (Figura 20). Esta variância constante para o erro, revela uma boa modelagem para as análises.

4.4. Uso de um modelo log-linear múltiplo usado em confiabilidade para os tempos de manutenção na escala original

Uma outra possibilidade na análise dos dados de manutenção seria considerar os tempos de manutenção na escala original. Para isso, serão usados conceitos de modelos de confiabilidade industrial.

Na Tabela 4, estão os estimadores de máxima verossimilhança para os parâmetros do modelo de regressão log-normal que são exatamente iguais aos resultados obtidos via mínimos quadrados para o modelo de regressão linear usual com uma estrutura de erros normais.

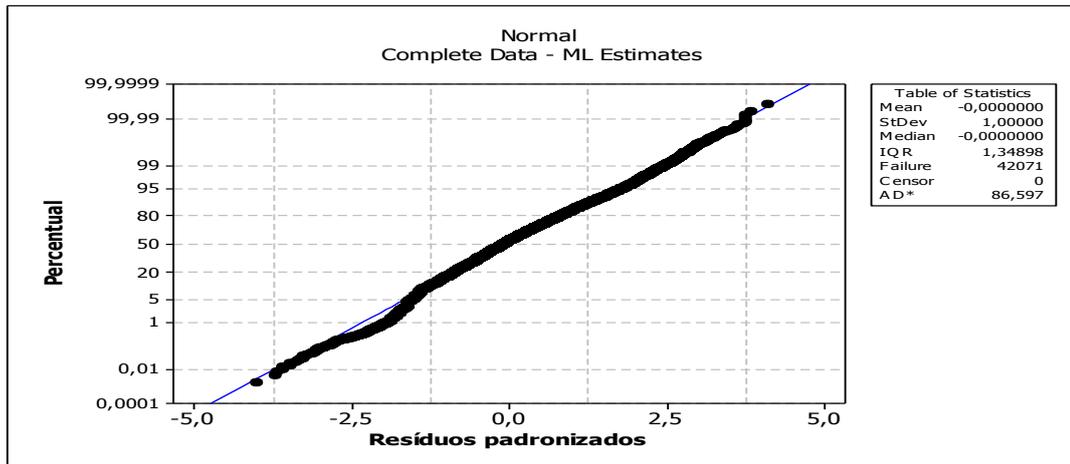
Tabela 4 - Regressão log-normal (EMV) para os tempos de manutenção

PREDITOR	COEF.	E.P	Z	P
INTERCEPTO	33,2736	14,1886	2,35	0,019
FUNÇÃO	-0,1119610	0,0029514	-37,94	< 0,001
TURNOS	0,1181100	0,0048114	24,55	< 0,001
ÁREA	0,0162878	0,0005285	30,82	< 0,001
TIPO SERVIÇO	-0,8259890	0,0074566	-110,77	< 0,001
CAR. SERVIÇO	0,0842658	0,0010083	83,57	< 0,001
ANO	-0,0146437	0,0070455	-2,08	0,038
OFIC. SERVIÇO	0,0572560	0,0079103	7,24	< 0,001
ESCALA		1,21833	0,0042001	

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

Na Figura 21 está o gráfico dos resíduos padronizados. Observa-se um excelente ajuste do modelo (pontos próximos da reta).

Figura 21 - Gráfico de resíduos padronizados (regressão log-normal)



Fonte: Minitab® 16

A seguir foi ajustado um modelo de regressão log-linear dado por (19) assumindo uma distribuição Weibull com densidade (15) para os tempos de manutenção. Na Tabela 5, estão os estimadores de máxima verossimilhança para os parâmetros do modelo de regressão Weibull.

Tabela 5 - Regressão Weibull (EMV) para os tempos de manutenção

PREDITOR	COEF.	E.P	Z	P
INTERCEPTO	-10,9045	15,1083	-0,72	0,470
FUNÇÃO	-0,1244810	0,0026852	-46,36	< 0,001
TURN0	0,0997213	0,0047779	20,87	< 0,001
ÁREA	0,0147329	0,0005517	26,70	< 0,001
TIPO SERVIÇO	-0,7133550	0,0069868	-102,10	< 0,001
CAR. SERVIÇO	0,0755384	0,0011184	67,54	< 0,001
ANO	0,0074933	0,0075031	1,00	0,318
OFIC. SERVIÇO	0,1520890	0,0079263	19,19	< 0,001
FORMA	0,7916310	0,0027490		

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

A partir dos resultados da Tabela 5, observa-se resultados bem similares dos obtidos usando um modelo de regressão log-normal (estimadores dos parâmetros de regressão similares, e valores-p similares indicando as mesmas covariáveis significativas).

4.5. Determinação das funções de confiabilidades para os tempos de manutenção assumindo uma distribuição de Weibull em cada fator.

4.5.1. Função

A função de confiabilidade para um tempo t dada por (16), $R(t) = P(T > t)$ fornece as probabilidades dos tempos de manutenção serem maiores do que um dado valor t . Assim pode-se ter curvas de confiabilidade em tempos especificados para cada fator de interesse. As curvas com valores maiores de probabilidade em tempos especificados t indicam os componentes com maiores probabilidades de tempos de manutenção serem maiores que um valor t fixado.

O erro padrão de um estimador determina a precisão com a qual o estimador amostral estima o parâmetro da característica de distribuição. Valores menores do erro padrão do estimador indicam estimativas mais precisas.

Em estatística, o intervalo de confiança (IC) é um tipo de estimativa por intervalo de um parâmetro de uma característica de distribuição desconhecido. I.C. é um intervalo observado (calculado a partir de observações) que pode variar de amostra para amostra e que com dada frequência (nível de confiança) inclui o parâmetro de interesse real não observável.

Como os dados observados são amostras aleatórias de registros de paradas de máquinas e equipamentos, o intervalo de confiança construído a partir dos dados também é aleatório. Entretanto, o intervalo de confiança calculado a partir de uma amostra particular não inclui necessariamente o valor real do parâmetro. Quando tem-se 99% de confiança de que o valor real do parâmetro está no intervalo de confiança, significa que 99% dos intervalos de confiança observados têm o valor real do parâmetro. Tomando-se qualquer amostra particular, o parâmetro populacional desconhecido pode ou não pode estar no intervalo de confiança observado.

Nas Tabelas 6 a 12, constam os EMV dos parâmetros da distribuição de Weibull para cada função.

Tabela 6 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - função auxiliar de manutenção mecânica máquinas de embalagem

ESTIMADORES DOS PARÂMETROS				
I.C. 95% NORMAL				
PARAMETRO	ESTIMADOR	E.P.	INFERIOR	SUPERIOR
FORMA	0,8533050	0,0121965	0,8297320	0,8775480
ESCALA	92,64140	2,14909	88,52360	96,95080
CARACTERÍSTICAS DA DISTRIBUIÇÃO				
I.C. 95% NORMAL				
	ESTIMADOR	E.P.	INFERIOR	SUPERIOR
MÉDIA (MTTR)	100,5470	2,209070	96,3090	104,9710
DESVIO PADRÃO	118,3110	3,236660	112,1340	124,8280
MEDIANA	60,2929	1,559030	57,3134	63,4273
PRIMEIRO QUARTIL(Q1)	21,5128	0,772390	29,0510	23,0812
TERCEIRO QUARTIL (Q3)	135,8460	2,992910	130,1050	141,8410
AMPLITUDE INTERQUARTIL (IQR)	114,3330	2,529040	109,4820	119,3990

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

O destaque nesta Tabela 6, é o longo tempo médio para reparo para a função analisada (auxiliar de manutenção de máquinas de embalagem) sendo um dos maiores tempos entre as funções analisadas. Isto sinaliza um estado de alerta para a empresa estudada pois, para esta função, as máquinas permanecem por mais tempo parada para reparo.

Tabela 7 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - função técnico de manutenção mecânica máquinas de embalagem

ESTIMADORES DOS PARÂMETROS				
I.C. 95% NORMAL				
PARAMETRO	ESTIMADOR	E.P.	INFERIOR	SUPERIOR
FORMA	0,9181000	0,0073898	0,9037300	0,9326980
ESCALA	58,205200	0,741376	56,770100	59,676500
CARACTERÍSTICAS DA DISTRIBUIÇÃO				
I.C. 95% NORMAL				
	ESTIMADOR	E.P.	INFERIOR	SUPERIOR
MÉDIA(MTTR)	60,5948	0,728363	59,1839	62,0393
DESVIO PADRÃO	66,0742	0,963295	64,2129	67,9894
MEDIANA	39,0470	0,551712	37,9805	40,1434
PRIMEIRO QUARTIL(Q1)	14,9832	0,289605	14,4263	15,5618
TERCEIRO QUARTIL (Q3)	83,0752	1,004860	81,1289	85,0682
AMPLITUDE INTERQUARTIL (IQR)	68,0920	0,826471	66,4912	69,7312

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

Tabela 8 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - função auxiliar de manutenção mecânica geral

ESTIMADORES DOS PARÂMETROS				
PARAMETRO	ESTIMADOR	E.P.	I.C. 95% NORMAL	
			INFERIOR	SUPERIOR
FORMA	0,5961290	0,0100938	0,5766700	0,6162440
ESCALA	51,89390	2,01953	48,08290	56,00690
CARACTERÍSTICAS DA DISTRIBUIÇÃO				
	ESTIMADOR	E.P.	I.C. 95% NORMAL	
			INFERIOR	SUPERIOR
MÉDIA(MTTR)	78,74380	2,990420	73,09550	84,82850
DESVIO PADRÃO	139,56000	6,686120	127,05200	153,29900
MEDIANA	28,06090	1,219650	25,76950	30,55620
PRIMEIRO QUARTIL(Q1)	6,41871	0,388956	5,69990	7,22816
TERCEIRO QUARTIL (Q3)	89,75880	3,314100	83,49280	96,49520
AMPLITUDE INTERQUARTIL (IQR)	83,34010	3,063160	77,54760	89,56540

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

Na Tabela 8, e para um mesmo caso de função auxiliar, mas de outra oficina (mecânica geral) pode-se evidenciar também um MTTR alto, na ordem de 78,74 minutos. Por serem menos experientes e ainda em desenvolvimento, é natural que tempos maiores para reparo sejam dentro destas funções.

Tabela 9 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - função técnico de manutenção mecânica geral

ESTIMADORES DOS PARÂMETROS				
PARAMETRO	ESTIMADOR	E.P.	I.C. 95% NORMAL	
			INFERIOR	SUPERIOR
FORMA	0,5748070	0,0036862	0,5676280	0,5820780
ESCALA	26,202400	0,420602	25,390900	27,039900
CARACTERÍSTICAS DA DISTRIBUIÇÃO				
	ESTIMADOR	E.P.	I.C. 95% NORMAL	
			INFERIOR	SUPERIOR
MÉDIA(MTTR)	41,79040	0,6497310	40,53620	43,08350
DESVIO PADRÃO	77,55640	1,4897800	74,69070	80,53200
MEDIANA	13,84920	0,2472450	13,37300	14,34230
PRIMEIRO QUARTIL(Q1)	2,99920	0,0735613	2,85843	3,14689
TERCEIRO QUARTIL (Q3)	46,25190	0,7036380	44,89320	47,65180
AMPLITUDE INTERQUARTIL (IQR)	43,25270	0,6539580	41,98980	44,55360

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

Tabela 10 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - função técnico manutenção eletroeletrônica

ESTIMADORES DOS PARÂMETROS				
PARAMETRO	ESTIMADOR	E.P.	I.C. 95% NORMAL	
			INFERIOR	SUPERIOR
FORMA	0,7426440	0,0051285	0,7326600	0,7527640
ESCALA	22,358400	0,303186	21,772000	22,960600
CARACTERISTICAS DA DISTRIBUIÇÃO				
	ESTIMADOR	E.P.	I.C. 95% NORMAL	
			INFERIOR	SUPERIOR
MÉDIA(MTTR)	26,84020	0,3450930	26,17230	27,52520
DESVIO PADRÃO	36,71170	0,5744530	35,60290	37,85510
MEDIANA	13,64910	0,2052800	13,25270	14,05750
PRIMEIRO QUARTIL(Q1)	4,17681	0,0858490	4,01189	4,34850
TERCEIRO QUARTIL (Q3)	34,71000	0,4468690	33,84510	35,59700
AMPLITUDE INTERQUARTIL (IQR)	30,53320	0,3908780	29,77660	31,30900

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

Na Tabela 10, mostra-se que o MTTR é o menor entre todas as funções, caracterizando que o Técnico Eletroeletrônico tem um tempo de atuação muito mais rápido que outras funções, seja pelo seu conhecimento técnico e formação, ou por facilidade de atuação em alguns casos como rearme e ajustes rápidos.

Tabela 11 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - função auxiliar de manutenção eletroeletrônica

ESTIMADORES DOS PARÂMETROS				
PARAMETRO	ESTIMADOR	E.P.	I.C. 95% NORMAL	
			INFERIOR	SUPERIOR
FORMA	0,7294350	0,0079708	0,7139790	0,7452260
ESCALA	31,588500	0,689838	30,265000	32,969900
CARACTERISTICAS DA DISTRIBUIÇÃO				
	ESTIMADOR	E.P.	I.C. 95% NORMAL	
			INFERIOR	SUPERIOR
MÉDIA(MTTR)	38,50890	0,797869	36,97640	40,10480
DESVIO PADRÃO	53,74180	1,355960	51,14880	56,46620
MEDIANA	19,11230	0,463010	18,22600	20,04170
PRIMEIRO QUARTIL(Q1)	5,72453	0,189571	5,36478	6,10841
TERCEIRO QUARTIL (Q3)	49,43130	1,024680	47,46330	51,48100
AMPLITUDE	43,70680	0,900575	41,97690	45,50800

INTERQUARTIL (IQR)

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

Tabela 12 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - função outras funções

ESTIMADORES DOS PARÂMETROS

PARAMETRO	ESTIMADOR	E.P.	I.C. 95% NORMAL	
			INFERIOR	SUPERIOR
FORMA	0,83550500	0,04833656	0,74589000	0,93588600
ESCALA	66,23160	6,91323	53,97800	81,26680

CARACTERISTICAS DA DISTRIBUIÇÃO

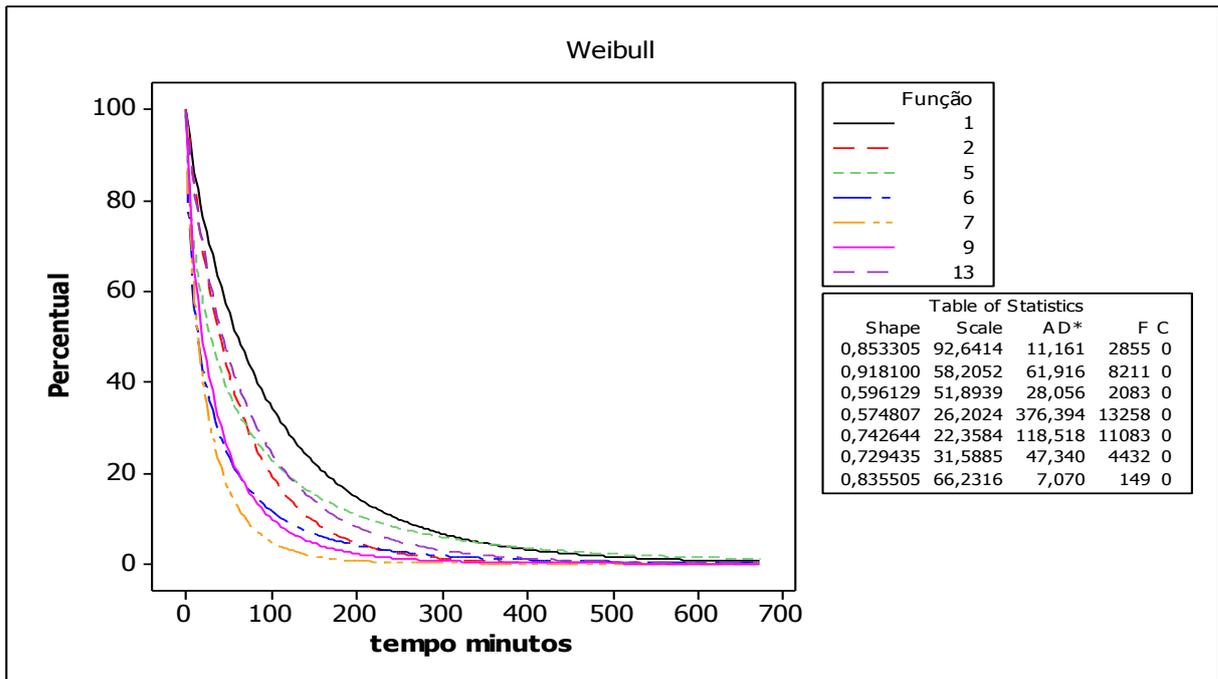
	ESTIMADOR	E.P.	I.C. 95% NORMAL	
			INFERIOR	SUPERIOR
MÉDIA(MTTR)	72,8506	7,14437	60,1114	88,2896
DESVIO PADRÃO	87,6548	10,22970	69,7327	110,1830
MEDIANA	42,7122	4,93647	34,0545	53,5710
PRIMEIRO QUARTIL(Q1)	14,9090	2,33483	10,9684	20,2652
TERCEIRO QUARTIL (Q3)	97,9150	9,68686	80,6564	118,8670
AMPLITUDE INTERQUARTIL (IQR)	83,0061	8,15632	68,4651	100,6350

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

Resumidamente, dos resultados das Tabelas 9 a 12, comprova-se que o tempo maior médio de manutenção é dado para a função auxiliar de manutenção mecânica máquinas de embalagem (MTTR – 100,547).

Na Figura 22, são apresentados os gráficos das confiabilidades, isto é, $P(T > t)$ para cada função. Novamente comprova-se que a função auxiliar de manutenção mecânica máquinas de embalagem, tem maiores probabilidades de tempo de manutenção maiores do que t , comparando-se com as outras funções.

Figura 22 - Gráfico de funções de confiabilidade (distribuição Weibull-função)



Fonte: Minitab® 16

4.5.2. Turno

Nas Tabelas 13 a 17 , são demonstrados os EMV dos parâmetros da distribuição de Weibull para cada turno.

