

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE

RICARDO RASMUSSEN PETTERLE

**ANÁLISE DE DADOS DE VIDA APLICADA AO SENSOR DE
COMBUSTÍVEL**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

Curitiba
2015

RICARDO RASMUSSEN PETTERLE

**ANÁLISE DE DADOS DE VIDA APLICADA AO SENSOR DE
COMBUSTÍVEL**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Confiabilidade, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Emerson Rigoni

Curitiba
2015

RESUMO

PETTERLE, Ricardo Rasmussen. **ANÁLISE DE DADOS DE VIDA APLICADA AO SENSOR DE COMBUSTÍVEL**. Monografia do Curso de Especialização em Engenharia da Confiabilidade do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

O problema em estudo relaciona-se com a falha do sensor de combustível, modelo TX4, localizado no interior do tanque de combustível do caminhão. Foram analisados quatro modelos de caminhões com dados obtidos no Brasil, Chile e Peru. A conclusão deste trabalho mostra que a probabilidade de falha está ligada com o modelo do caminhão. No Brasil o modelo de caminhão que menos apresentou problemas de falha no sensor foi o modelo de caminhão C com uma probabilidade de falha estimada de 15, 80% para 18 meses de uso.

Palavras chave: Sensor de combustível, probabilidade de falha, caminhão, confiabilidade.

ABSTRACT

PETTERLE, Ricardo Rasmussen. ANALYSIS APPLIED LIFE DATA TO FUEL SENSOR. Monograph of Specialization in Reliability Engineering of Academic Department of Electrical Engineering at Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2015.

The problem in question is related to a fuel sensor failure, model TX4, located within the truck fuel tank. We analyzed four truck models with data obtained in Brazil, Chile and Peru. This work concluded that the probability of failure is associated with truck models. In Brazil, the truck model that presented fewer problems of sensor failure was C truck model with an estimated failure probability of 15.80% for 18 months of use.

Keywords: Sensor level, probability of failure, truck, reliability.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Quantidade de falhas e censuras apresentadas por modelo de caminhão para diferentes países em que os dados foram obtidos.....	5
Tabela 2 Casos particulares da distribuição Gama Generalizada na sua forma original.	12
Tabela 3 Comparação entre os 3 primeiros modelos de probabilidade ranqueados através dos valores da log-verossimilhança para cada modelo de caminhão considerando os dados do Brasil.	13
Tabela 4 Distribuições de probabilidades ajustadas, considerando dados do Brasil.	13
Tabela 5 Probabilidade de falha estimada para os dados do Brasil.	15
Tabela 6 Comparação entre os 3 primeiros modelos de probabilidade ranqueados através dos valores da log-verossimilhança para cada modelo de caminhão considerando os dados do Chile.	15
Tabela 7 Distribuições de probabilidades ajustadas, considerando dados do Chile	16
Tabela 8 Probabilidade de falha estimada para os dados do Chile	16
Tabela 9 Comparação entre os 3 primeiros modelos de probabilidade ranqueados através dos valores da log-verossimilhança para cada modelo de caminhão considerando os dados do Peru.....	17
Tabela 10 Distribuição de probabilidade ajustada, considerando dados do Peru.	17
Tabela 11 Probabilidade de falha estimada para os dados do Peru.....	18

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Sensor de combustível modelo TX4.	4
Figura 2 Curva de confiabilidade	7
Figura 3 Forma típica das funções de densidade $f(t)$, de confiabilidade $R(t)$ e de taxa de falha	8
Figura 4 Forma típica das funções de densidade $f(t)$, de confiabilidade $R(t)$ e de taxa de falha $h(t)$ da distribuição Weibull para alguns valores dos parâmetros (η, β) e $\gamma = 0$	9
Figura 5 Forma típica das funções de densidade $f(t)$, de confiabilidade $R(t)$ e de taxa de falha $\lambda(t)$ da distribuição Gama Generalizada, reparametrizada, para alguns valores dos parâmetros (μ, σ, λ)	11
Figura 6 Curvas estimadas referentes a função de distribuição acumulada, $F(t)$, da distribuição Gama Generalizada para os modelos de caminhão A, B, C e D referente aos dados do Brasil.	15
Figura 7 Curvas estimadas referentes a função de distribuição acumulada, $F(t)$, das distribuição Exponencial-2P e Weibull-3P para os modelos de caminhão A e B referente aos dados do Chile.	16
Figura 8 Curvas estimadas referentes a função de distribuição acumulada, $F(t)$, da distribuição.....	18