Tabela 13 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção – primeiro turno (6:00 às 14:45)

ESTIMADORES DOS PARÂMETROS				
PARAMETRO	ESTIMADOR	E.P.	I.C. 95% NORMAL	
			INFERIOR	SUPERIOR
FORMA	0,7361470	0,0049169	0,7265730	0,7458470
ESCALA	40,378900	0,520301	39,371900	41,411700

CARACTERÍSTICAS DA DISTRIBUIÇÃO				
			I.C. 95% NORMAL	
	ESTIMADOR	E.P.	INFERIOR	SUPERIOR
MÉDIA(MTTR)	48,83620	0,598546	47,67700	50,02350
DESVIO PADRÃO	67,45710	1,019470	65,48830	69,48510
MEDIANA	24,54300	0,351682	23,86330	25,24210
PRIMEIRO QUARTIL(Q1)	7,43239	0,146740	7,15028	7,72564
TERCEIRO QUARTIL (Q3)	62,92960	0,769847	61,43870	64,45670
AMPLITUDE INTERQUARTIL (IQR)	55,49720	0,676093	54,18780	56,83830

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

Tabela 14 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção – segundo turno (14:45 às 22:50)

ESTIMADORES DOS PARÂMETROS				
			I.C. 95% NORMAL	
PARAMETRO	ESTIMADOR	E.P.	INFERIOR	SUPERIOR
FORMA	0,659042	0,004125	0,650837	0,667350
ESCALA	30,488400	0,421914	29,672500	31,326600

CARACTERÍSTICAS DA DISTRIBUIÇÃO				
			I.C. 95% NORMAL	
	ESTIMADOR	E.P.	INFERIOR	SUPERIOR
MÉDIA(MTTR)	41,03000	0,5436530	39,97820	42,10950
DESVIO PADRÃO	64,36850	1,0526600	62,33800	66,46510
MEDIANA	17,48280	0,2690770	16,96320	18,01820
PRIMEIRO QUARTIL(Q1)	4,60376	0,0975325	4,41652	4,79895
TERCEIRO QUARTIL (Q3)	50,04710	0,6570480	48,77570	51,35160
AMPLITUDE INTERQUARTIL (IQR)	45,44330	0,5930400	44,29570	46,62070

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

Tabela 15 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção – terceiro turno (22:50 às 6:00)

ESTIMADORES DOS PARÂMETROS				
			I.C. 95% NORMAL	
PARAMETRO	ESTIMADOR	E.P.	INFERIOR	SUPERIOR
FORMA	0,6949220	0,0056785	0,6838810	0,7061410
ESCALA	23,060100	0,382196	22,323100	23,821500

CARACTERISTICAS DA DISTRIBUIÇÃO				
			I.C. 95% NORMAL	
	ESTIMADOR	E.P.	INFERIOR	SUPERIOR
MÉDIA(MTTR)	29,39500	0,4651810	28,49720	30,32100
DESVIO PADRÃO	43,34920	0,8500600	41,71470	45,04770
MEDIANA	13,60840	0,2511410	13,12500	14,10970
PRIMEIRO QUARTIL(Q1)	3,83912	0,0978902	3,65197	4,03585
TERCEIRO QUARTIL (Q3)	36,89720	0,5802170	35,77730	38,05210
AMPLITUDE INTERQUARTIL (IQR)	33,08510	0,5172470	32,05970	34,08750

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

Tabela 16 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção – quarto turno (10:00 às 19:00)

ESTIMADORES DOS PARÂMETROS				
			I.C. 95% NORMAL	
PARAMETRO	ESTIMADOR	E.P.	INFERIOR	SUPERIOR
FORMA	1,1643900	0,0238084	1,1186500	1,2120000
ESCALA	198,84400	4,68832	189,86400	208,24900

CARACTERISTICAS DA DISTRIBUIÇÃO				
			I.C. 95% NORMAL	
	ESTIMADOR	E.P.	INFERIOR	SUPERIOR
MÉDIA(MTTR)	188,5680	4,23143	180,4540	197,0460
DESVIO PADRÃO	162,4390	4,66424	153,5490	171,8430
MEDIANA	145,1480	3,82090	137,8490	152,8330
PRIMEIRO QUARTIL(Q1)	68,2049	2,51495	63,4496	73,3166
TERCEIRO QUARTIL (Q3)	263,2330	5,90720	251,9060	275,0700
AMPLITUDE INTERQUARTIL (IQR)	195,0290	4,63232	186,1570	204,3220

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

O MTTR evidenciado na Tabela 16, de 188,56, para o horário de trabalho analisado (quarto turno) sofre o impacto dos tempos de *set up*, por isto fica distante das médias dos outros turnos de trabalho.

Tabela 17 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção – turno administrativo (8:00 às 18h00)

ESTIMADORES DOS PARÂMETROS				
			I.C. 95% NORMAL	

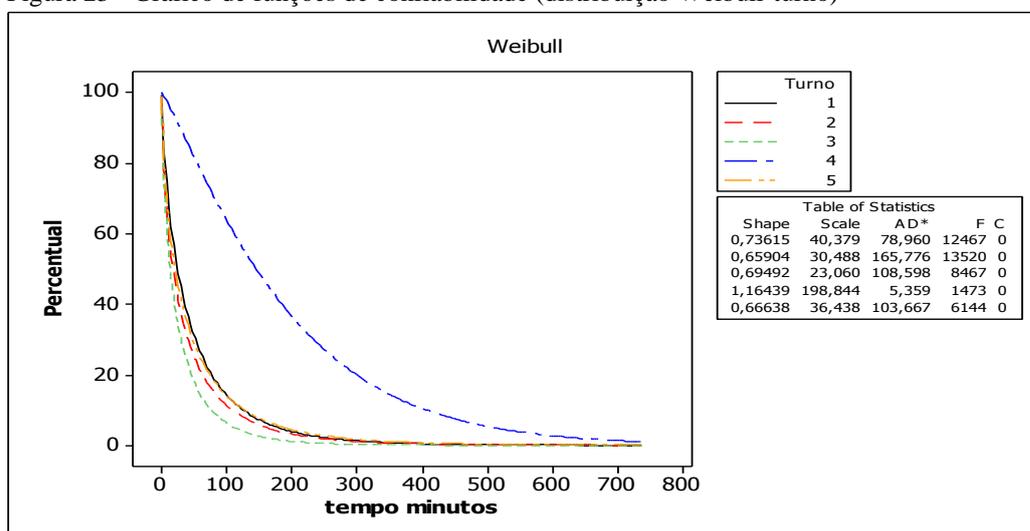
PARAMETRO	ESTIMADOR	E.P.	INFERIOR	SUPERIOR
FORMA	0,6663800	0,0062334	0,6542740	0,6787100
ESCALA	36,438200	0,740595	35,015200	37,919100

CARACTERISTICAS DA DISTRIBUIÇÃO				
I.C. 95% NORMAL				
	ESTIMADOR	E.P.	INFERIOR	SUPERIOR
MÉDIA(MTTR)	48,46080	0,939483	46,65400	50,33760
DESVIO PADRÃO	75,03960	1,782030	71,62700	78,61490
MEDIANA	21,02290	0,474661	20,11290	21,97410
PRIMEIRO QUARTIL(Q1)	5,61794	0,173852	5,28732	5,96923
TERCEIRO QUARTIL (Q3)	59,48830	1,146660	57,28290	61,77870
AMPLITUDE INTERQUARTIL (IQR)	53,87040	1,031350	51,88650	55,93020

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

Dos resultados das Tabelas 13-17, comprova-se que o tempo maior médio de manutenção é dado para o turno quarto turno (10:00 às 19:00) (MTTR – 188,568). Na Figura 23, estão os gráficos das confiabilidades, isto é, $P(T > t)$ para cada turno. Novamente comprova-se que o turno quarto turno (10:00 às 19:00), tem maiores probabilidades de tempo de manutenção maiores do que t , comparando-se com os outros turnos.

Figura 23 - Gráfico de funções de confiabilidade (distribuição Weibull-turno)



Fonte: Minitab® 16

4.5.3. Tipo de serviço

Nas Tabelas 18 a 21, os EMV dos parâmetros da distribuição de Weibull para cada tipo de serviço.

Tabela 18 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção – tipo serviço manutenção corretiva
ESTIMADORES DOS PARÂMETROS

PARAMETRO	ESTIMADOR	E.P.	I.C. 95% NORMAL	
			INFERIOR	SUPERIOR
FORMA	0,9424180	0,0062992	0,9301530	0,9548460
ESCALA	63,167600	0,646143	61,913800	64,446800
CARACTERISTICAS DA DISTRIBUIÇÃO				
	ESTIMADOR	E.P.	I.C. 95% NORMAL	
			INFERIOR	SUPERIOR
MÉDIA(MTTR)	64,8977	0,626308	63,6817	66,1369
DESVIO PADRÃO	68,8995	0,808868	67,3322	70,5032
MEDIANA	42,8148	0,486338	41,8722	43,7787
PRIMEIRO QUARTIL(Q1)	16,8402	0,262338	16,3338	17,3623
TERCEIRO QUARTIL (Q3)	89,3341	0,867414	87,6501	91,0505
AMPLITUDE INTERQUARTIL (IQR)	72,4939	0,708128	71,1192	73,8952

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

Tabela 19 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - tipo serviço serviços programados
ESTIMADORES DOS PARÂMETROS

PARAMETRO	ESTIMADOR	E.P.	I.C. 95% NORMAL	
			INFERIOR	SUPERIOR
FORMA	0,8926070	0,0062756	0,8803920	0,9049920
ESCALA	87,643100	0,997935	55,708900	89,621000
CARACTERISTICAS DA DISTRIBUIÇÃO				
	ESTIMADOR	E.P.	I.C. 95% NORMAL	
			INFERIOR	SUPERIOR
MÉDIA(MTTR)	92,6375	0,993507	90,7106	94,6054
DESVIO PADRÃO	103,9930	1,353980	101,3720	106,6810
MEDIANA	58,1290	0,735448	56,7052	59,5884
PRIMEIRO QUARTIL(Q1)	21,7035	0,376570	20,9779	22,4543
TERCEIRO QUARTIL (Q3)	126,3690	1,364440	123,7230	129,0720
AMPLITUDE INTERQUARTIL (IQR)	104,6650	1,130870	102,4720	106,9060

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

Tabela 20 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - tipo serviço inspeções
ESTIMADORES DOS PARÂMETROS

PARAMETRO	ESTIMADOR	E.P.	I.C. 95% NORMAL	
			INFERIOR	SUPERIOR
FORMA	0,7569180	0,0039886	0,7491400	0,7647760
ESCALA	7,6921100	0,0843078	7,5286300	7,8591400

CARACTERÍSTICAS DA DISTRIBUIÇÃO				
	ESTIMADOR	E.P.	I.C. 95% NORMAL	
			INFERIOR	SUPERIOR
MÉDIA(MTTR)	9,09018	0,0936868	8,90840	9,27567
DESVIO PADRÃO	12,17320	0,1470820	11,88830	12,46490
MEDIANA	4,73972	0,0572382	4,62885	4,85324
PRIMEIRO QUARTIL(Q1)	1,48317	0,0239440	1,43697	1,53084
TERCEIRO QUARTIL (Q3)	11,84290	0,1231830	11,60390	12,08680
AMPLITUDE INTERQUARTIL (IQR)	10,35970	0,1066510	10,15280	10,57090

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

O tipo de serviço analisado na Tabela 20 (Inspeções) tem um tempo médio extremamente baixo (9,09 minutos) em função da característica das inspeções realizadas, aonde a maioria faz o uso dos sentidos para preenchimento de *checklists*.

Tabela 21 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - tipo serviço lubrificação

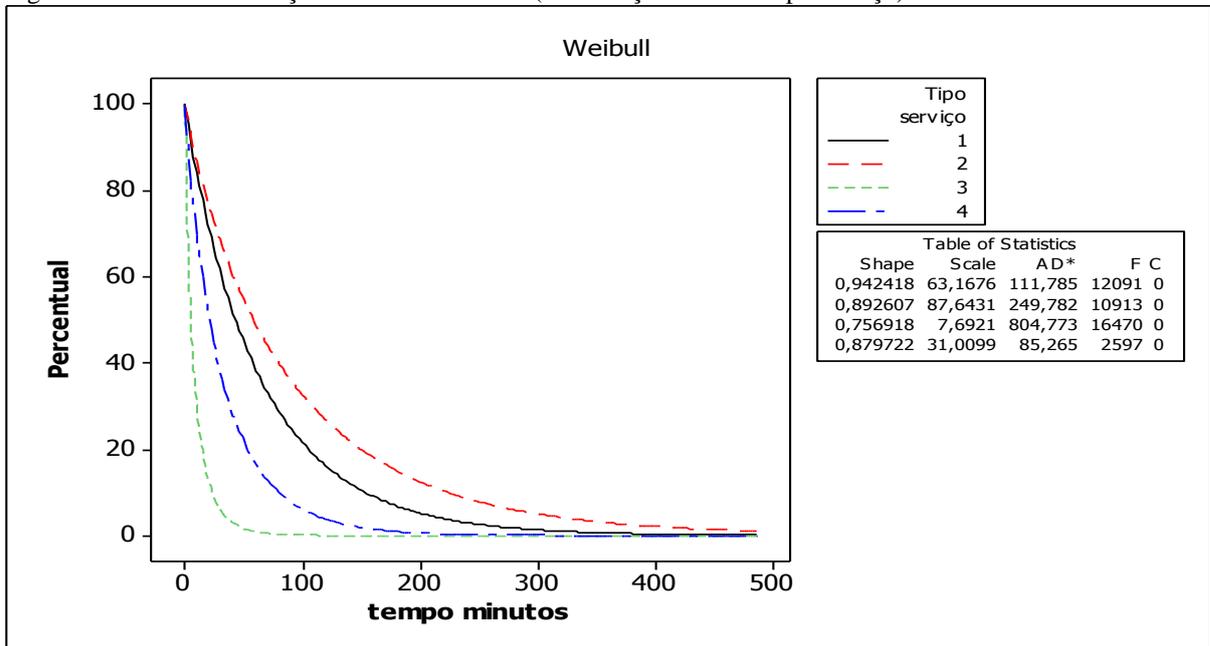
ESTIMADORES DOS PARÂMETROS				
PARAMETRO	ESTIMADOR	E.P.	I.C. 95% NORMAL	
			INFERIOR	SUPERIOR
FORMA	0,8797220	0,0123798	0,8557900	0,9043240
ESCALA	31,009900	0,735386	29,601600	32,485300

CARACTERÍSTICAS DA DISTRIBUIÇÃO				
	ESTIMADOR	E.P.	I.C. 95% NORMAL	
			INFERIOR	SUPERIOR
MÉDIA(MTTR)	33,04850	0,737177	31,63470	34,52530
DESVIO PADRÃO	37,66440	1,006800	35,74190	39,69030
MEDIANA	20,44390	0,537470	19,41720	21,52490
PRIMEIRO QUARTIL(Q1)	7,52376	0,269232	7,01416	8,07039
TERCEIRO QUARTIL (Q3)	44,95220	1,010720	43,01430	46,97750
AMPLITUDE INTERQUARTIL (IQR)	37,42850	0,839035	35,81960	39,10960

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

Dos resultados das Tabelas 18 a 21, comprova-se que o tempo maior médio de manutenção é dado para tipo serviço serviços programados (MTTR – 92,6375). Na Figura 24, constam os gráficos das confiabilidades, isto é, $P(T > t)$ para cada tipo de serviço. Novamente comprova-se que o tipo serviço serviços programados, tem maiores probabilidades de tempo de manutenção maiores do que t , comparando-se com os outros tipos de serviço.

Figura 24 - Gráfico de funções de confiabilidade (distribuição Weibull-tipo serviço)



Fonte: Minitab® 16

4.5.4. Ano

Nas Tabelas 22 a 25 , estão os EMV dos parâmetros da distribuição de Weibull para cada ano.

Tabela 22 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - ano 2012

ESTIMADORES DOS PARÂMETROS

PARAMETRO	ESTIMADOR	E.P.	I.C. 95% NORMAL	
			INFERIOR	SUPERIOR
FORMA	0,8761700	0,0439370	0,7941520	0,9666590
ESCALA	82,962700	6,843750	70,577400	97,521400

CARACTERÍSTICAS DA DISTRIBUIÇÃO				
			I.C. 95% NORMAL	
	ESTIMADOR	E.P.	INFERIOR	SUPERIOR
MÉDIA (MTTR)	88,6240	6,86690	76,1372	103,1590
DESVIO PADRÃO	101,4290	9,53364	84,3639	121,9470
MEDIANA	54,6024	5,01423	45,6084	65,3701
PRIMEIRO QUARTIL(Q1)	20,0135	2,52587	15,6277	25,6302
TERCEIRO QUARTIL (Q3)	120,4440	9,40359	103,3550	140,3600
AMPLITUDE INTERQUARTIL (IQR)	100,4310	7,82588	86,2064	117,0030

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

Tabela 23 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - ano 2013

ESTIMADORES DOS PARÂMETROS				
			I.C. 95% NORMAL	
PARAMETRO	ESTIMADOR	E.P.	INFERIOR	SUPERIOR
FORMA	0,6978960	0,0041858	0,6897400	0,7061480
ESCALA	41,822900	0,504086	40,846500	42,822600

CARACTERÍSTICAS DA DISTRIBUIÇÃO				
			I.C. 95% NORMAL	
	ESTIMADOR	E.P.	INFERIOR	SUPERIOR
MÉDIA (MTTR)	53,09310	0,612016	51,90700	54,30630
DESVIO PADRÃO	77,91340	1,116050	75,75640	80,13190
MEDIANA	24,73640	0,331970	24,09420	25,39570
PRIMEIRO QUARTIL(Q1)	7,01620	0,130245	6,76551	7,27618
TERCEIRO QUARTIL (Q3)	66,78450	0,764239	65,30330	68,29930
AMPLITUDE INTERQUARTIL (IQR)	59,76830	0,681009	58,44830	61,11810

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

Tabela 24 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - ano 2014

ESTIMADORES DOS PARÂMETROS				
			I.C. 95% NORMAL	
PARAMETRO	ESTIMADOR	E.P.	INFERIOR	SUPERIOR
FORMA	0,6260850	0,0044313	0,6174600	0,6348310
ESCALA	32,601300	0,523225	31,591700	33,643100

CARACTERÍSTICAS DA DISTRIBUIÇÃO				
			I.C. 95% NORMAL	
	ESTIMADOR	E.P.	INFERIOR	SUPERIOR
MÉDIA (MTTR)	46,51070	0,718747	45,12310	47,94090
DESVIO PADRÃO	77,59630	1,486060	74,73760	80,56420
MEDIANA	18,15500	0,324278	17,53050	18,80190
PRIMEIRO QUARTIL(Q1)	4,45652	0,109753	4,24652	4,67691
TERCEIRO QUARTIL (Q3)	54,93000	0,836196	53,31530	56,59370
AMPLITUDE INTERQUARTIL (IQR)	50,47350	0,763825	48,99840	51,99300

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

Tabela 25 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - ano 2015

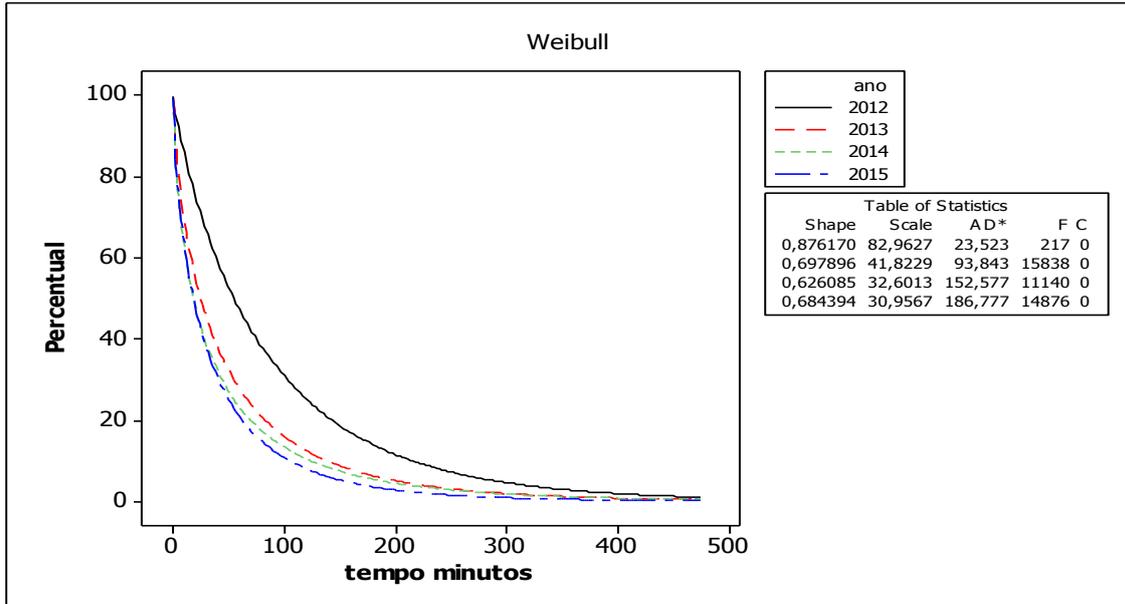
ESTIMADORES DOS PARÂMETROS				
			I.C. 95% NORMAL	
PARAMETRO	ESTIMADOR	E.P.	INFERIOR	SUPERIOR
FORMA	0,6843940	0,0041032	0,6763990	0,6924840
ESCALA	30,956700	0,393488	30,195000	31,737600

CARACTERÍSTICAS DA DISTRIBUIÇÃO				
			I.C. 95% NORMAL	
	ESTIMADOR	E.P.	INFERIOR	SUPERIOR
MÉDIA (MTTR)	40,05790	0,4849370	39,11860	41,01970
DESVIO PADRÃO	60,12540	0,8901180	58,40580	61,89550
MEDIANA	18,12080	0,2557260	17,62650	18,62900
PRIMEIRO QUARTIL(Q1)	5,01358	0,0968831	4,82724	5,20710
TERCEIRO QUARTIL (Q3)	49,89150	0,6016860	48,72610	51,08480
AMPLITUDE INTERQUARTIL (IQR)	44,87790	0,5376730	43,83640	45,94420

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

Dos resultados das Tabelas 22 a 25, comprova-se que o tempo maior médio de manutenção é dado para o ano 2012 (MTTR – 88,6240). Na Figura 25, os gráficos das confiabilidades, isto é, $P(T > t)$ para cada ano. Novamente comprova-se que o ano 2012, tem maiores probabilidades de tempo de manutenção maiores do que t , comparando-se com os outros anos.