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. MATERIAL E MÉTODOS	3
2.1. MATERIAL	3
1.1.1. Descrição dos modelos de caminhão	4
2.2. MÉTODOS	5
2.2.1. VÁRIÁVEL DE INTERESSE	5
2.2.2. CENSURA	5
2.2.3. FUNÇÃO DE CONFIABILIDADE	6
2.2.4. A DISTRIBUIÇÃO EXPONENCIAL-2P	7
2.2.5. DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL-3P	8
2.2.6. DISTRIBUIÇÃO GAMA GENERALIZADA	10
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
3.1. ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS E SELEÇÃO DE MODELOS	12
4. CONCLUSÃO	18
5. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	19
REFERÊNCIAS.....	19

1. INTRODUÇÃO

Uma técnica estatística que vem sendo usada cada vez mais pelas empresas é a análise de dados de vida, já que é de interesse saber qual é o tempo de duração que seus produtos apresentam até falhar podendo, portanto, fazer provisionamento de custos. Além disso, é baseado nesta técnica que muitas decisões são tomadas durante o desenvolvimento de produtos e sistemas. A confiabilidade pode ser entendida como a probabilidade de que um componente ou sistema cumpra sua função com sucesso, ou seja, tenha um bom desempenho durante um período de tempo previsto, sob as condições de operação especificadas no seu projeto (LAFRAIA, 2007).

Segundo (MATOS & ZOTTI, 2010) atingir a satisfação dos clientes, melhorar a qualidade de seus produtos e reduzir custos tem sido a missão de muitas das empresas no mercado brasileiro e em especial no setor automobilístico, já que os principais fatores na decisão de compra de um veículo tem sido preço e confiabilidade. Esta metodologia vem sendo aplicada em diversos problemas da engenharia, (HULTMANN, 2011) estudou a confiabilidade de pneus de rodagem que foram submetidos a recapagens, construiu funções de confiabilidade para diversas marcas e modelos, comparou a quilometragem rodada dos pneus quando novos e após os recapes sofridos com objetivo de fornecer subsídios na tomada de decisão. Os principais resultados que podem ser obtidos com esta técnica estatística é saber o real desempenho de um produto, retorno financeiro e principalmente se o seu verdadeiro objetivo, definido no projeto de engenharia, está sendo cumprido. Sendo assim, os engenheiros tem a disposição elementos importantes para tomada de decisão quanto ao desenvolvimento de novos produtos ou até mesmo o aperfeiçoamento do produto atual para um mais robusto. Já a empresa tem um diagnóstico geral dos problemas podendo, portanto, tomar decisões quanto aos gastos com garantia e pós garantia.

O problema em estudo relaciona-se com a falha do sensor de combustível, modelo TX4, localizado no interior do tanque de combustível

do caminhão. Sua função é medir a quantidade de combustível no tanque e informar à unidade de comando, que envia o dado para o marcador no painel do caminhão. O problema relatado pelos clientes é a informação inconsistente da quantidade de combustível no tanque. Devido a esse problema, em alguns casos, o caminhão chega a parar. O sensor é um sistema não reparável, ou seja, após sua falha é necessário trocar a peça defeituosa por uma nova.

A falha do sensor pode estar vinculada a diversos fatores e condições de uso. O banco de dados possui informações de quatro modelos de caminhões (A, B, C e D) e registros de três países: Brasil, Chile e Peru. Cada modelo de caminhão possui sua particular característica referente a aplicação e configuração. A aplicação dos caminhões é diversificada, que dependendo do modelo é utilizada para o transporte de grãos, de minério de ferro, combustível ou até mesmo para entregas de carga de pequeno porte em áreas urbanas. Portanto, a aplicação do caminhão pode ser caracterizada em dois tipos: para uso rodoviário ou para uso fora da estrada. Já a configuração do caminhão depende das suas condições de uso e está associada ao tipo de suspensão e a quantidade de eixos. Esta informação não está disponível no banco de dados.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é analisar e comparar a probabilidade de falha dos quatro modelos de caminhões. A comparação entre os modelos de caminhões e os países, quando possível, será realizada. Existe, também, a hipótese de que os caminhões rígidos (caminhões sem articulação) apresentem probabilidade de falha diferente dos caminhões articulados. Neste trabalho entende-se por probabilidade de falha a função de distribuição acumulada, $F(t)$, que é apresentada de maneira formal na Seção 2.2 juntamente com sua definição e propriedades. O tempo até a falha do sensor de combustível é uma variável aleatória contínua e estritamente positiva, logo é necessário modelar esta probabilidade de falha com uma distribuição de probabilidade adequada para este tipo de dado. Para tanto, foram usadas as distribuições Exponencial-2P, Weibull-3P, Log-Normal, Gama, Gama Generalizada dentre outras. Como critério para a seleção da distribuição

de probabilidade, foram comparados os valores da função de log-verossimilhança com o objetivo de obter o melhor ajuste aos dados.

Para a análise dos dados foi utilizado o software estatístico Weibull++9 e para construção das figuras apresentadas na Seção 2.3 foi usado o software estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. MATERIAL

Para a obtenção dos resultados e alcance do objetivos propostos, utilizaram-se dados fornecidos por uma grande indústria multinacional do ramo automobilístico, contendo registros de falha do sensor de combustível modelo TX4 (ver Figura 1). A base de dados contém informações do Brasil, Chile e Peru, bem como existem quatro modelos de caminhão (A, B, C e D), num total de 6136 caminhões. A descrição referente a quantidade de falhas e censuras por modelo de caminhão e o país de onde vieram os dados encontram-se disponíveis na Tabela 1. Determinados caminhões não apresentaram a falha do sensor até um determinado tempo de uso e não foram descartados da análise estatística. Sendo assim, estas observações são caracterizadas como censuras. Na Seção 2.2 é descrita como são tratados dados censurados.

Cada caminhão durante o processo de montagem recebe um número de chassi que é sua identificação. É a partir deste número que informações importantes como ano de fabricação, modelo, tipo do motor, local de fabricação são obtidas. Após a produção do caminhão, ele vai para a concessionária que efetua sua venda gerando uma notificação de venda, que é registrada no banco de dados da empresa. É a partir deste momento que o caminhão entra oficialmente em circulação. Quando algum componente do caminhão falha, é a concessionária quem faz o reparo e envia uma solicitação de pagamento ao departamento de serviços da montadora. No sistema da montadora ficam registradas todas informações referentes ao problema como a data da

reclamação, causa, código do defeito, quilometragem e custo do reparo. Com base nesses dados que será feita a análise de dados de vida.

Figura 1 Sensor de combustível modelo TX4.



1.1.1. Descrição dos modelos de caminhão

- **Modelo A:** Projetado para uso fora da estrada, este caminhão pode ser rígido ou articulado.
- **Modelo B:** Caminhão articulado, projetado para estradas de longas distâncias.
- **Modelo C:** Caminhão rígido, projetado para rodovias de curta e médias distâncias.
- **Modelo D:** Caminhão articulado, projetado para rodovias de curta e médias distâncias

A quantidade de caminhões envolvidos neste estudo separados por modelo e por países encontram-se na Tabela 1:

Tabela 1 Quantidade de falhas e censuras apresentadas por modelo de caminhão para diferentes países em que os dados foram obtidos

Modelo	País		
	Brasil	Chile	Peru
A	F = 193/S = 322	F = 10/S = 94	F = 266/S = 708
B	F = 315/S = 382	F = 27/S = 32	-
C	F = 127/S = 3244	-	-
D	F = 100/S = 316	-	-

F: falha ; S: censura.

Geralmente, a aplicação dos caminhões difere, sobretudo, no uso rodoviário ou fora da estrada, bem como se ele é articulado ou rígido. Um ponto fundamental é o seu uso, que pode variar desde o transporte de grãos, minério de ferro ou até mesmo entregas de carga de pequeno porte em áreas urbanas. Os caminhões também possuem diferentes configurações, que dependem do tipo de uso. Essas configurações estão associadas a quantidade de eixos e o tipo de suspensão. Estas informações não estão disponíveis no banco de dados.