Figura 25 - Gráfico de funções de confiabilidade (distribuição Weibull- anos)



Fonte: Minitab® 16

4.5.5. Oficina de serviço

Nas Tabelas 26 a 28 , os EMV dos parâmetros da distribuição de Weibull para cada ano são demonstrados.

Tabela 26 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - oficina de serviço eletroeletrônica

ESTIMADORES DOS PARÂMETROS				
PARAMETRO	ESTIMADOR	E.P.	I.C. 95% NORMAL	
			INFERIOR	SUPERIOR
FORMA	0,7343190	0,0042982	0,7259420	0,7427920
ESCALA	24,930900	0,290118	24,368700	25,506100
CARACTERISTICAS DA DISTRIBUIÇÃO				
	ESTIMADOR	E.P.	I.C. 95% NORMAL	
			INFERIOR	SUPERIOR
MÉDIA (MTTR)	30,21720	0,3335430	29,57050	30,87800
DESVIO PADRÃO	41,85530	0,5621810	40,76780	42,97180
MEDIANA	15,13470	0,1953220	14,75670	15,52240
PRIMEIRO QUARTIL(Q1)	4,56964	0,0805707	4,41443	4,73032
TERCEIRO QUARTIL (Q3)	38,89720	0,4297280	38,06400	39,74860
AMPLITUDE INTERQUARTIL (IQR)	34,32750	0,3770060	33,59650	35,07450

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

Tabela 27 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - oficina de serviço mecânico de máquinas de embalagem

ESTIMADORES DOS PARÂMETROS

PARAMETRO	ESTIMADOR	E.P.	I.C. 95% NORMAL	
			INFERIOR	SUPERIOR
FORMA	0,8777240	0,0061048	0,8658400	0,8897710
ESCALA	65,707600	0,749285	64,255300	67,192700

CARACTERISTICAS DA DISTRIBUIÇÃO

	ESTIMADOR	E.P.	I.C. 95% NORMAL	
			INFERIOR	SUPERIOR
MÉDIA (MTTR)	70,1191	0,754783	68,6553	71,6142
DESVIO PADRÃO	80,1025	1,051360	78,0682	82,1899
MEDIANA	43,2779	0,548087	42,2169	44,3656
PRIMEIRO QUARTIL(Q1)	15,8909	0,276157	15,3588	16,4415
TERCEIRO QUARTIL (Q3)	95,3307	1,032060	93,3292	97,3751
AMPLITUDE INTERQUARTIL (IQR)	79,4398	0,861157	77,7697	81,1457

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

Tabela 28 - Distribuição Weibull (EMV) para os tempos de manutenção - oficina de serviço mecânico geral

ESTIMADORES DOS PARÂMETROS

PARAMETRO	ESTIMADOR	E.P.	I.C. 95% NORMAL	
			INFERIOR	SUPERIOR
FORMA	0,5716620	0,0034169	0,5650040	0,5783990
ESCALA	29,063800	0,434161	28,225200	29,927300

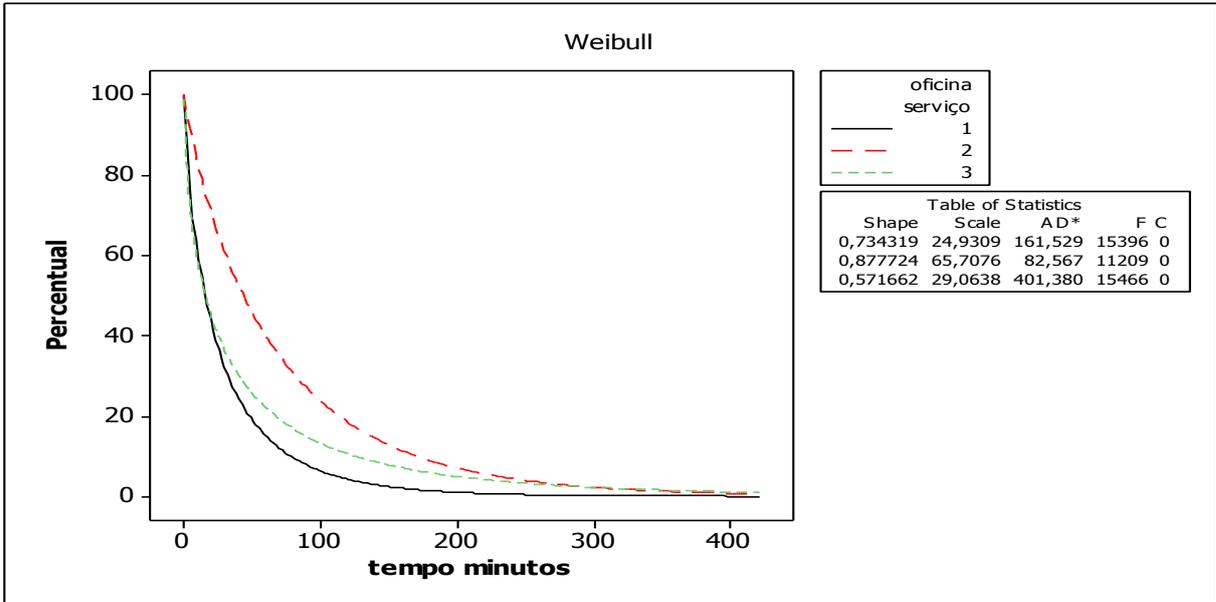
CARACTERISTICAS DA DISTRIBUIÇÃO

	ESTIMADOR	E.P.	I.C. 95% NORMAL	
			INFERIOR	SUPERIOR
MÉDIA (MTTR)	46,71770	0,6775010	45,40850	48,06460
DESVIO PADRÃO	87,31170	1,5695800	84,28890	90,44280
MEDIANA	15,30770	0,2544870	14,81700	15,81470
PRIMEIRO QUARTIL(Q1)	3,28728	0,0752406	3,14307	3,43811
TERCEIRO QUARTIL (Q3)	51,46330	0,7286370	50,05490	52,91140
AMPLITUDE INTERQUARTIL (IQR)	48,17610	0,6780610	46,86520	49,52350

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

Dos resultados das Tabelas 26 a 28, comprova-se que o tempo maior médio de manutenção é dado para a oficina de serviço oficina mecânica de máquinas de embalagem (MTTR – 70,1191). Na Figura 26, estão os gráficos das confiabilidades, isto é, $P(T > t)$ para cada oficina de serviço. Novamente comprova-se que a oficina de serviço oficina mecânica de máquinas de embalagem, tem maiores probabilidades de tempo de manutenção maiores do que t , comparando-se com as outras oficinas de serviço.

Figura 26 - Gráfico de funções de confiabilidade (distribuição Weibull- oficina de serviço)

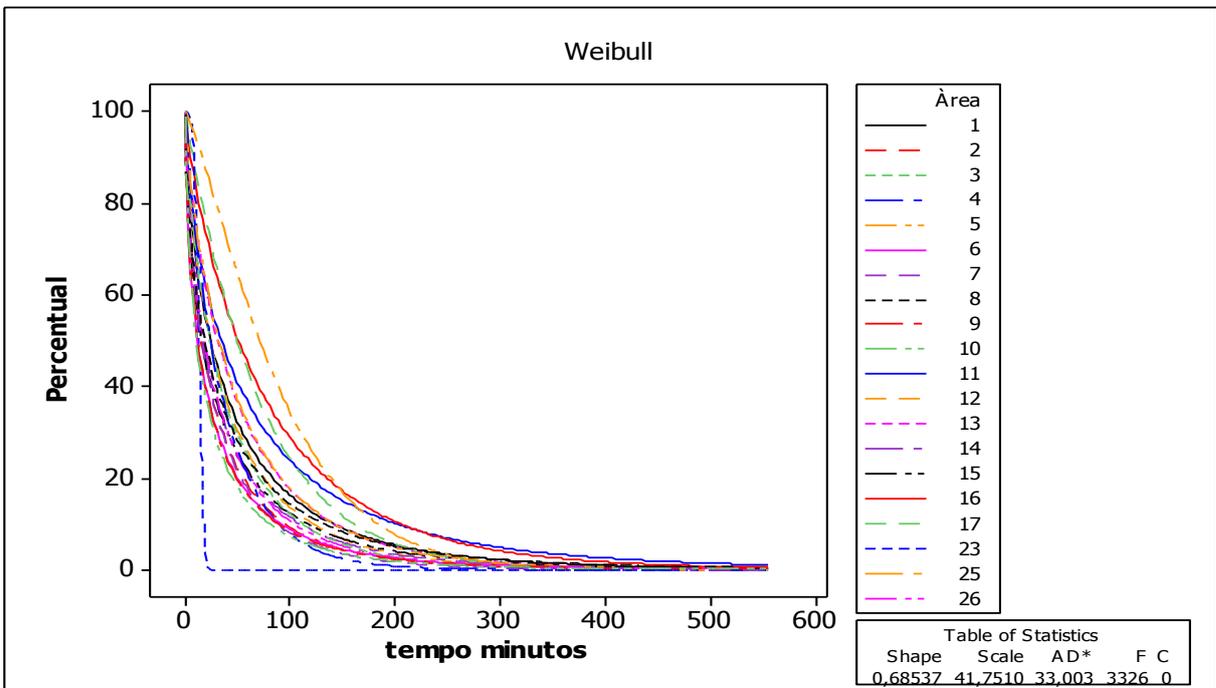


Fonte: Minitab® 16

4.5.6. Áreas

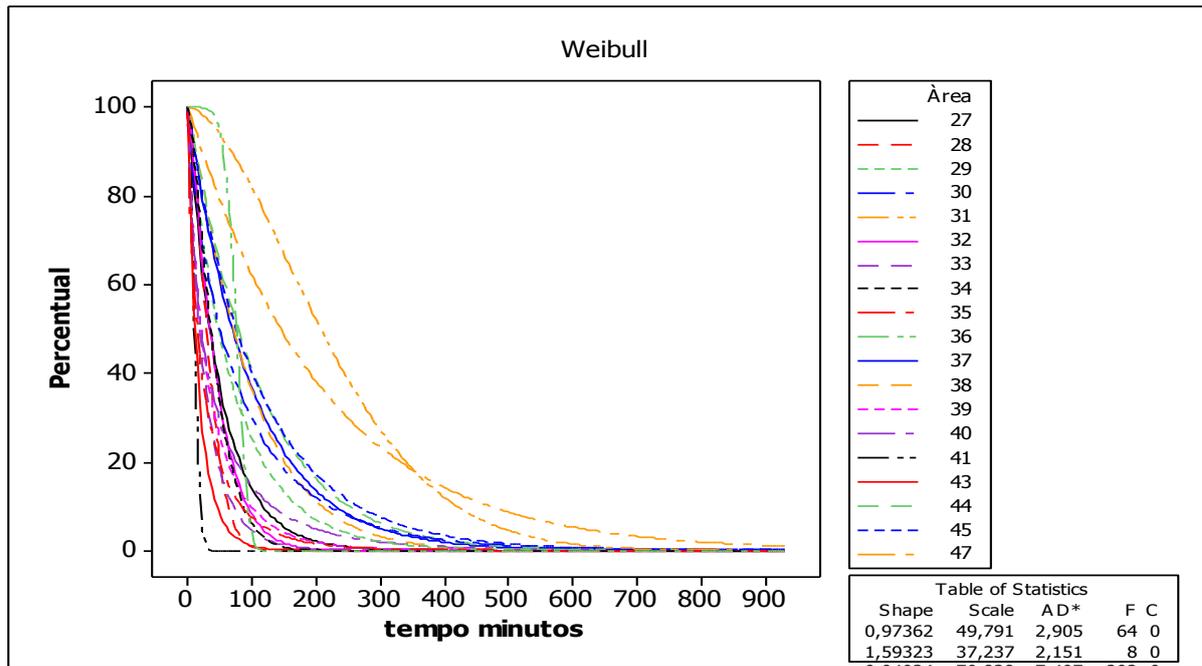
Nas Figuras 27 e 28, constam os gráficos das confiabilidades, isto é, $P(T > t)$ para cada área.

Figura 27 - Gráfico de funções de confiabilidade (distribuição Weibull- áreas primeira parte)



Fonte: Minitab® 16

Figura 28 - Gráfico de funções de confiabilidade (distribuição Weibull- áreas segunda parte)



Fonte: Minitab® 16

Também poderia ser considerado uma distribuição log-normal na determinação das confiabilidades (ver apêndice A1), onde os resultados obtidos são similares aos obtidos usando uma distribuição de Weibull.

5. INFLUÊNCIA DE FATORES DA EMPRESA, PESSOAIS DE CADA FUNCIONÁRIO DE MANUTENÇÃO E RELACIONADAS À AUTONOMIA NOS TEMPOS DE MANUTENÇÃO

Neste capítulo, apresenta-se um estudo relacionando os tempos de manutenção com covariáveis relacionadas a fatores da indústria, fatores pessoais e também covariáveis relacionadas à avaliação da autonomia de cada técnico de manutenção. O objetivo principal desse capítulo, é verificar se funcionários que sentem maior autonomia para realização do trabalho leva a tempos menores de manutenção. Para isso, considera-se um banco de dados da empresa, relacionado a 12.327 relatórios de serviço (tempos de manutenção) relativos ao ano de 2012; desse banco de dados considera-se, $n = 10.751$ observações (muitas observações perdidas foram deletadas) - dados para o ano de 2012. A seguir, descreve-se as variáveis consideradas neste capítulo.

5.1. Descrição das variáveis

- **Variável resposta:** tempo de manutenção em minutos

- **Covariáveis relacionadas a fatores da indústria ou pessoais de cada funcionário:**
 - (1) Função
 - (2) Turno
 - (3) Área
 - (4) Tipo de serviço
 - (5) Característica principal do serviço
 - (6) Oficina do serviço
 - (7) Idade do funcionário (em anos)
 - (8) Tempo de atividade (em anos)
 - (9) Tempo de empresa (em anos)

- **Covariáveis relacionadas a autoavaliação de cada funcionário em relação à autonomia:**

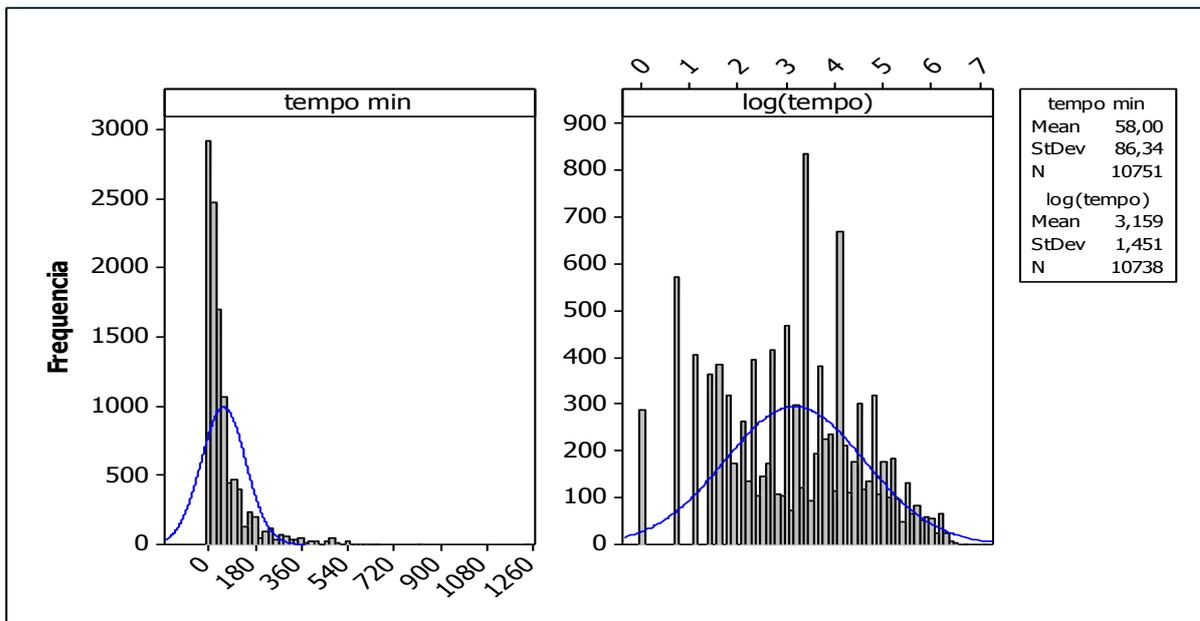
Essas covariáveis são respostas a quatro questões autoavaliando a visão de autonomia de cada funcionário da manutenção . Essas covariáveis são medidas em uma escala de 0 a 10, onde 10 representa o melhor escore possível.

- (10) Executo meu trabalho de forma independente dos outros (escore de 0 a 10)
- (11) Tenho liberdade para fazer praticamente tudo o que quero no meu trabalho (escore de 0 a 10)
- (12) Orgulho-me de executar o meu trabalho o melhor que consigo (escore de 0 a 10)
- (13) Tento pensar em diversas maneiras de fazer o meu trabalho de forma eficiente e eficaz (escore de 0 a 10)

5.2. Análise descritiva dos dados relacionados aos fatores categóricos

Na Figura 29, tem-se os histogramas dos dados (tempos de manutenção em minutos) na escala original e na escala logarítmica. Observa-se melhor normalidade para os dados transformados ($\log(\text{tempo})$).

Figura 29 - Histogramas para os dados (escala original e escala logarítmica)



Fonte: Minitab® 16

A seguir, apresenta-se análises descritivas considerando-se os tempos de manutenção relacionados a cada fator categórico incluindo os fatores relacionados à autoavaliação sobre autonomia.

- **Função**

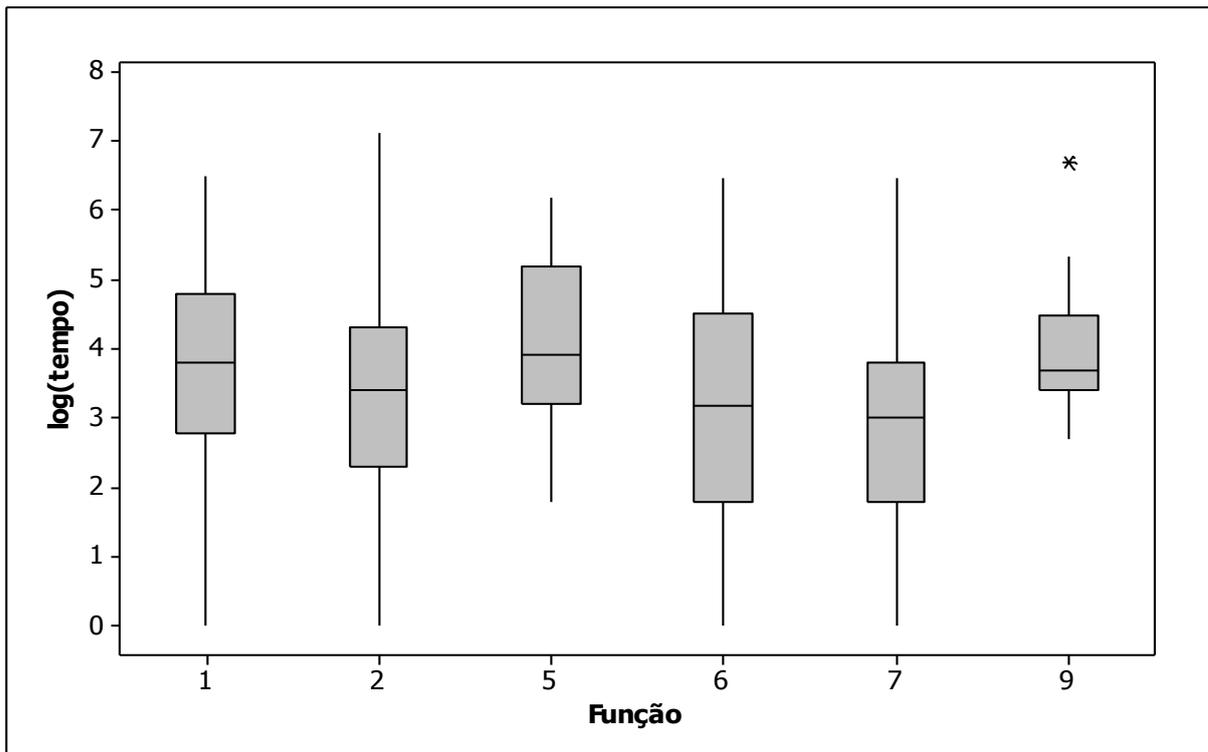
Na Tabela 29 apresenta-se as estatísticas descritivas dos tempos de manutenção (escala logarítmica) relacionada ao fator função e na Figura 30, são apresentados os respectivos *box-plots*. Desses resultados, observa-se que aparentemente há diferenças entre os tempos de manutenção para os diferentes níveis do fator.

Tabela 29 - Estatísticas descritivas para os tempos de manutenção na escala logarítmica (função)

VARIÁVEL	FUNÇÃO			
		N	MEDIA	DP
log (tempo)	1	1284	3,7029	1,3372
	2	2436	3,3468	1,3281
	5	356	4,0783	1,1325
	6	2488	3,0482	1,6425
	7	4130	2,8583	1,3587
	9	44	3,9900	0,8550

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

Figura 30 - *Box-plot* para tempos de manutenção na escala logarítmica (função)



Fonte: Minitab® 16

- **Turno**

Na Tabela 30, apresenta-se as estatísticas descritivas dos tempos de manutenção (escala logarítmica) relacionada ao fator turno e na Figura 31, são apresentados os respectivos

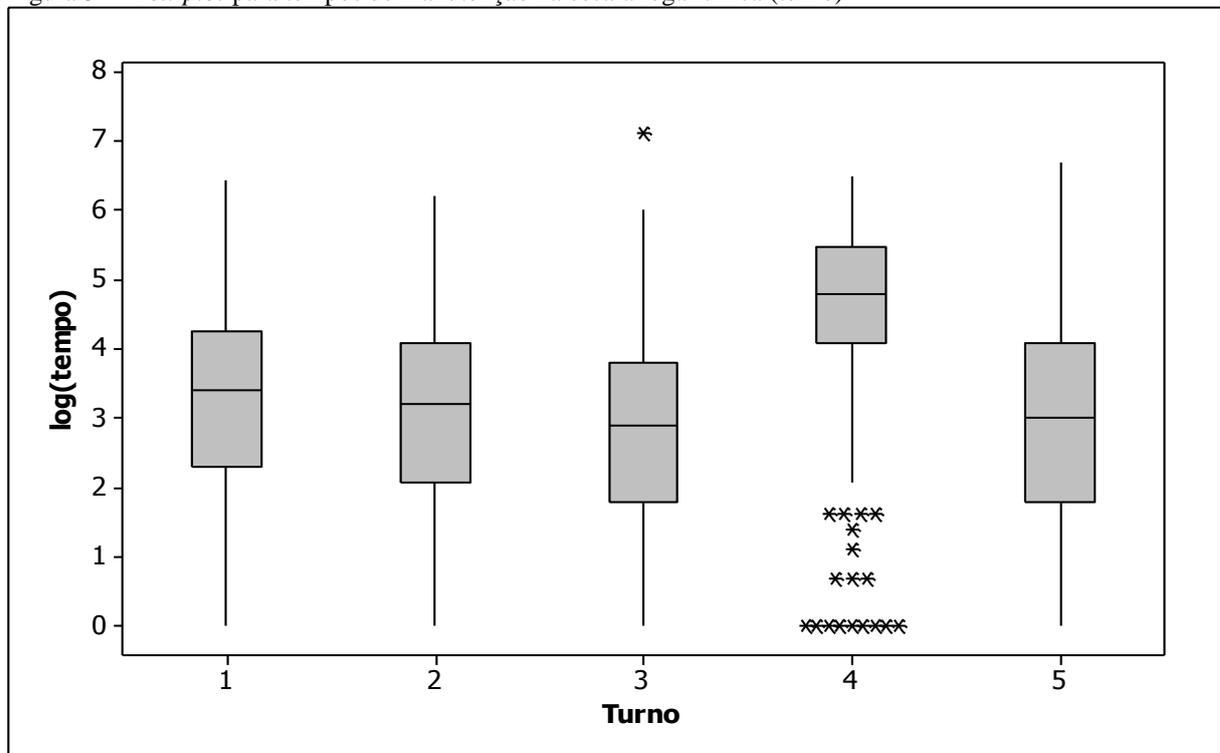
box-plots. Desses resultados, observa-se que aparentemente há diferenças entre os tempos de manutenção para os diferentes níveis do fator.

Tabela 30 - Estatísticas descritivas para os tempos de manutenção na escala logarítmica (turno)

VARIÁVEL	TURNO			
		N	MEDIA	DP
log (tempo)	1	3382	3,3268	1,3515
	2	2860	3,0025	1,3623
	3	1299	2,8084	1,3583
	4	684	4,6124	1,1939
	5	2513	2,8978	1,5218

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

Figura 31 - *Box-plot* para tempos de manutenção na escala logarítmica (turno)



Fonte: Minitab® 16

- **Área**

Na Tabela 31, apresenta-se as estatísticas descritivas dos tempos de manutenção (escala logarítmica) relacionada ao fator área e na Figura 32, são apresentados os respectivos

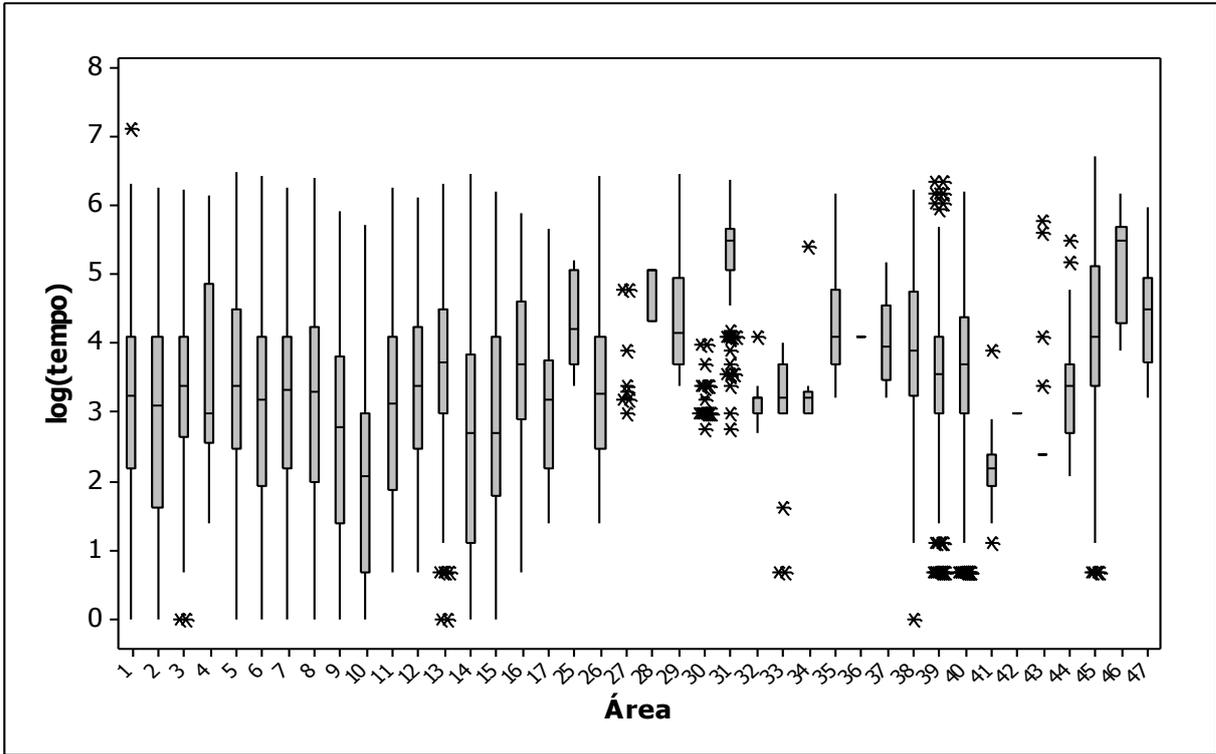
box-plots. Desses resultados, observa-se que aparentemente há diferenças entre os tempos de manutenção para os diferentes níveis do fator.

Tabela 31 - Estatísticas descritivas para os tempos de manutenção na escala logarítmica (área)

VARIÁVEL log (tempo)	ÁREA			
		N	MEDIA	DP
	1	743	3,1879	1,3922
	2	783	2,9368	1,5902
	3	293	3,3464	1,2067
	4	32	3,6590	1,3680
	5	1040	3,4334	1,3748
	6	875	3,0839	1,4012
	7	1068	3,2007	1,3626
	8	848	3,0591	1,5199
	9	436	2,6782	1,4612
	10	287	2,0451	1,4385
	11	149	3,0740	1,2410
	12	189	3,3533	1,3597
	13	355	3,7077	1,1637
	14	1210	2,6347	1,5347
	15	489	2,7386	1,5113
	16	127	3,7300	1,1970
	17	41	3,1340	1,0700
	25	8	4,2950	0,7000
	26	192	3,3034	1,2787
	27	28	3,3540	0,4296
	28	3	4,8230	0,4370
	29	46	4,3890	0,7510
	30	46	3,2290	0,2178
	31	71	5,1660	0,8395
	32	30	3,1712	0,2326
	33	15	2,9190	1,0600
	34	13	3,3470	0,6380
	35	19	4,3660	0,8340
	36	1	4,0943	*
	37	8	4,0250	0,6580
	38	245	3,9162	1,1447
	39	348	3,5576	1,1423
	40	287	3,6329	1,1981
	41	51	2,1821	0,4808
	42	1	2,9957	*
	43	37	2,6480	0,8020
	44	34	3,3040	0,8520
	45	261	4,1621	1,2089
	46	13	5,0600	0,8150
	47	16	4,4500	0,7530

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

Figura 32 - *Box-plot* para tempos de manutenção na escala logarítmica (área)



Fonte: Minitab® 16

- **Tipo serviço**

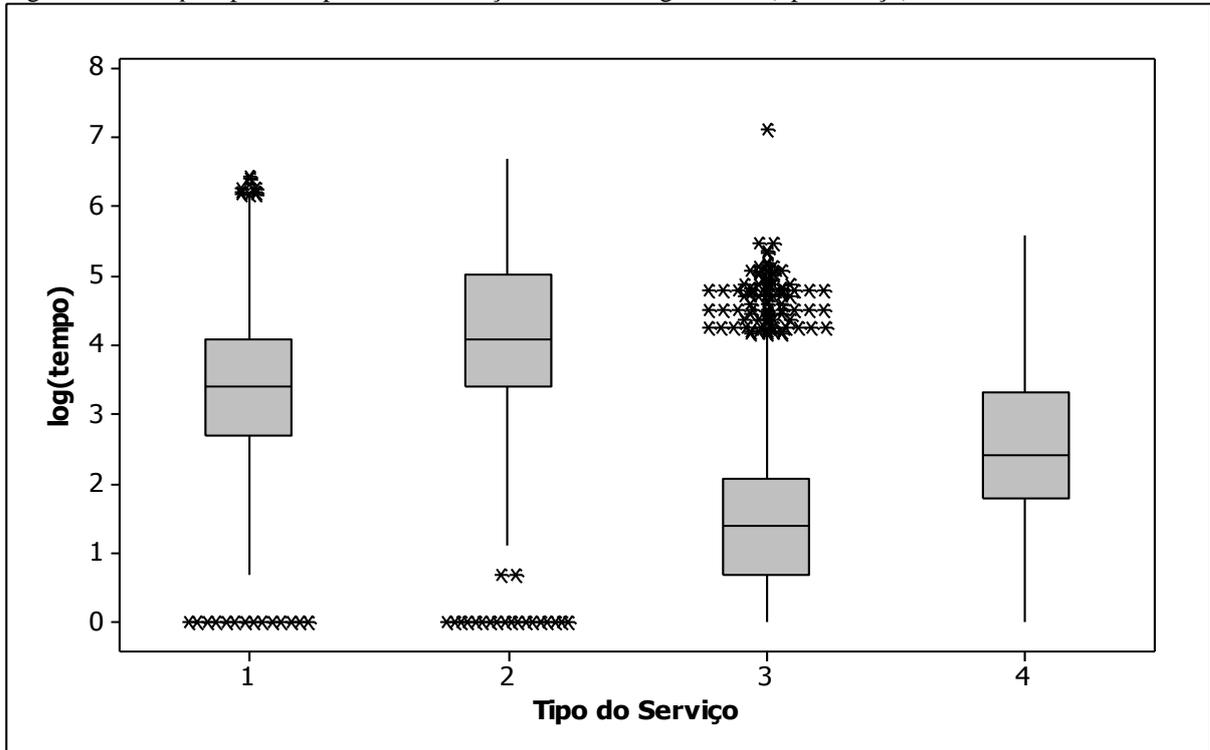
Na Tabela 32, apresenta-se as estatísticas descritivas dos tempos de manutenção (escala logarítmica) relacionada ao tipo de serviço e na Figura 33, são apresentados os respectivos *box-plots*. Desses resultados, observa-se que aparentemente há diferenças entre os tempos de manutenção para os diferentes níveis do fator.

Tabela 32 - Estatísticas descritivas para os tempos de manutenção na escala logarítmica (tipo serviço)

VARIÁVEL	TIPO DO SERVIÇO			
		N	MEDIA	DP
log (tempo)	1	4664	3,3737	1,1445
	2	3016	4,1549	1,0867
	3	2195	1,5620	1,1669
	4	863	2,5827	0,9999

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

Figura 33 - *Box-plot* para tempos de manutenção na escala logarítmica (tipo serviço)



Fonte: Minitab® 16

- **Característica principal do serviço**

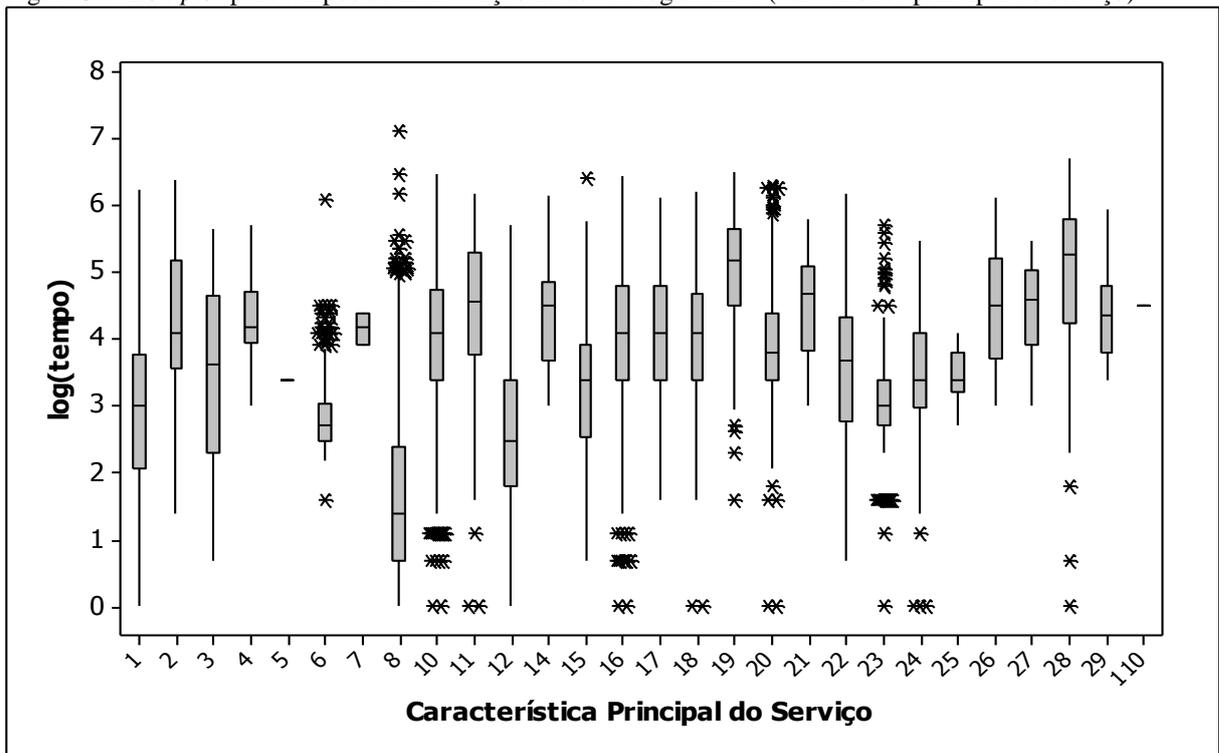
Na Tabela 33, apresenta-se as estatísticas descritivas dos tempos de manutenção (escala logarítmica) relacionada ao característica principal de serviço e na Figura 34, são apresentados os respectivos *box-plots*. Desses resultados, observa-se que aparentemente há diferenças entre os tempos de manutenção para os diferentes níveis do fator.

Tabela 33 - Estatísticas descritivas para tempos de manutenção na escala logarítmica (característica principal de serviço)

VARIÁVEL	CARACTERÍSTICA PRINCIPAL DO SERVIÇO			
		N	MEDIA	DP
log (tempo)	1	1882	2,9347	1,1527
	2	136	4,2706	0,9516
	3	44	3,4500	1,3200
	4	17	4,3380	0,7030
	5	2	3,4012	0,0000
	6	400	2,8751	0,5518
	7	3	4,1560	0,2360
	8	2365	1,6957	1,2344
	10	2079	3,9955	1,0360
	11	106	4,4270	1,2400
	12	944	2,6976	1,0668
	14	84	4,3921	0,7659
	15	142	3,2825	1,0542
	16	767	4,0287	1,0896
	17	199	4,1291	0,9321
	18	94	4,0380	1,0810
	19	300	5,0078	0,8651
	20	439	3,8669	0,9114
	21	56	4,5020	0,7480
	22	125	3,5930	1,1750
	23	203	3,0792	0,7982
	24	153	3,3837	1,0826
	25	9	3,4620	0,4270
	26	64	4,5530	0,8710
	27	10	4,4830	0,7490
	28	90	4,3940	0,7430

Fonte: adaptado do software Minitab® 16

Figura 34 - Box-plot para tempos de manutenção na escala logarítmica (caraterística principal do serviço)



Fonte: Minitab® 16

- **Oficina do serviço**

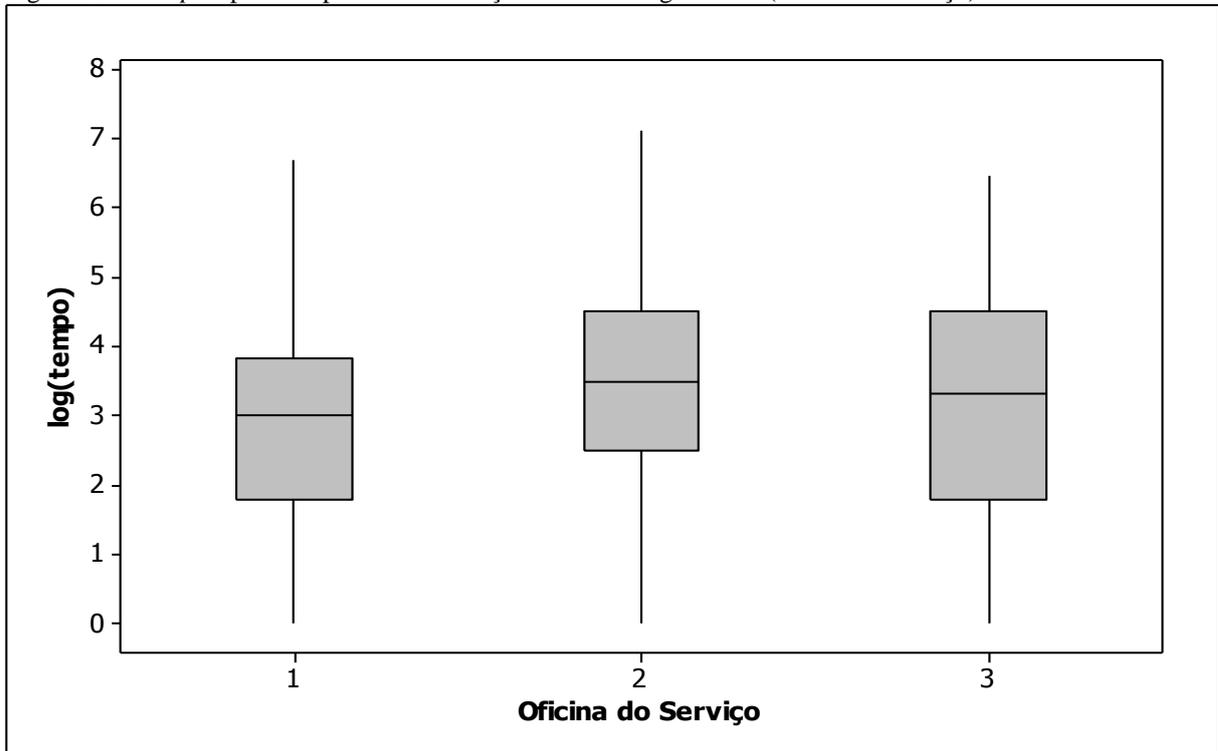
Na Tabela 34, apresenta-se as estatísticas descritivas dos tempos de manutenção (escala logarítmica) relacionada a oficina de serviço e na Figura 35, são apresentados os respectivos *box-plots*. Desses resultados, observa-se que aparentemente há diferenças entre os tempos de manutenção para os diferentes níveis do fator.