2.2. MÉTODOS

2.2.1. VÁRIÁVEL DE INTERESSE

Em análise de confiabilidade a variável resposta é o tempo de falha de um determinado evento de interesse, que pode ser, por exemplo, a falha de um equipamento ou sistema físico. Nesse estudo a variável de interesse é a falha do sensor de combustível, sendo esse tempo contado em meses.

2.2.2. CENSURA

A principal característica de dados de confiabilidade é a observação parcial da resposta, conhecida por censura ou suspensão. Determinados caminhões não apresentaram a falha do sensor até um determinado tempo de uso e não foram descartados da análise estatística. Estas observações são

as censuras, que devem ser incorporadas na análise estatística, pois fornecem informações sobre o tempo de falha do sensor de combustível e sua omissão pode acarretar conclusões viciadas e desta maneira a análise estatística estará sendo sub estimada. São conhecidos três tipos de censura, a intervalar, a censura à esquerda e a que está sendo utilizada neste trabalho, que é a censura à direita, caracterizada pelo tempo de ocorrência do evento estar a direita do tempo registrado.

2.2.3. FUNÇÃO DE CONFIABILIDADE

A função de confiabilidade, $R(t)$, é usada para calcular a probabilidade de um sensor de combustível funcionar até um determinado tempo t e sua função é dada por:

$$R(t) = P(T \geq t) = \int_t^{\infty} f(u) du \quad (1)$$

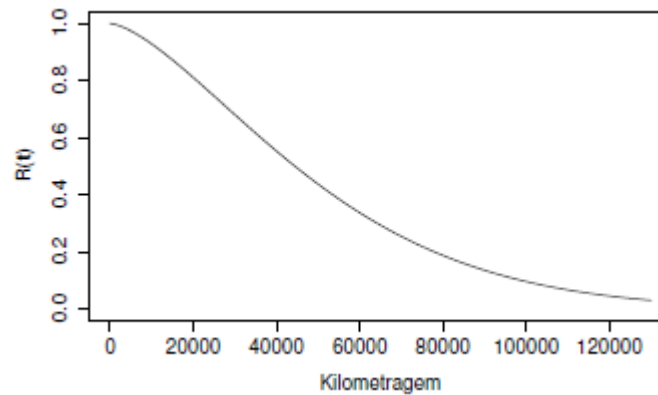
A função de distribuição acumulada, $F(t)$, pode ser obtida a partir da função de confiabilidade, pelo seu complementar da seguinte maneira:

$$F(t) = P(T \leq t) = 1 - R(t). \quad (2)$$

Com a função de distribuição acumulada pode-se calcular a probabilidade de um sensor de combustível falhar em um determinado tempo t .

A função de confiabilidade em um tempo inicial, $t = 0$, corresponde a 1, ou seja, $R(0) = 1$ e num tempo muito grande, ∞ , corresponde a zero, $R(\infty) = 0$. Na Figura 1 pode ser observada a forma típica da Curva de Confiabilidade.

Figura 2 Curva de confiabilidade



2.2.4. A DISTRIBUIÇÃO EXPONENCIAL-2P

A distribuição Exponencial-2P é muito utilizada na engenharia da confiabilidade, quando o interesse está no tempo de duração de produtos e sistemas (KECECIOGLU, 1991). Ela possui dois parâmetros sendo um de localização γ e outro de escala λ . Uma particular característica desta distribuição é que ela possui taxa de falhas constante ao longo do tempo.

A função densidade de probabilidade da distribuição Exponencial-2P é dada por:

A função densidade de probabilidade da distribuição Exponencial-2P é dada por:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda(t-\gamma)}, \lambda > 0 \text{ e } t \geq 0 \text{ ou } \gamma. \quad (3)$$

A função de confiabilidade, $R(t)$, é:

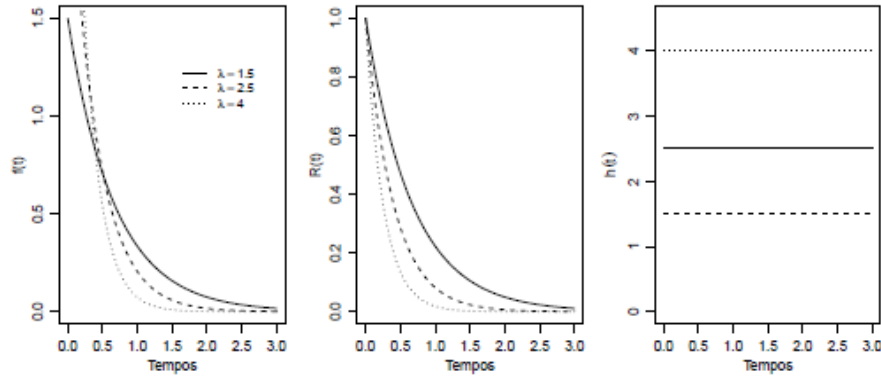
$$R(t) = e^{-\lambda(t-\gamma)}. \quad (4)$$