Tabela 34 - Estatísticas descritivas para os tempos de manutenção na escala logarítmica (oficina do serviço)

VARIÁVEL	OFICINA SERVIÇO			
		N	MEDIA	DP
log (tempo)	1	4194	2,8723	1,3582
	2	3693	3,4698	1,3444
	3	2851	3,1789	1,6220

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

Figura 35 - *Box-plot* para tempos de manutenção na escala logarítmica (oficina do serviço)



Fonte: Minitab® 16

- **Primeira covariável relacionada à autoavaliação da autonomia :** executo meu trabalho de forma independente dos outros

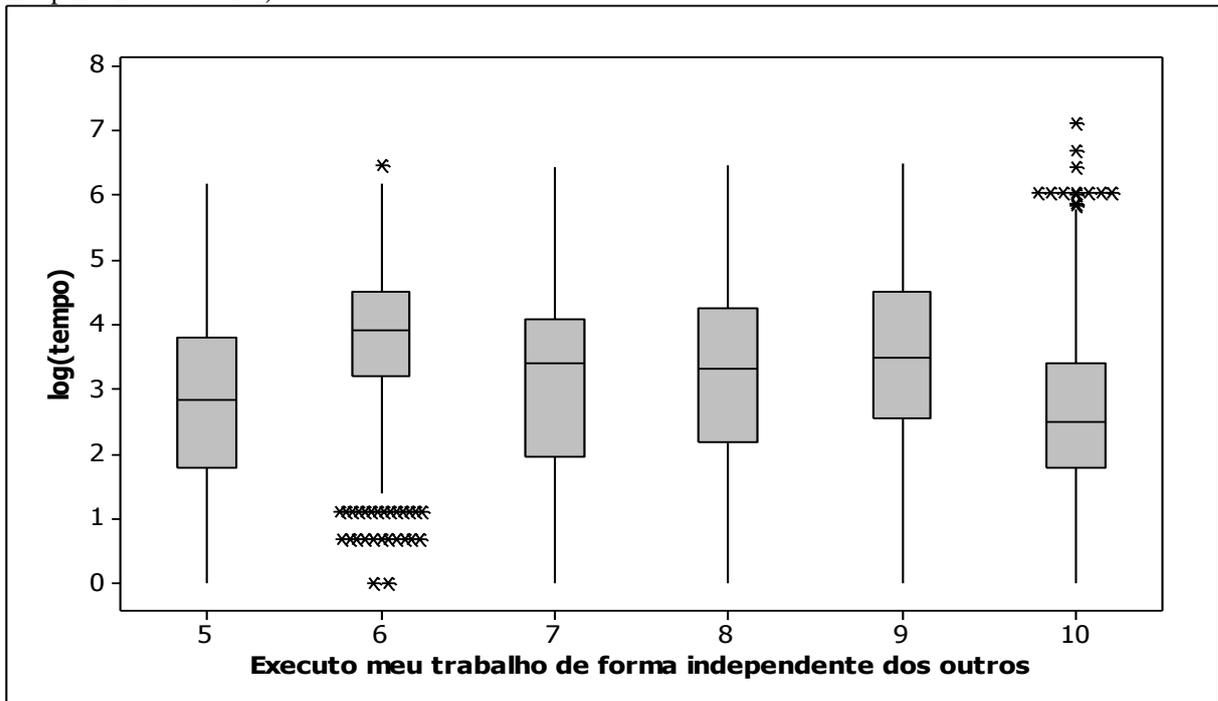
Na Tabela 35, apresenta-se as estatísticas descritivas dos tempos de manutenção (escala logarítmica) relacionada à primeira autoavaliação de autonomia e na Figura 36, são apresentados os respectivos *box-plots*. Desses resultados, observa-se que aparentemente há diferenças entre os tempos de manutenção para os diferentes níveis do fator.

Tabela 35 - Estatísticas descritivas para os tempos de manutenção na escala logarítmica (executo meu trabalho de forma independente dos outros)

VARIÁVEL	EXECUTO MEU TRABALHO DE FORMA INDEPENDENTE DOS OUTROS			
		N	MEDIA	DP
log (tempo)	5	887	2,8301	1,3595
	6	695	3,7588	1,2150
	7	2851	3,1169	1,4472
	8	3614	3,1527	1,4965
	9	1542	3,4803	1,4977
	10	1149	2,7451	1,2249

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

Figura 36 - *Box-plot* para tempos de manutenção na escala logarítmica (executo meu trabalho de forma independente dos outros)



Fonte: Minitab® 16

- **Segunda covariável relacionada à autoavaliação da autonomia** : tenho liberdade para fazer praticamente tudo o que quero no meu trabalho

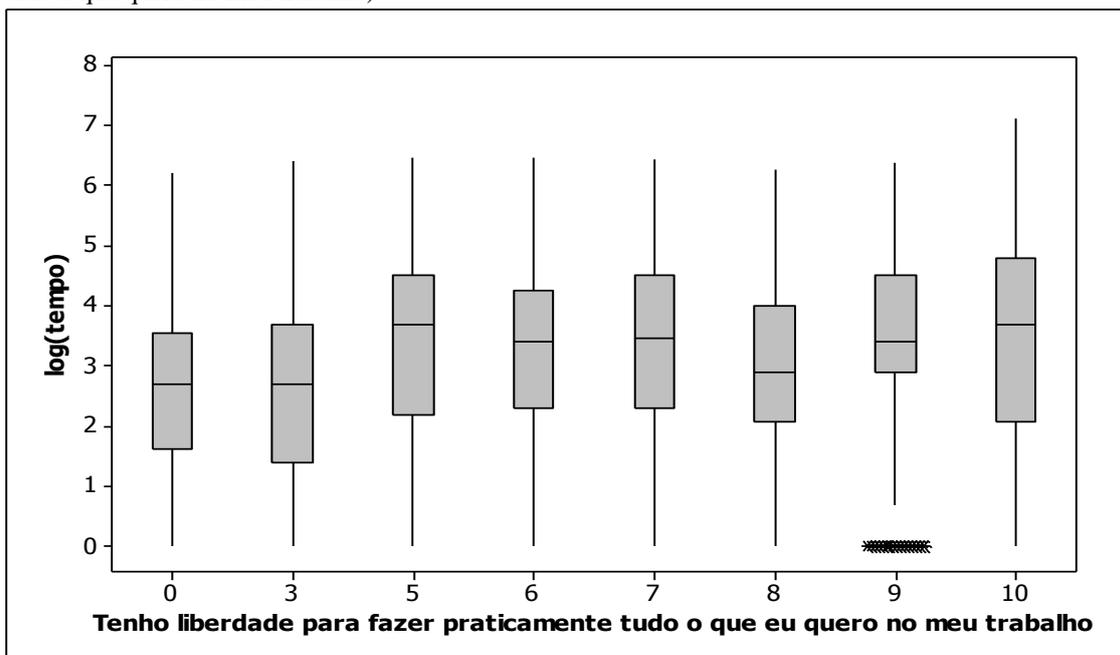
Na Tabela 36, apresenta-se as estatísticas descritivas dos tempos de manutenção (escala logarítmica) relacionada à segunda autoavaliação de autonomia e na Figura 37, são apresentados os respectivos *box-plots*. Desses resultados, observa-se que aparentemente há diferenças entre os tempos de manutenção para os diferentes níveis do fator.

Tabela 36 - Estatísticas descritivas para os tempos de manutenção na escala logarítmica (tenho liberdade para fazer praticamente tudo o que quero no meu trabalho)

VARIÁVEL	TENHO LIBERDADE PARA FAZER PRATICAMENTE TUDO O QUE QUERO NO MEU TRABALHO	N	MEDIA	DP
log (tempo)	0	1147	2,5981	1,3598
	3	616	2,6940	1,3865
	5	1689	3,3218	1,5584
	6	1763	3,2885	1,3472
	7	1371	3,4189	1,4741
	8	2633	2,9871	1,3339
	9	936	3,5450	1,3653
	10	583	3,4396	1,7007

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

Figura 37 - *Box-plot* para tempos de manutenção na escala logarítmica (tenho liberdade para fazer praticamente tudo o que quero no meu trabalho)



Fonte: Minitab® 16

- **Terceira covariável relacionada à autoavaliação da autonomia) : orgulho-me de executar meu trabalho o melhor que consigo**

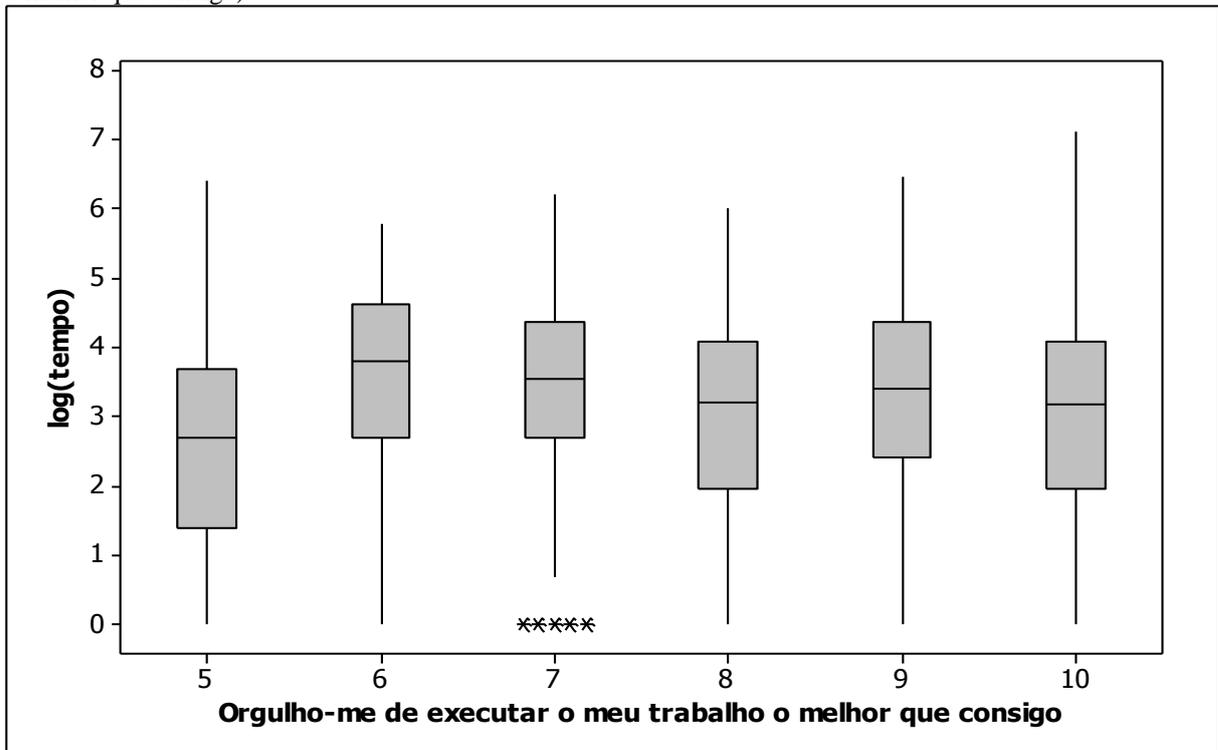
Na Tabela 37, apresenta-se as estatísticas descritivas dos tempos de manutenção (escala logarítmica) relacionada à terceira autoavaliação de autonomia e na Figura 38, são apresentados os respectivos *box-plots*. Desses resultados, observa-se que aparentemente há diferenças entre os tempos de manutenção para os diferentes níveis do fator.

Tabela 37 - Estatísticas descritivas para tempos de manutenção na escala logarítmica (orgulho-me de executar o meu trabalho o melhor que consigo)

	ORGULHO-ME DE EXECUTAR O MEU TRABALHO O MELHOR QUE CONSIGO			
VARIÁVEL		N	MEDIA	DP
log (tempo)	5	616	2,6940	1,3865
	6	137	3,5750	1,2760
	7	596	3,4188	1,2803
	8	1400	3,0433	1,3953
	9	3024	3,3532	1,4735
	10	4965	3,0887	1,4605

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

Figura 38 - *Box-plots* para tempos de manutenção na escala logarítmica (orgulho-me de executar o meu trabalho o melhor que consigo)



Fonte: Minitab® 16

- **Quarta covariável relacionada à autoavaliação da autonomia** : tento pensar em diversas maneiras de fazer o meu trabalho de forma eficiente e eficaz

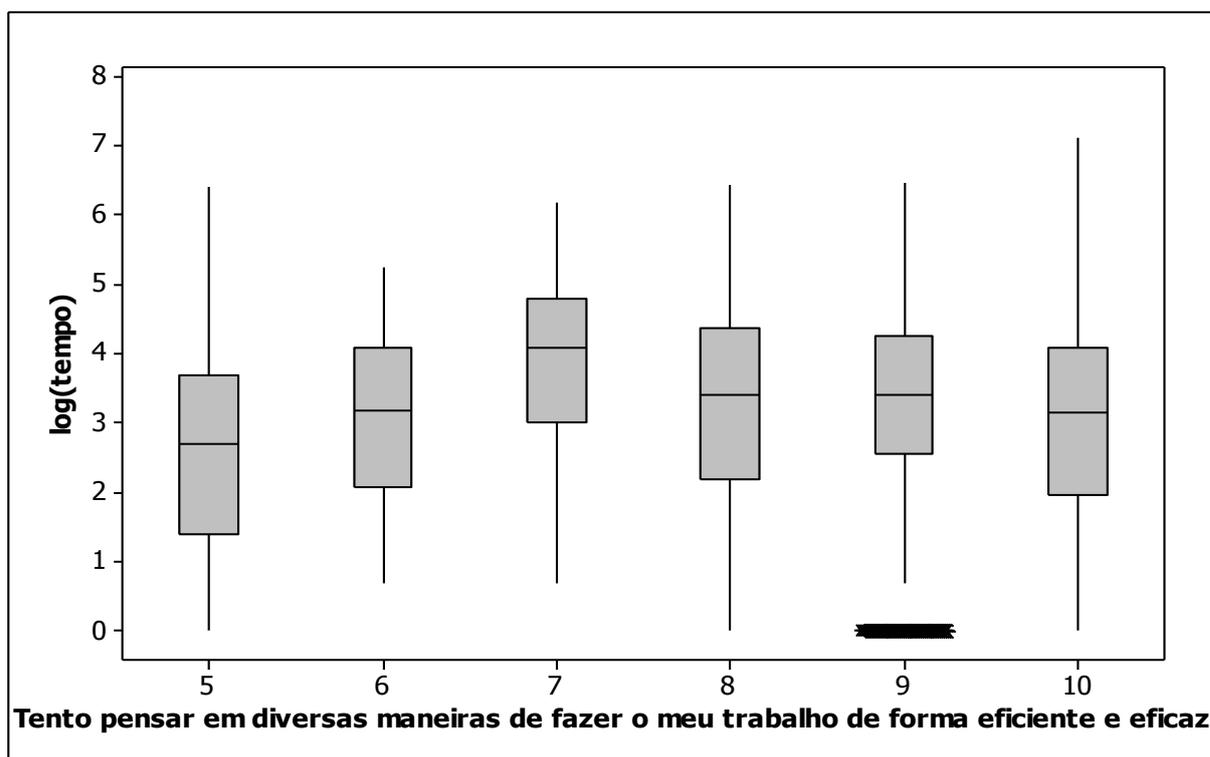
Na Tabela 38, apresenta-se as estatísticas descritivas dos tempos de manutenção (escala logarítmica) relacionada à quarta autoavaliação de autonomia e na Figura 39, são apresentados os respectivos *box-plots*. Desses resultados, observa-se que aparentemente há diferenças entre os tempos de manutenção para os diferentes níveis do fator.

Tabela 38 - Estatísticas descritivas para os tempos de manutenção na escala logarítmica (tento pensar em diversas maneiras de fazer o meu trabalho de forma eficiente e eficaz)

	TENTO PENSAR EM DIVERSAS MANEIRAS DE FAZER O MEU TRABALHO DE FORMA EFICIENTE E EFICAZ			
VARIÁVEL		N	MEDIA	DP
log (tempo)	5	616	2,6940	1,3865
	6	157	3,0627	1,2228
	7	171	3,7190	1,5400
	8	1833	3,2500	1,4635
	9	2808	3,3838	1,3450
	10	5153	3,0445	1,4859

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

Figura 39 - *Box-plot* para tempos de manutenção na escala logarítmica (tento pensar em diversas maneiras de fazer o meu trabalho de forma eficiente e eficaz)



Fonte: Minitab® 16

5.3 . Uso de modelo ANOVA para fatores categóricos afetando tempo manutenção (escala logarítmica)

Nesta seção apresenta-se os resultados de um modelo de ANOVA (uso do *software* Minitab®) para comparar as médias dos tempos de manutenção (escala logarítmica). As suposições necessárias (normalidade e variância constante dos resíduos) foi verificada a partir de gráficos dos resíduos.

- **Função**

Na Tabela 39 temos os resultados da ANOVA para comparar as médias de tempos de manutenção nos diferentes níveis do fator função (uso do *software* Minitab®). Observa-se diferença significativa entre as médias (valor-p <0,05).

Tabela 39 - ANOVA para tempos manutenção (escala logarítmica) – fator função

FV	GL	SQ	QM	F	P
----	----	----	----	---	---

FUNÇÃO	5	1201,16	240,23	120,43	< 0,001		
ERRO	10732	21407,48	1,99				
TOTAL	10737	22608,64					
I.C. INDIVIDUAIS 95% PARA AS MÉDIAS							
NÍVEL	N	MÉDIA	DP	-----+-----+-----+-----+-----+-----			
1	1284	3,703	1,337	(-*-)			
2	2436	3,347	1,328	(-*)			
5	356	4,078	1,133	(---*---)			
6	2488	3,048	1,642	(*-)			
7	4130	2,858	1,359	(*-)			
9	44	3,990	0,855	(-----*-----)			
				+-----+-----+-----+-----+-----+-----			
				2,80	3,20	3,60	4,00

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

• Turno

Na Tabela 40 temos os resultados da ANOVA para comparar as médias de tempos de manutenção nos diferentes níveis do fator turno (uso do *software* Minitab®). Observa-se diferença significativa entre as médias (valor-p < 0,05).

Tabela 40 - ANOVA para tempos manutenção (escala logarítmica) – turno

FV	GL	SQ	QM	F	P		
TURNO	4	1941,19	485,30	252,02	< 0,001		
ERRO	10733	20667,46	1,93				
TOTAL	10737	22608,64					
I.C. INDIVIDUAIS 95% PARA AS MÉDIAS							
NÍVEL	N	MÉDIA	DP	-----+-----+-----+-----+-----+-----			
1	3382	3,327	1,351	(*)			
2	2860	3,002	1,362	(*)			
3	1299	3,002	1,358	(*-)			
4	684	4,612	1,194	(-*-)			
5	2513	2,898	1,522	(*)			
				+-----+-----+-----+-----+-----+-----			
				3,00	3,50	4,00	4,50

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

• Área

Na Tabela 41 temos os resultados da ANOVA para comparar as médias de tempos de manutenção nos diferentes níveis do fator área (uso do *software* Minitab®). Observa-se diferença significativa entre as médias (valor-p < 0,05).

Tabela 41 - ANOVA para tempos manutenção (escala logarítmica) – área

FV	GL	SQ	QM	F	P
----	----	----	----	---	---

22	125	3,593	1,175	(*)
23	203	3,079	0,798	(*)
24	153	3,384	1,083	(-*)
25	9	3,462	0,427	(-----*-----)
26	64	4,553	0,871	(*--)
27	10	4,483	0,749	(-----*-----)
28	90	4,935	1,194	(-*)
				-----+-----+-----+-----+
				7,50 3,00 4,50 6,00

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

• Oficina serviço

Na Tabela 44 temos os resultados da oficina de serviço (uso do *software* Minitab®). Observa-se diferença significativa entre as médias (valor-p < 0,05).

Tabela 44 - ANOVA para tempos manutenção (escala logarítmica) – oficina de serviço

FV	GL	SQ	QM	F	P
OFICINA DO SERVIÇO	2	702,53	351,27	172,14	< 0,001
ERRO	10735	21906,11	2,04		
TOTAL	10737	22608,64			
				I.C. INDIVIDUAIS 95% PARA AS MÉDIAS	
NÍVEL	N	MÉDIA	DP	-----+-----+-----+-----+	
1	4194	2,872	1,358	(--*-)	
2	3693	3,470	1,344		(-***)
3	2851	3,179	1,622		(--*--)
				-----+-----+-----+-----+	
				3,00	3,20 3,40 3,60

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

5.4 . Análise de regressão linear

Nessa seção, tem-se como objetivo, verificar o efeito conjunto das covariáveis contínuas individuais (idade e tempo de serviço na empresa) e as covariáveis contínuas relacionadas às autoavaliações individuais de cada funcionário na resposta (tempo de

manutenção na escala logarítmica). Para isso é proposto um modelo de regressão linear múltiplo com erros normais. Usando o *software* Minitab®, a equação ajustada é dada por:

$$\begin{aligned} \log(\text{tempo}) = & 3,31 - 0,10700 \text{ Executo meu trabalho de forma independente dos outros} \\ & + 0,12200 \text{ Tenho liberdade para fazer praticamente tudo o que quero no meu} \\ & \text{trabalho} + 0,00220 \text{ Orgulho-me de executar o meu trabalho o melhor que} \\ & \text{consigo} + 0,02070 \text{ Tento pensar em diversas maneiras de fazer o meu trabalho} \\ & \text{de forma eficiente e eficaz} - 0,00247 \text{ Idade} - 0,02410 \text{ Tempo de empresa} \end{aligned} \quad (21)$$

Na Tabela 45, temos os estimadores de mínimos quadrados para os parâmetros do modelo de regressão obtidos usando o *software* Minitab®.

Tabela 45 - Estimadores de mínimos quadrados (modelo de regressão linear múltiplo) para tempos manutenção (escala logarítmica)

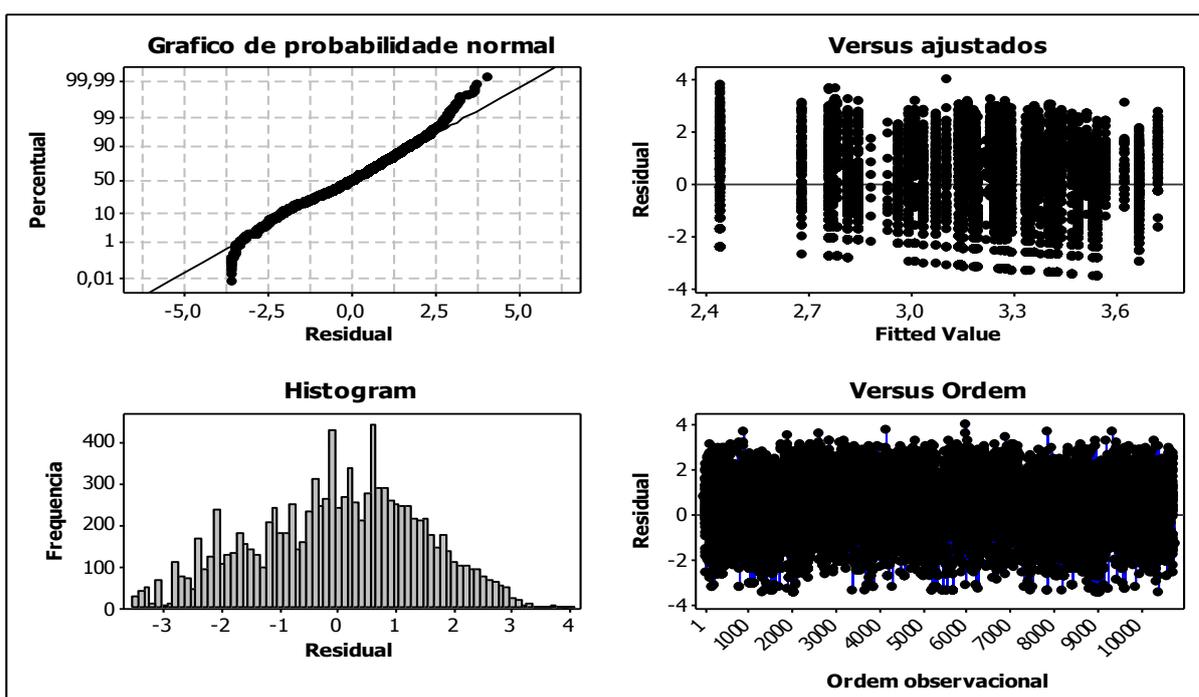
PREDITOR	COEF.	EP COEF.	T	P
CONSTANTE	3,307800	0,153900	21,50	< 0,001
EXECUTO MEU TRABALHO DE FORMA INDEPENDENTE DOS OUTROS	-0,106950	0,014190	-7,54	< 0,001
TENHO LIBERDADE PARA FAZER PRATICAMENTE TUDO O QUE QUERO NO MEU TRABALHO	0,121725	0,007060	17,23	< 0,001
ORGULHO-ME DE EXECUTAR O MEU TRABALHO O MELHOR QUE CONSIGO	0,002220	0,253400	0,09	0,930
TENTO PENSAR EM DIVERSAS MANEIRAS DE FAZER O MEU TRABALHO DE FORMA EFICIENTE E EFICAZ	0,020680	0,026050	0,79	0,427
IDADE	-0,002474	0,002019	-1,23	0,220
TEMPO DE EMPRESA	-0,024136	0,002905	-8,31	< 0,001

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

Dos resultados da tabela 45, observa-se que as covariáveis “executo meu trabalho”, “tenho liberdade” e “tempo de empresa” tem efeitos significativos ($\text{valor-p} < 0,05$) na resposta (tempo de manutenção). Observa-se efeito negativo (tempos de manutenção menores) para as covariáveis “executo meu trabalho”, “idade” e “tempo de empresa”. Assim, quanto maior o escore na autoavaliação relativo à covariável “executo meu trabalho”, menor é o tempo de manutenção. Da mesma forma, quanto maior o tempo na empresa, menor é o tempo de manutenção. Para a covariável “tenho liberdade”, observa-se um efeito positivo (tempos de manutenção maiores quando se tem maior escore na autoavaliação relativo a essa covariável “tenho liberdade”). Isto evidencia que ter liberdade, nas ações de manutenção, pode significar impactos negativos nos resultados com maiores tempos de intervenções de manutenção.

Na Figura 40 são apresentados os gráficos dos resíduos do modelo ajustado. Desses gráficos, observa-se bom ajuste do modelo (as suposições necessárias, normalidade e variância constante são verificadas).

Figura 40 - Gráficos de resíduos (modelo de regressão múltiplo)



Fonte: Minitab® 16

5.5. Análise de correlação para as variáveis relacionadas a autonomia dos técnicos em manutenção

O coeficiente de correlação de Pearson é uma medida do grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas. Este coeficiente varia entre os valores -1 e 1. O valor 0 (zero) significa que não há relação linear, o valor 1 indica uma relação linear perfeita e o valor -1 também indica uma relação linear perfeita mas inversa, ou seja quando uma das variáveis aumenta a outra diminui. Quanto mais próximo estiver de 1 ou -1, mais forte é a associação linear entre as duas variáveis.

O coeficiente de correlação de Pearson é normalmente representado pela letra *r* e a sua fórmula de cálculo é:

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum (x_i - \bar{x})^2)(\sum (y_i - \bar{y})^2)}} \quad (21)$$

É interessante observar que algumas das covariáveis relacionadas a autoavaliações de autonomia, estão bem correlacionadas (ver Tabela 46).

Tabela 46 - Correlações entre as variáveis relacionadas a autonomia

	EXECUTO MEU TRABALHO DE FORMA INDEPENDENTE DOS OUTROS	TENHO LIBERDADE PARA FAZER PRATICAMENTE TUDO O QUE QUERO NO MEU TRABALHO	ORGULHO-ME DE EXECUTAR O MEU TRABALHO O MELHOR QUE CONSIGO
TENHO LIBERDADE PARA FAZER PRATICAMENTE TUDO O QUE QUERO NO MEU TRABALHO	$r = 0,589$ $P = 0,000$		
ORGULHO-ME DE EXECUTAR O MEU TRABALHO O MELHOR QUE CONSIGO	$r = 0,158$ $P = 0,000$	$r = 0,210$ $P = 0,000$	
TENTO PENSAR EM	$r = 0,116$	$r = 0,099$	$r = 0,905$

DIVERSAS MANEIRAS DE FAZER O MEU TRABALHO DE FORMA EFICIENTE E EFICAZ	$P = 0,000$	$P = 0,000$	$P = 0,000$
---	-------------	-------------	-------------

Fonte: adaptado do *software* Minitab® 16

Em especial, dos resultados da Tabela 46, observa-se que as covariáveis “TENTO PENSAR EM DIVERSAS MANEIRAS DE FAZER O MEU TRABALHO DE FORMA EFICIENTE E EFICAZ” e “ORGULHO-ME DE EXECUTAR O MEU TRABALHO O MELHOR QUE CONSIGO” tem uma correlação igual à 0,905. Dessa forma a informação de apenas uma das duas covariáveis é importante na análise de regressão.

6. CONCLUSÕES E INTERPRETAÇÕES DOS RESULTADOS OBTIDOS

6.1. Dados de manutenção com fatores da indústria

Com diferentes modelos de análise estatística, foi possível detectar os fatores que mais afetam a variabilidade dos dados.

Na abordagem estatística da amostragem feita, chega-se aos seguintes resultados relacionados a cada fator afetando os tempos de manutenção:

- **Função:** Na área de manutenção eletroeletrônica observa-se uma menor média de tempo para manutenção em função das maiorias das ações serem de rápida resolução, mesmo encontrando algumas situações de diagnóstico mais longo, mas em poucos casos. Situações como ajustes e rearmes de sistemas em alguns casos podem até serem feitos sem a parada da máquina por muito tempo, fato este evidenciado aqui nesta análise. Para as funções mecânicas e auxiliares

eletroeletrônica observa-se tempos médios similares em função de complexidade média em ambas funções, para o diagnóstico e resolução de problemas. Observa-se também que para os auxiliares de manutenção mecânica e eletricitas de manutenção predial, apresentam tempos médios maiores em função do menor conhecimento técnico em máquinas relacionadas diretamente a produção.

- **Turno:** Uma importante descoberta evidenciada entre os turnos é em relação ao tempo médio de manutenção bem maior no quarto turno, pois observa-se que as maiorias das atividades desta equipe está relacionada a *set-ups*, melhorias e adaptações de máquinas e equipamentos, e, tais atividades, costumeiramente, demandam mais tempo. No caso do terceiro turno ter um tempo médio bem menor, se dá em função de existirem menos interferências na produção por mudanças de programação e testes, sendo comprovado pela situação antagônica do primeiro e segundo turno, que ainda recebe o apoio do quarto turno em situações emergenciais, pois este turno diferenciado (quarto turno) faz a conexão entre estes dois horários.
- **Área:** No caso deste tópico observado, percebe-se que recai sobre áreas de apoio, que param com menor frequência para intervenções preventivas e tem um impacto muito grande de forma comum em todas as áreas produtivas. Outro fato importante a se destacar, é que, em algumas condições de intervenção, se faz necessário esperar algum tempo até o equipamento esteja em uma condição segura de intervenção (esfriar por exemplo) e até uma preparação especial para intervenção, como a disponibilização de ferramentas e recursos diferenciados (plataformas elevatórias, andaimes, dispositivos para movimentação, etc.), fazendo com que os tempos de manutenção sejam invariavelmente longos, mas com poucas ocorrências.
- **Tipo de serviço:** A principal observação aqui é a constatação de que uma rápida inspeção está sendo feita para uma intervenção programada maior, evidenciando que um programa de manutenção está funcionando a contento, se analisado somente sobre este foco.
- **Característica do serviço:** Observa-se que os maiores tempos observados aqui não tem uma relação muito direta com a área de manutenção (adaptar, confeccionar, retirar, instalar e melhoria), que sempre demandam uma boa

preparação da atividade envolvendo na grande maioria das vezes peças, ferramentas e até mesmo um prestador de serviço para auxílio na atividade. A única característica com relação forte com a manutenção é “revisar”, e esta situação é caracterizada por uma intervenção corretiva não programada que deve ter sido transformada em uma revisão também não programada possivelmente detectada no momento da intervenção.

- **Desejo de autonomia:** no estudo foi observado que uma das covariáveis relacionadas a autonomia dos operadores de manutenção (‘executo meu trabalho de forma independente’) mostra que quanto maior o escore de autoavaliação do operador, menor é o tempo de manutenção. Isso comprova que maior autonomia, pode levar a menores tempos de manutenção, um importante resultado para os gestores da indústria.

Com base nos resultados obtidos com este estudo, a empresa do segmento alimentício estudada, percebeu a importância das análises dos resultados de forma científica, e já tomou algumas ações na sua área de manutenção. A alocação de um profissional dedicado a análise de dados, capacitando-o com recursos tecnológicos e conhecimento no mesmo software de análise estatística utilizado durante esta pesquisa, foi a primeira ação visando entender melhor os resultados da área. Um segundo passo que está sendo dado na empresa, e pode ser objeto de um aprofundado segundo estudo científico, seria a de verificar se é mais interessante para os resultados da empresa não ter em seu quadro de funcionários a função de auxiliar, já que na atuação dos mesmos nas máquinas e equipamentos impactam em maiores tempos de parada de máquinas.

Quanto maior o conhecimento do funcionário da manutenção, menor é o tempo de diagnóstico e resolução de problemas, onde os tempos médios por função ficaram mais altos nas funções de auxiliares de manutenção mecânica, que seria a porta de entrada para uma equipe de manutenção mecânica e para eletricista de manutenção predial que não tem a área industrial como seu principal foco de atuação, como já explicita a própria nomenclatura da função.

A certeza da necessidade de melhorias nos resultados, despertou na empresa estudada a necessidade melhoria contínua na área de manutenção, pois mesmo os resultados estando em franca evolução no período estudado (2012 a 2015) outras frentes de análises e processos de manutenção começam a ser implementados e aprofundados.

Com os resultados desta pesquisa e com a evolução das análises em andamento, pretende-se elaborar um planejamento estratégico objetivando entender qual melhor composição do seu quadro de funcionários nos aspectos de funcionários com pouca experiência e conhecimentos (auxiliares) e funcionários experientes e capacitados (técnicos). Dentro ainda do planejamento estratégico que será desenvolvido, pretende-se entender também, qual nível de autonomia deve ser dados aos funcionários da área de manutenção, sem comprometer aspectos de segurança do trabalho e qualidade dos serviços prestados, já que os resultados melhoram com mais autonomia na empresa estudada.

É importante salientar que independentemente de todas as covariáveis analisadas, uma proporção de 89% dos indivíduos com um intervalo de confiança baseado na aproximação normal dado por (0,828675; 0,951325) afirmam que a autonomia lhe proporciona mais produtividade no seu desempenho.

Juntamente com a área de produção, será também desenvolvido um estudo visando ver qual é o melhor cenário de responsabilidade para a área de preparação e ajustes de máquinas (*set up*), já que os tempos nestas ações evidenciados nesta pesquisa estão muito altos, e esta atividade tem uma característica por origem de área produtiva e não da manutenção.

Fica, nesta conclusão, evidenciado a importância de análise científica e estatística de dados de manutenção e quanto estas informações podem ajudar na tomada de decisões a curto ou médio prazos sob os mais variados ângulos de entendimento como, mas não somente : recursos humanos, produtividade, preparação de máquinas, confiabilidade humana, custos e estratégias de manutenção.

REFERÊNCIAS

- AGRESTI, A. **Categorical Data Analysis**, New York: Wiley-Interscience.2002.
- ALRABGHI, A.; TIWARI, A. **State of the art in simulation-based optimization for maintenance systems**. Computer & Industrial Engineering Journal. v. 82, 167 – 182, 2014.
- ALSYOUF, I. **The role of maintenance in improving companies' productivity and profitability**. International Journal of Production Economics. 105, 70 – 78, 2007.
- ANHESINE, M.W., **Uma abordagem sistêmica para diagnósticos em manutenção industrial**, EESC-USP, São Carlos, 204 p (Tese de doutorado), 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575: Edificações Habitacionais – Desempenho**, Rio de Janeiro, 2013.
- BARRET, R. **What Motivates Employees? A new look at employee engagement and culture risk**, Barret Value Center, 2015.
- BOX, G.E.P., BISGAARD, S. **The Scientific Context of Quality Improvement. A Look at the Use of Scientific Method in Quality Improvement**. Quality Progress, pp. 54-61, 1987.
- BRANCO FILHO, G. ; **A Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção**, 1.^a ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.
- BRANCO FILHO, G. ; **Indicadores e Índices de Manutenção**, 1.^a ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2006
- BURGDORF, J. , PANKSEPP, J., **The neurobiology of positive emotions, Neuroscience and Bio-behavioral Reviews**, 30, 173-187, 2006.
- CARDOSO JÚNIOR, W. F.; **A inteligência competitiva aplicada nas organizações do conhecimento como modelo de inteligência empresarial estratégica para implementação e gestão de novos negócios**. (Dissertação de Mestrado), UFSC. Florianópolis. 2009.
- CERVO, A.L; BERVIAN, P.A. **Metodologia científica**. 5^a edição. São Paulo. Prentice hall, 2002.
- CHIAVENATO, I. - **Gestão de Pessoas: O novo papel dos recursos humanos nas organizações**. Campus. Rio de Janeiro, 1999.
- CHOLASUKE C. , ANTHONY R. AND J.; **The status of maintenance management in UK manufacturing organizations: results from a pilot survey**. Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol 10, Issue 1 , pp. 5 – 15, 2004.
- CLIFTON R.C.; **Principles of planned maintenance**, Edward Arnold Publishers: London, 1974.
- COKINS G.; **Activity-base cost management: making it work**. Irwin Professional Publishing; Chicago, 1996.

- COLOSIMO, E; GIOLO, S.R.; **Análise de sobrevivência aplicada**, Edgard Blucher, 2006.
- DHILLON, B.S. **Maintainability, maintenance, and reliability for engineers**. Taylor & Francis Group. 2006.
- DRAPER, N.R. AND SMITH, H.; **Applied regression analysis**. Wiley & Sons, 1981.
- EBELING, C.E, 1997. **An introduction to reliability and maintainability engineering**. McGraw-Hill Companies. 1997.
- FACHIN, O.; **Fundamentos de Metodologia**, 3^a. ed, São Paulo, Saraiva, 2001.
- FOGLIATTO, F.S., RIBEIRO, J.L.D.; **Confiabilidade e Manutenção Industrial**, 1^a. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora, 2009
- GIANESI, I.G.N. E CORREA H.L.; **Administração Estratégica de Serviços**, 1^a Ed, São Paulo, ATLAS, 1994.
- GODWIN, H.C. AND NSOBUNDU, M.C.; **Impact of Maintenance Performance in Cable Manufacturing Industry: Cutix Cable Plc Hub Example**. Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences (JETEAS) 4(1):94-99 (2013)
- GOLD B.; **Foundations of strategic planning for productivity improvement**. Interfaces. Claremond Graduate School, Vol.15, Issue 3, pp. 15-30, 1985
- GRANDEY, A. , FISKE, G. M., STEINER, D., (2005). **Must "service with a smile" be stressful? The moderating role of personal control for U.S. and French employees**. Journal of Applied Psychology, 90 (5), 893-904, 2005.
- HOPE, C. AND MUHLEMANN, A.; **Service Operations Management. Strategy, Design and Delivery**. London: Prentice Hall, 1997.
- HOSNER, D. W.; LEMESHOW, S.; **Applied Logistic Regression**, 2nd ed. New York; Chichester, Wiley, 2000.
- JOHNSON, N.L.; KOTZ, S.; BALAKRISNAN, N (1994). Continuous univariate distributions, vol 1, **Wiley series in probability and mathematical statistics: applied probability and statistics** (2nd Ed). Wiley& Sons.
- JOINER, B.L.; **Fourth Generation Management. The New Business Consciousness. How the Evolution of Management and the Revolution in Quality are converging, and What it means for Business and the Natio**. New York: McGraw-Hill, 1994.
- JURAN, J.M.; **How to think about Quality**. In J.M. Juran, A.B. Godfrey, R.E. Hoogstoel, and E.G., Schilling (Eds.): Quality-Control Handbook. New York: McGraw-Hill, 1999.
- KANTER, R.M.; **Commitment and community: communes and utopias in sociological perspective**. Harvard University Press, 1972.
- KANTER, R.M.; **Some effects of proportions on group life: skewed sex ratios and responses to token women**. American Journal of Sociology(JSTOR for the University of Chicago Press) 82 (5): 965-990, 1977.