Sua taxa de falha, $h(t)$, é apresentada da seguinte maneira:

$$h(t) = \frac{\lambda e^{-\lambda(t-\gamma)}}{e^{-\lambda(t-\gamma)}} = \lambda, t \geq 0. \quad (5)$$

Note que o risco ou taxa de falhas, $h(t) = \lambda$, para um veículo em um “tempo presente” é o mesmo para um “tempo futuro”, pois $h(t)$ é constante ao longo do tempo. Na Figura 3 pode ser facilmente visualizada esta particular característica do modelo Exponencial

Figura 3 Forma típica das funções de densidade $f(t)$, de confiabilidade $R(t)$ e de taxa de falha



A média e variância da distribuição Exponencial-2P são dadas, respectivamente, por:

$$E(T) = \gamma + \frac{1}{\lambda} \quad e \quad V(T) = \frac{1}{\lambda^2}. \quad (6)$$

2.2.5. DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL-3P

A distribuição de Weibull é um modelo probabilístico versátil pois permite uma ampla aplicação em diversas áreas do conhecimento desde medicina, análise de sobrevivência, até a área industrial em análise de confiabilidade, sendo muito utilizada para modelar o tempo de vida de equipamentos e estimativas de falhas (WEIBULL, 1951). Os parâmetros desta distribuição fornecem uma grande flexibilidade para modelar quando o número de falhas aumenta com o tempo, diminui com o tempo ou permanecem constantes com o tempo. A distribuição de probabilidades Weibull-3P possui três parâmetros, um de forma, β , outro de escala denotado por η , estes ambos positivos, e o terceiro parâmetro de locação denotado por γ que pertence ao conjunto dos reais. Foi o engenheiro e matemático sueco, Ernst Hjalmar Waloddi Weibull, quem propôs esta distribuição de probabilidade, que hoje leva o seu nome.

A função densidade de probabilidade da distribuição de Weibull-3P é dada por:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta}}, \beta > 0, \eta > 0, -\infty < \gamma < \infty, t \geq \gamma. \quad (7)$$

Sua função de confiabilidade, $R(t)$, é apresentada a seguir:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta}}. \quad (8)$$

A taxa de falha, $h(t)$, é definida da seguinte maneira:

$$h(t) = \frac{\frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta}}}{e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta}}} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1}, \beta > 0, \eta > 0, -\infty < \gamma < \infty, t \geq \gamma. \quad (9)$$

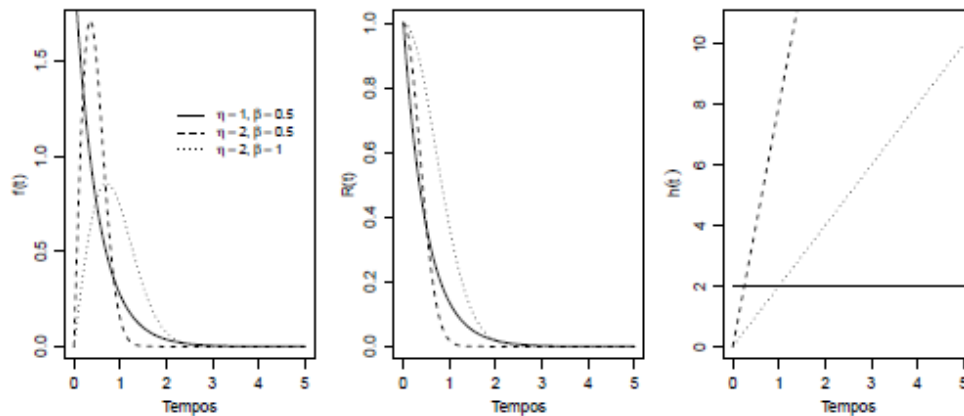


Figura 4 Forma típica das funções de densidade $f(t)$, de confiabilidade $R(t)$ e de taxa de falha $h(t)$ da distribuição Weibull para alguns valores dos parâmetros (η, β) e $\gamma = 0$

Por exemplo, mantendo o parâmetro $\eta = 2$ e diminuindo o valor do parâmetro β o tempo de confiabilidade diminui enquanto a taxa de falha aumenta. A média e variância da distribuição Weibull são dadas, respectivamente, por:

$$E(T) = \gamma + \eta \Gamma[1 + (1/\beta)] \quad e \quad V(T) = \eta^2 \left[\Gamma[1 + (2/\beta)] - \Gamma[1 + (1/\beta)]^2 \right], \quad (10)$$

em que a função gama, $\Gamma(n)$, é definida por $\Gamma(n) = \int_0^{\infty} x^{n-1} e^{-x} dx$.

2.2.6. DISTRIBUIÇÃO GAMA GENERALIZADA

A distribuição Gama Generalizada tem uma grande utilidade em análise de confiabilidade por ser um modelo probabilístico bastante flexível. É caracterizada por três parâmetros, β , k e θ , todos positivos, em que β e k são parâmetros de forma e θ é o parâmetro de escala. Na sua forma original sua função densidade de probabilidade é apresentada logo abaixo:

$$f(t) = \frac{\beta}{\Gamma(k)\theta} \left(\frac{t}{\theta} \right)^{k\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta}, t > 0 \text{ e } k, \beta, \theta > 0. \quad (11)$$

No modelo Gama Generalizada não temos uma expressão analítica para a função de confiabilidade, então pode-se fazer:

$$R(t) = \int_t^{\infty} \frac{\beta}{\Gamma(k)\theta} \left(\frac{u}{\theta} \right)^{k\beta-1} e^{-\left(\frac{u}{\theta}\right)^\beta} du, t > 0. \quad (12)$$

Por não apresentar forma analítica explícita a taxa de falha, $h(t)$, do modelo probabilístico Gama Generalizado pode ser representada da seguinte maneira:

$$h(t) = \frac{\frac{\beta}{\Gamma(k)\theta} \left(\frac{t}{\theta} \right)^{k\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta}}{\int_t^{\infty} \frac{\beta}{\Gamma(k)\theta} \left(\frac{u}{\theta} \right)^{k\beta-1} e^{-\left(\frac{u}{\theta}\right)^\beta} du}. \quad (13)$$

O *software Weibull++9* usa uma parametrização diferente da original. Em alguns casos a equação 11 pode apresentar problemas de convergência quando o método da máxima verossimilhança é utilizado para estimar os parâmetros da distribuição (LAWLESS, 1982). A seguinte reparametrização foi

proposta com o objetivo de utilizar uma expressão numericamente mais estável:

$$\mu = \ln(\theta) + \frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{1}{\lambda^2}\right), \quad (14)$$

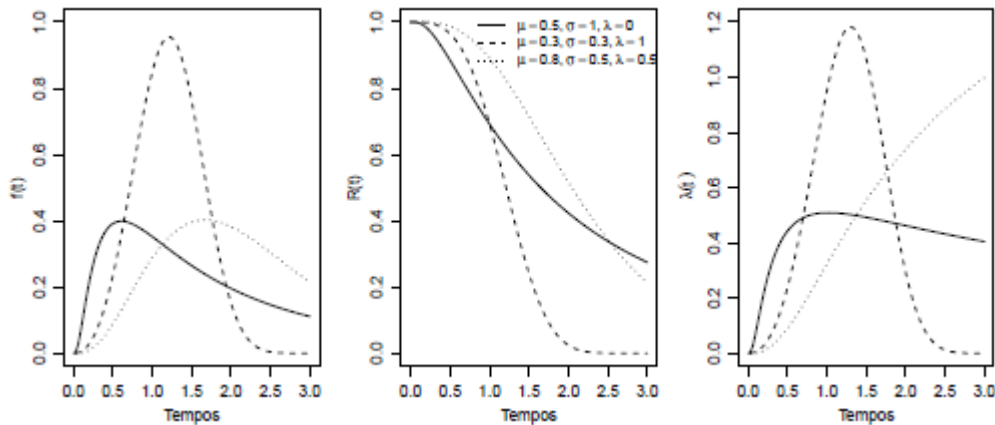
$$\sigma = \frac{1}{\beta\sqrt{k}}, \quad (15)$$