KANTER, R.M.; **Men and women of the corporation** (2nd ed.). New York: Basic Books, 1993.

KANTER, R.M.; **The change masters: innovation and entrepreneurship in the American corporation**. Simon and Schuster, 1984.

KANTER, R.M.; STEIN, B.A.; **A tale of "O": on being different in an organization**. Harper & Row, 1986.

KANTER, R.M.; **Men and Women of the Corporation**. Public Affairs, 2008.

KANTER, R.M.; **Super Corp: How Vanguard Companies Create Innovation, Profits, Growth, and Social Good**. Profile Books, 2010.

KANTER, R.M. **"Innovation: the classic traps"**. Harvard Business Review on Inspiring and Executing Innovation. Harvard Business Press. pp. 149-181, 2011.

KANTER, R.M. **Move: Putting America's Infrastructure Back in the Lead**. W. W. Norton & Company, 2015.

KARASEK, R.A.; **Job Demand, job decision latitude, and mental strain: implications for job redesign**. Administrative Science Quarterly, 24:285-308, 1979.

KARDEC, A. E RIBEIRO, H.; **Manutenção: Gestão Estratégica e Manutenção Autônoma**. 1.^a ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

KLEINDORFER, P.R. , SINGHAL, K., VAN WASSENHOVE, L.N., 2005. **Sustainable operations management (Winter)**. Production and Operations Management ,14 (4), 482-492.

KOUSES, J. M.; POSNER, B. Z.; **O desafio da liderança**. Campus. Rio de Janeiro, 2003.

LATTIN, J.; CARROLL, J. D.; GREEN, P. E.; **Análise de dados multivariados**. Tradução de Harue Avritscher. São Paulo: Cengage Learning, 456p.,2011.

LAWLESS, J. F.; **Statistical models and methods for lifetime data, wiley series in probability and mathematical statistics**, Wiley & Sons, 1982.

LUXHOJ, J. , THORSTEINSSON, U AND RIIS, J.; **Trends and perspectives in industrial maintenance management**, Journal of Manufacturing Systems . Vol.16 , Issue 6, pp. 437-453, 1997.

MACÊDO, I.I., RODRIGUES, D.F., JOHAN, M.E.P. E CUNHA, N.M.M.; **Aspectos comportamentais da gestão de pessoas**. FGV Editora. Rio de Janeiro, 2007.

MARCONI, M.A, LAKATOS, E.M. **Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisas, elaboração, análise e interpretação de dados**. Atlas, 2002.

MARCONI, M.A., LAKATOS, E.M. **Fundamentos de metodologia científica**. Atlas, 1985.

- MARTIN-KRUMM, C., TARQUÍNIO, C., "**Traité de Psychologie Positive : Fondements théoriques et implications pratiques**", Bruxelles, De Boeck, 2011.
- MARX, R.; **Trabalho em grupos e autonomia como instrumentos da competição**. Atlas. São Paulo, 1997.
- MEEKER, W.Q.; ESCOBAR, L.A.; **Statistical methods for reliability data**, Wiley & Sons, 1998.
- MENDES, A. A.; **Manutenção centrada em confiabilidade : uma abordagem quantitativa**, UFRS, Porto Alegre, 85 p (Dissertação de Mestrado), 2011.
- MIGUEL, P.A.C.; **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**, Campus. São Paulo, 2012.
- MIRSHAWKA, K. E OLMEDO, N. L.; **Manutenção, combate aos custos da não eficácia, a vez do Brasil**, Makron Books. São Paulo, 1993.
- MONTGOMERY, D.C. AND RUNGER, G.C.; **Applied statistics and probability for engineers**, 5nd Edition, Wiley & Sons, 2010.
- MORTELARI, D., SIQUEIRA, K., PIZZATI, N. **O RCM na quarta geração da manutenção de ativos**. São Paulo, RG Editores, 2012.
- MOUBRAY, J.; **Reliability-Centered Maintenance**. Industrial Press. New York, NY, ISBN 0-8311-3146-2, 1997.
- NELSON, W.; **Applied life data analysis**, Wiley – Blackwell, 2004
- OLIVEIRA, V. I. M.; **Motivação no trabalho e o desempenho individual: um estudo aplicado a IPSS do Concelho de Salvaterra de Magos**. Instituto Politécnico de Santarém, Portugal (Dissertação de Mestrado), 2015.
- PINK, D. H.; **A Nova Inteligência; treinar o lado direito do cérebro é o novo caminho para o sucesso**. São Paulo, Academia do Livro, 2009.
- RAUSAND, M. **System reliability theory: models and statistical methods**. J. Wiley, 1994.
- RIBEIRO, H.; **Manutenção Autônoma**, Qualitymark. Rio de Janeiro, 2008.
- SEBER, G.A. AND LEE, A.J.; **Linear regression analysis**. Hoboken, 2003.
- SILVA, L.R.T E SEVERINO, M.R.; **Análise do papel estratégico da gestão da manutenção na indústria de mineração**. XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Perspectivas globais para a engenharia de produção. Fortaleza, CE, Brasil, outubro de 2015.
- TAVARES, L.; **Excelência na Manutenção**, 2.^a ed. Bahia: Casa da Qualidade, 1996
- THIOLLENT, M.; **Metodologia da pesquisa-ação**, 6.^a ed., São Paulo, Cortez Editora, 1994

TORRES, R.L.C.; **A influência dos tempos perdidos nas atividades de manutenção: a questão motivacional e a confiabilidade nos meios de produção.** 24º. Congresso Brasileiro de Manutenção, ABRAMAN, 2009.

TRACY, D.; **10 Passos para o Empowerment.** Campus. Rio de Janeiro, 1994.

ULRICH, D.; **Os Campeões de Recursos Humanos: Inovando para obter os melhores resultados.** 8ª edição. Futura. São Paulo, 2003.

VERRI, L.A.; **Sucesso em Paradas de Manutenção,** 1.ª ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2008.

VOLPATO, G., e BARRETO, R.; **Elabore projetos científicos competitivos,** Botucatu, São Paulo, Best Writing Editora, 2014.

WHARTON, A. S.; **The affective consequences of service work: Managing emotions on the job.** Work and Occupations, 20(2), 205–232, 1993.

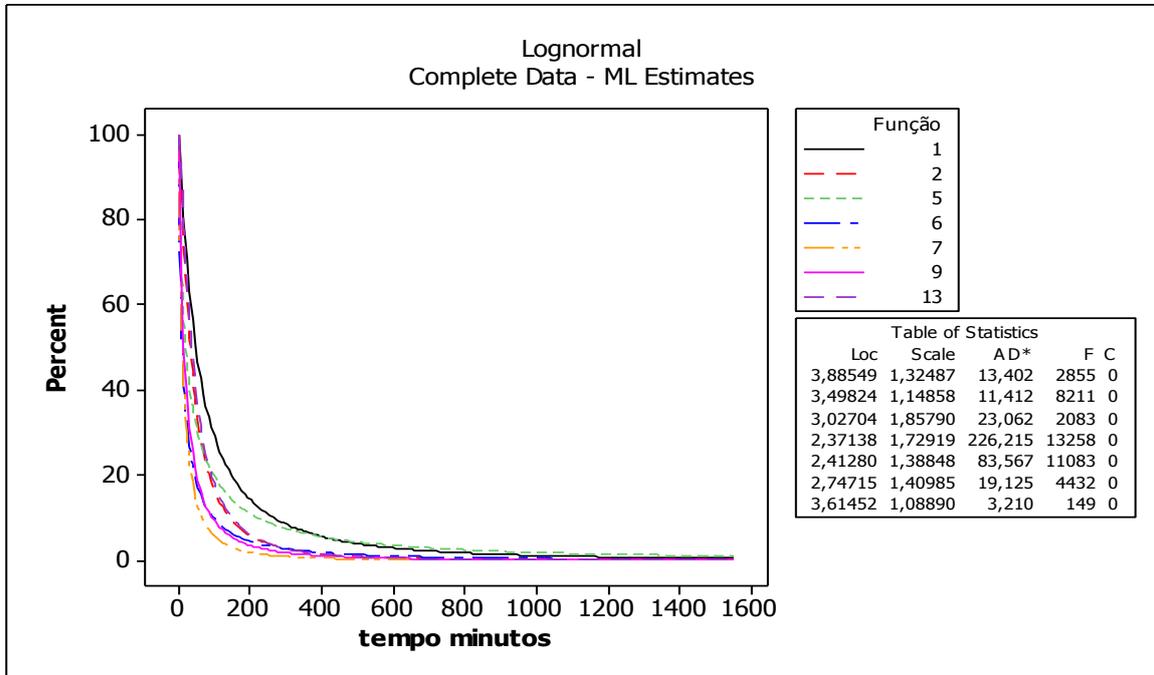
WEIBULL, W.; **A statistical distribution function of wide applicability,** Journal of Applied Mechanics - ASMC, 18, 3, 293–297, 1951.

YIN, R.K.; **Estudo de caso, planejamento e métodos.** 4ª. ed. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Bookman, 2010.

ZHU, G. , GELDERS L. AND PINTELOM L.; **Object/objective-oriented maintenance management.** Journal of Quality in Maintenance Engineering. Vol. 8, Issue 4, pp. 306-318.2002, 2002.

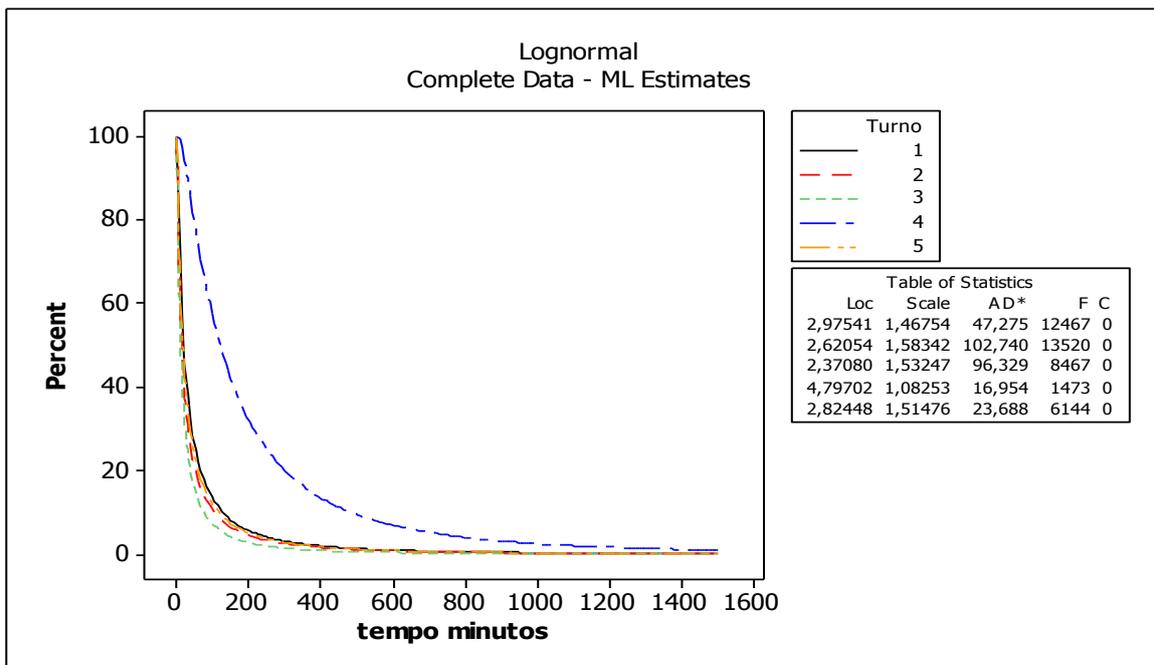
APÊNDICE A1 – CURVAS DE CONFIABILIDADE ASSUMINDO UMA DISTRIBUIÇÃO LOG-NORMAL PARA OS DADOS DE MANUTENÇÃO