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{k}}, \quad (16)$$

para $-\infty < \mu < \infty$, $\sigma > 0$ e $\lambda > 0$. Assim, a função densidade de probabilidade, reparametrizada, da distribuição Gama Generalizada é expressa da seguinte maneira:

$$f(t) = \begin{cases} \frac{|\lambda|}{\sigma t} \cdot \frac{1}{\Gamma\left(\frac{1}{\lambda^2}\right)} \exp\left\{ \frac{\lambda \frac{\ln(t) - \mu}{\sigma} + \ln\left(\frac{1}{\lambda^2}\right) - e^{\lambda \frac{\ln(t) - \mu}{\sigma}}}{\lambda^2} \right\} & \text{se } \lambda \neq 0 \\ \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma}\right)^2} & \text{se } \lambda = 0 \end{cases} \quad (17)$$

Figura 5 Forma típica das funções de densidade $f(t)$, de confiabilidade $R(t)$ e de taxa de falha $\lambda(t)$ da distribuição Gama Generalizada, reparametrizada, para alguns valores dos parâmetros (μ, σ, λ) .



A média e variância da distribuição Gama Generalizada na sua forma original são dadas, respectivamente, por:

$$E(T) = \frac{\theta \Gamma\left(\frac{\beta k + 1}{\beta}\right)}{\Gamma(k)} \quad \text{e} \quad V(T) = \frac{\theta^2}{\Gamma(k)} \left\{ \Gamma\left(\frac{\beta k + 2}{\beta}\right) - \frac{\left[\Gamma\left(\frac{\beta k + 1}{\beta}\right)\right]^2}{\Gamma(k)} \right\}. \quad (18)$$

Tabela 2 Casos particulares da distribuição Gama Generalizada na sua forma original.

Casos Particulares	Distribuição de Probabilidade
$\beta = k = 1$	$T \sim \text{Exp}(\theta)$
$k = 1$	$T \sim \text{Weibull}(\beta, \theta)$
$\beta = 1$	$T \sim \text{Gama}(k, \theta)$
$k \rightarrow \infty$	$T \sim \text{Log-Normal}$

A partir da Tabela 2 vemos que a distribuição Gama generalizada tem diversos casos particulares, ou seja, para particulares valores dos seus parâmetros esta distribuição assume um outro modelo probabilístico.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos das técnicas de confiabilidade aplicada aos dados deste estudo. A apresentação dos resultados é feita na forma de gráficos e tabelas.

3.1. ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS E SELEÇÃO DE MODELOS

Aqui são apresentados os resultados obtidos com a seleção do modelo probabilístico que melhor se ajustou aos dados, usando como critério para esta seleção os valores da função de log-verossimilhança. Esta comparação foi realizada para cada modelo de caminhão separadamente.

Foram selecionados e ranqueados os três primeiros modelos de probabilidade de acordo com a saída computacional do software Weibull++9. Na sequência é apresentada uma tabela que contém cada modelo de caminhão e a distribuição que melhor se ajustou aqueles dados, bem como seus parâmetros estimados.

Tabela 3 Comparação entre os 3 primeiros modelos de probabilidade ranqueados através dos valores da log-verossimilhança para cada modelo de caminhão considerando os dados do Brasil.

	Rank	Distribuição de Probabilidade	Log-verossimilhança
Modelo A	1	Gama Generalizada	-656,92
	2	Exponencial-2P	-661,44
	3	Weibull-3P	-672,52
Modelo B	1	Gama Generalizada	-1025,34
	2	Exponencial-2P	-1038,16
	3	Weibull-3P	-1031,85
Modelo C	1	Gama Generalizada	-743,39
	2	Log-Normal	-743,37
	3	Weibull-3P	-744,49
Modelo D	1	Exponencial-2P	-368,69
	2	Gama Generalizada	-371,14
	3	Weibull-3P	-372,25

A partir da Tabela 3 vemos que a distribuição Gama generalizada se ajustou melhor para os modelos de caminhão A, B e C. Já para o modelo de caminhão D, foi a distribuição Exponencial-2P que