Função



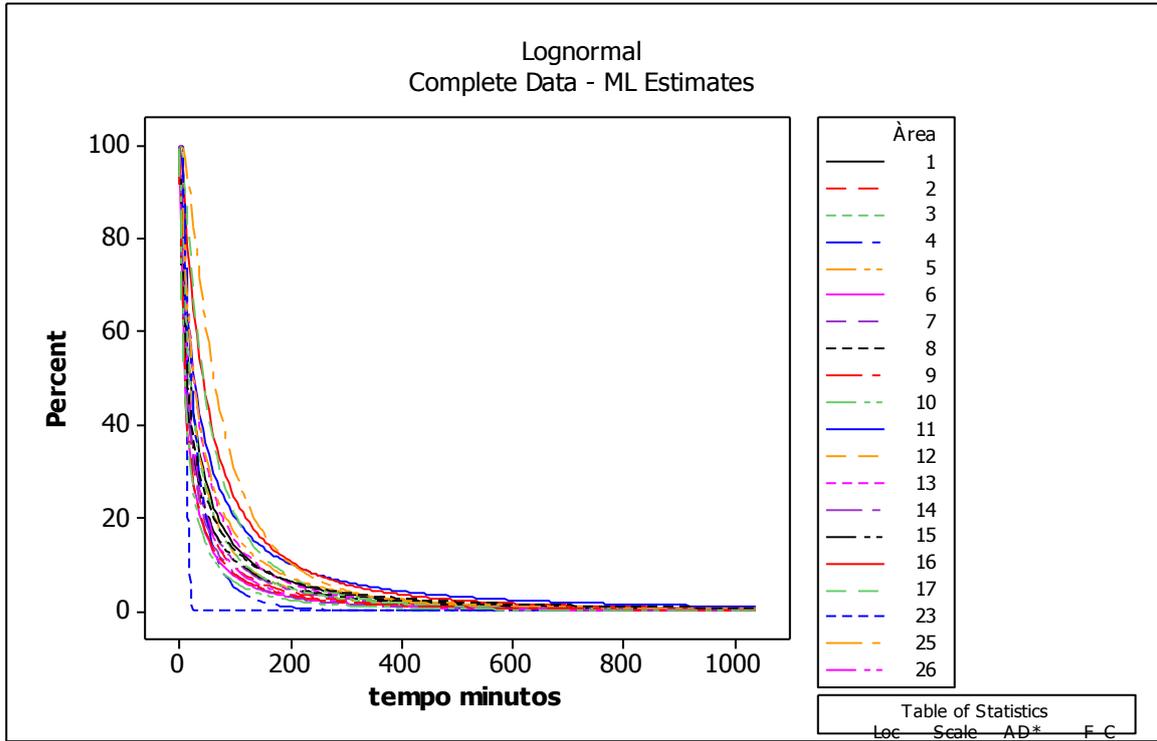
Fonte: Minitab® 16

Turno

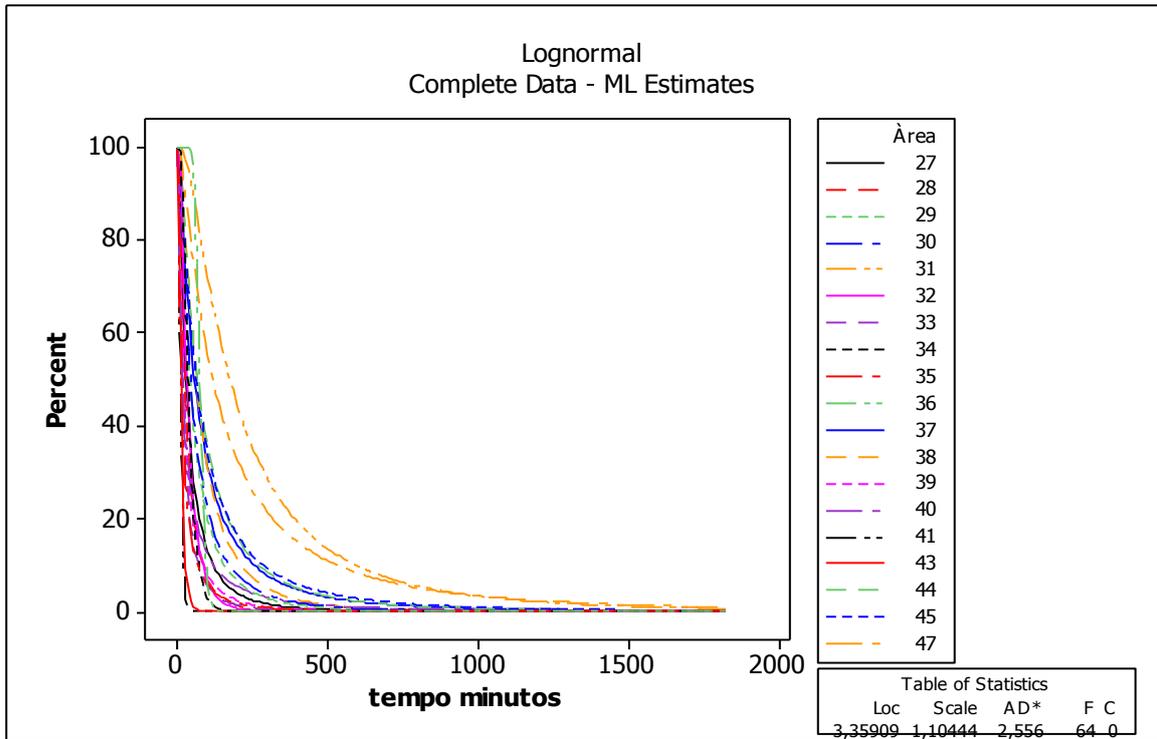


Fonte: Minitab® 16

Área

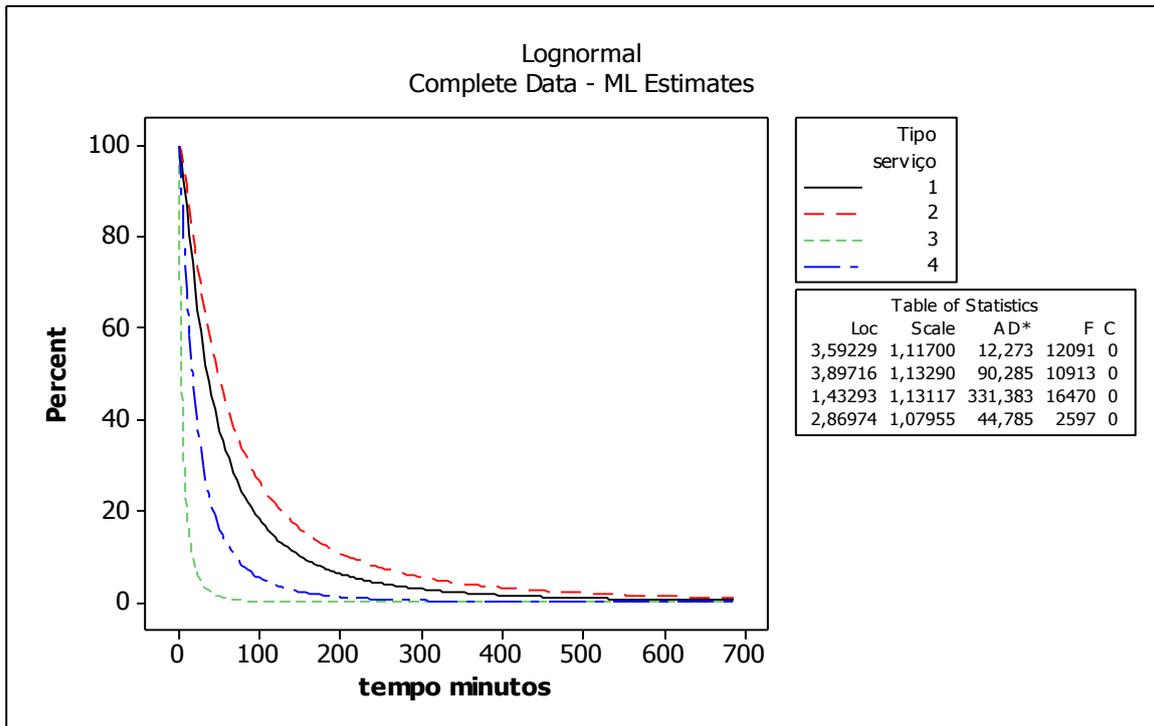


Fonte: Minitab® 16



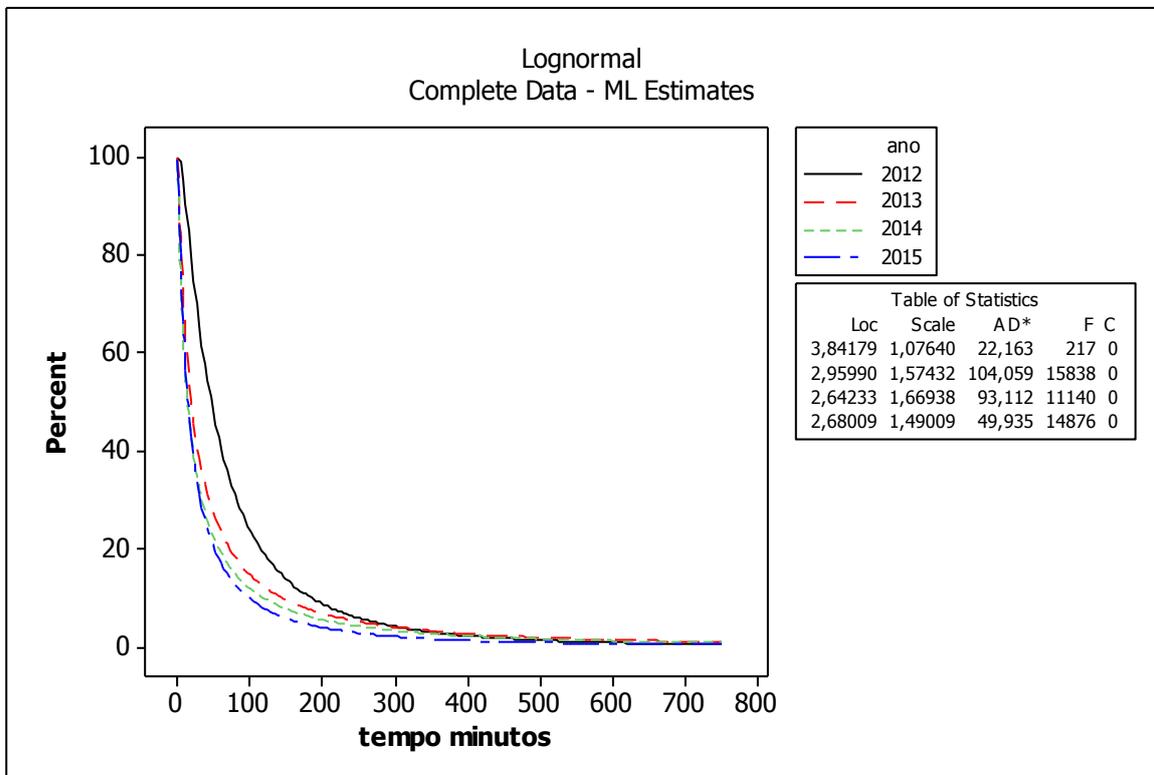
Fonte: Minitab® 16

Tipo serviço



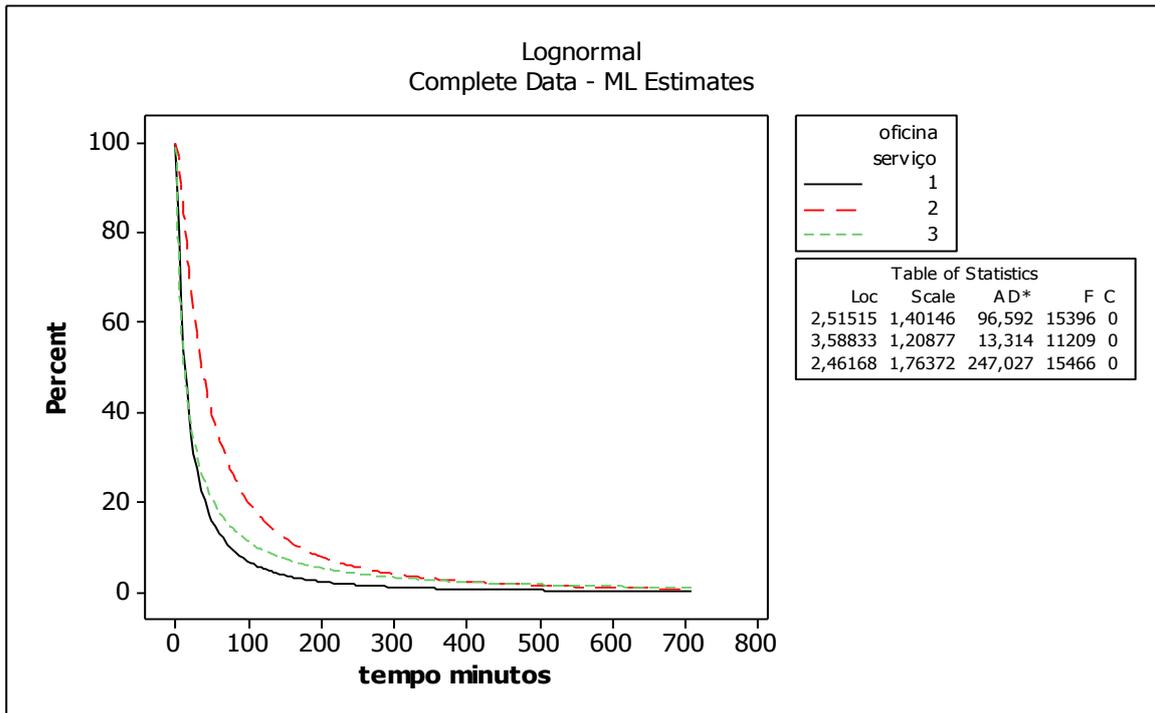
Fonte: Minitab® 16

Ano



Fonte: Minitab® 16

Oficina de serviço



Fonte: Minitab® 16

APÊNDICE A.2 – ALGUMAS CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS SOBRE ANÁLISE DE DADOS DE CONFIABILIDADE

Tipos de dados na análise de confiabilidade

Em um estudo de confiabilidade, nem todas as observações da amostra falham, ou os tempos até a falha de todas as observações não são conhecidos, este tipo de dado é denominado censura ou suspenso. Em conjuntos de dados onde não há dados censurados, técnicas estatísticas clássicas, (Análise de regressão, Planejamento de experimentos, Análise de variância, etc), podem ser utilizadas para análise de dados de sobrevivência, provavelmente com alguma transformação na variável resposta (COLOSSIMO; GIOLO, 2006).

Com o uso de métodos de análise de sobrevivência é possível analisar dados na presença de censuras, assim, a presença de dados censurados é a principal característica do estudo de dados de sobrevivência (COLOSSIMO; GIOLO, 2006).

Pode-se observar os seguintes tipos de censuras: (COLOSSIMO; GIOLO, 2006):

- Censura a Direita Tipo I: ocorre nos estudos que ao serem finalizados após um período de tempo pré-estabelecido, alguns indivíduos não apresentaram o evento de interesse;
- Censura a Direita Tipo II: ocorre nos estudos que são finalizados após a ocorrência do evento de interesse em um número pré-estabelecido de indivíduos;
- Censura Tipo Aleatório: ocorre nos estudos em que os indivíduos são retirados do estudo sem ter apresentado o evento de interesse. Este tipo de censura é mais comum na prática médica, onde um paciente é retirado do estudo sem apresentar o evento de interesse (paciente não pode ser mais contatado) ou por que veio a falecer por razão diferente da estudada;
- Censura a Esquerda: ocorre em estudos onde o tempo registrado é maior que o tempo de falha, isto é, o evento de interesse já havia acontecido quando o indivíduo foi observado;
- Censura Intervalar: ocorre em estudos onde os indivíduos são acompanhados em visitas periódicas e é conhecido somente que o evento de interesse ocorreu em um certo intervalo de tempo, ou seja, o tempo exato de falha não é conhecido.

Modelos de confiabilidade

Na análise de sobrevivência ou análise de confiabilidade, há dois tipos de modelos de análise:

- modelos não-paramétricos, onde não é necessária a especificação de nenhuma distribuição de probabilidade para os dados de tempo de vida de um componente ou sistema (RAUSAND, 1994);
- modelos paramétricos ou probabilísticos, onde é necessária a especificação de uma distribuição de probabilidade adequada aos dados (COLOSSIMO; GIOLO, 2006).

O uso de métodos não-paramétricos nos permite ganhar perspectiva quanto a natureza da distribuição de dados a partir do qual foi desenhada sem, no entanto, selecionar uma distribuição específica. Para Colossimo e Giolo (2006), o uso de técnicas paramétricas tem sido mais frequente na área industrial que na área médica, razão pela qual, na indústria os estudos envolvendo componentes e equipamentos podem ser planejados e, fontes de perturbação, podem ser controladas.

A pesar de algumas distribuições de probabilidade serem, certamente, mais conhecidas, como a Normal e a Binomial, quando se trata de descrever a variável “tempo até a falha”, outras distribuições mostram-se mais adequadas. E, embora haja uma variedade de modelos probabilísticos utilizados na análise de sobrevivência, alguns ganham posição de destaque, por apresentarem comprovada adequação em distintas situações. Pode-se citar os modelos Exponencial, Weibull e o Log-normal (COLOSSIMO; GIOLO, 2006).

A seguir são apresentadas algumas das principais distribuições de probabilidade usadas na análise de confiabilidade.

Distribuição exponencial

A distribuição exponencial é a forma mais simples para descrever tempos de falha. A distribuição é caracterizada por uma função risco constante dada por,

$$\lambda(t) = \frac{1}{\alpha}, \quad t \geq 0, \alpha > 0, \quad (\text{A.1})$$

em que α é o tempo médio de vida.

A função risco é conhecida também como a taxa de falha instantânea, se caracterizando, nesta distribuição pelo fato de ser independente de t , ou seja, a chance de falha em um intervalo de tempo não depende do tempo que o objeto permanece no estudo (falta de memória). A função de sobrevivência $S(t)$ é dada por:

$$S(t) = \exp\left\{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)\right\}. \quad (\text{A.2})$$

A função densidade de probabilidade para a variável aleatória tempo de falha T com distribuição exponencial é dada por,

$$f(t) = \frac{1}{\alpha} \exp\left\{-\frac{t}{\alpha}\right\}, \quad t \geq 0. \quad (\text{A.3})$$

Denota-se a distribuição exponencial (3.16) por $T \sim \text{Exp}(\alpha)$.

Distribuição de Weibull

A distribuição Weibull, amplamente conhecida em virtude de sua simplicidade e flexibilidade em acomodar diferentes formas de função de risco, é talvez o modelo de distribuição mais utilizado em análise de tempos de vida. Para uma variável aleatória T com distribuição Weibull, a função de densidade probabilidade é dada por,

$$f(t) = \frac{\alpha}{\beta^\alpha} t^{\alpha-1} \exp\left\{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha\right\}, \quad t \geq 0, \quad (\text{A.4})$$

em que α é o parâmetro de forma e β o de escala, ambos positivos.

Para esta distribuição, a função de sobrevivência é dada por,

$$S(t) = \exp\left\{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha\right\}, \quad (\text{A.5})$$

A taxa de falha é dada por,

$$\lambda(t) = \frac{\alpha}{\beta^\alpha} t^{\alpha-1}, \quad (\text{A.6})$$

onde $t > 0$ e $\alpha > 0, \beta > 0$.

Neste caso, podem-se ter riscos (taxas de falha) crescentes para $\alpha > 1$; decrescentes para $\alpha < 1$ e constante para $\alpha = 1$.

Denota-se a distribuição Weibull por $T \sim Wei(\alpha, \beta)$.

O percentil $100p\%$ é dado por:

$$P(T \leq t_p) = t_p = \theta[-\ln(1-p)]^{\frac{1}{\nu}} \quad (\text{A.7})$$

onde p é o percentil onde ocorrem as falhas, t_p é o provável tempo em que $p\%$ das falhas ocorrerão.

Distribuição log-normal

A distribuição log-normal é muito usada em ciências físicas e sociais e em engenharia, neste último caso para descrever tamanho de partículas, o tempo para haver uma falha no processo (confiabilidade) e o tempo para consertar algo no processo (manutenção).

Uma variável T , definida na faixa $0 < t < \infty$, tem uma distribuição log-normal se $\ln(T)$ for normalmente distribuída com média e desvio-padrão dados por:

$$\begin{aligned} \mu_{\ln T} &= E(\ln T) \\ \sigma_{\ln T}^2 &= Var(\ln T) \end{aligned} \quad (\text{A.8})$$

A função densidade de probabilidade de T é dada por:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\ln t - \mu^2)}{2\sigma^2}\right) \quad (\text{A.9})$$

com valor esperado e variância calculados por:

$$\begin{aligned}\mu_T &= \exp\left(E(\ln T) + \frac{\text{Var}(\ln T)}{2}\right) \\ \text{Var}(T) &= \exp(2E(\ln T) + \text{Var}(\ln T)(e^{-\text{Var}(\ln T)} - 1))\end{aligned}\tag{A.10}$$

Distribuição gama

Essa distribuição também inclui a exponencial como um caso especial. A função de densidade da distribuição gama, que é caracterizada por dois parâmetros, k e α , em que $k > 0$ é chamado parâmetro de forma e $\alpha > 0$ de escala, e é expressa por:

$$f(t) = \frac{1}{\Gamma(k)\alpha^k} t^{k-1} \exp\left\{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)\right\}, \quad t > 0,\tag{A.11}$$

com $\Gamma(k)$ definida por $\Gamma(k) = \int_0^{\infty} x^{k-1} \exp\{-x\} dx$.

A função de sobrevivência é dada por,

$$S(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{\Gamma(k)\alpha^k} u^{k-1} \exp\left\{-\left(\frac{u}{\alpha}\right)\right\} du.\tag{A.12}$$

A função de taxa de falha, obtida da relação $\lambda(t) = f(t)/S(t)$, apresenta um padrão crescente ou decrescente, no entanto, convergindo para um valor constante quando t tende a infinito. Denota-se a distribuição por $T \sim \text{Gama}(k, \alpha)$.

Estimação dos parâmetros dos modelos

Os modelos apresentados acima são caracterizados por parâmetros que conferem uma forma geral aos modelos probabilísticos. Estes parâmetros devem ser estimados a partir dos dados das observações das amostras para que o modelo fique determinado, possibilitando assim, responder as perguntas de interesse (COLOSSIMO; GIOLO, 2006).

Para Colossimo e Giolo (2006), um dos métodos mais conhecidos na literatura estatística para estimação de parâmetros é o método de mínimos quadrados. Porém, por sua

incapacidade de incorporar censuras em seu processo de estimação, este é inadequado para estudos de tempo de vida, assim, o método de máxima verossimilhança surge como uma opção apropriada para este tipo de dados, pois, além de incorporar censuras, é simples de se entender e possui propriedades ótimas para grandes amostras (COLOSSIMO; GIOLO, 2006).

O método de máxima verossimilhança

O método de máxima verossimilhança funciona da seguinte forma: com base nos dados da amostra, qual é a distribuição, entre todas aquelas definidas pelos possíveis valores de seus parâmetros, com a maior probabilidade de ter gerado a amostra?, ou seja, se a distribuição do tempo de falha é a distribuição Weibull, para cada combinação diferente de γ e α , tem-se diferentes distribuições de Weibull, assim, o estimador de máxima verossimilhança escolhe aquele par de γ e α que melhor explique a amostra observada (COLOSSIMO; GIOLO, 2006).

A seguir, o método de máxima verossimilhança é traduzido para conceitos matemáticos.

Supor uma amostra de observações não censuradas t_1, \dots, t_n de uma população, onde os tempos de sobrevivência tenham uma densidade $f(t; \theta)$, onde θ é um parâmetro desconhecido. A função de verossimilhança para o parâmetro θ é dada por:

$$L(\theta) = \prod_{i=1}^n f(t_i; \theta). \quad (\text{A.13})$$

Na expressão (A.13), θ pode estar representando um único parâmetro ou um vetor de parâmetros (COLOSSIMO; GIOLO, 2006).

Para definir a verossimilhança para dados censurados, considere T uma variável aleatória representando o tempo de falha de um paciente e C uma variável aleatória, independente de T , representando o tempo de censura. Para o paciente tem-se que, $t = \min(T, C)$ e definir a variável indicadora,

$$\delta = \begin{cases} 1 & \text{se } T \leq C \\ 0 & \text{se } T > C \end{cases} . \quad (\text{A.14})$$

Supor que os pares (T_i, C_i) , para $i = 1, \dots, n$ formam uma amostra aleatória de n unidades.

As observações podem ser divididas em dois conjuntos, as r primeiras observações ordenadas são as observações não censuradas $(1, 2, \dots, r)$ e as $n-r$ seguintes são observações censuradas $(r+1, r+2, \dots, n)$.

Para dados com censuras do Tipo I, considere r falhas e $n-r$ censuras observadas ao término do experimento; portanto $L(\theta)$ é dada por,

$$L(\theta) = \prod_{i=1}^r f(t_i; \theta) \prod_{i=r+1}^n S(t_i; \theta). \quad (\text{A.15})$$

onde o segundo termo tem a forma $\prod_{i=r+1}^n S(c; \theta) = [S(c; \theta)]^{n-r}$, quando todos tempos censurados forem iguais a c . Observar que r é aleatório.

Na prática é sempre conveniente trabalhar com o logaritmo da função de máxima verossimilhança. Os estimadores são os valores de θ que maximizam $L(\theta)$, ou seu equivalente $\log(L(\theta))$ e, são encontrados resolvendo-se o seguinte sistema de equações:

$$U(\theta) = \frac{\partial \log L(\theta)}{\partial \theta} = 0. \quad (\text{A.16})$$

Verificação de adequação de ajustes

A escolha do modelo a ser utilizado é um tópico extremamente importante na análise paramétrica de dados de tempo de vida. Por exemplo, se o modelo Log-normal for usado inadequadamente para um certo conjunto de dados, toda a análise estatística fica comprometida (COLOSSIMO; GIOLO, 2006).

A forma mais simples e eficiente de selecionar o "melhor" modelo a ser usado para um conjunto de dados é através de técnicas gráficas (COLOSSIMO; GIOLO, 2006).

Um método de verificação de ajuste simples e muito usado na análise de dados de sobrevivência consiste na linearização da função de sobrevivência tendo como ideia básica a construção de gráficos que sejam aproximadamente lineares caso o modelo proposto seja apropriado. Violações da linearidade podem ser rapidamente verificadas visualmente. O gráfico utilizado é o de uma transformação que lineariza a função de sobrevivência do modelo proposto. Isto gera como resultado final, uma reta se o modelo proposto for adequado. Esses gráficos são dados automaticamente em vários *softwares* estatísticos, por exemplo, o *software* Minitab[®], que foi usado neste trabalho. Para mais detalhes dessas técnicas ver por exemplo, Colosimo e Giolo (2006).

Outra possibilidade na verificação de ajuste de uma distribuição de probabilidade seria o uso de testes de aderência não-paramétricos, como por exemplo testes de Kolmogorov e Smirnov ou testes qui-quadrado de Pearson, apesar do poder desses testes, em geral não são muito bons. Por isso, em trabalhos aplicados, as técnicas gráficas são mais utilizadas na literatura para verificação do ajuste de um modelo estatístico.

ANEXO A – QUESTIONÁRIO SOBRE MOTIVAÇÃO E AUTONOMIA APLICADOS AOS FUNCIONÁRIOS DA MANUTENÇÃO

AUTONOMIA

Executo o meu trabalho de forma independente dos outros

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="text"/>										
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="text"/>										

Tenho liberdade para fazer praticamente tudo o que quero no meu trabalho

MOTIVAÇÃO

Orgulho-me de executar o meu trabalho o melhor que consigo

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="text"/>										
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="text"/>										

Tento pensar em diversas maneiras de fazer o meu trabalho de forma eficiente e eficaz

NOME:

DATA :

CRACHÁ: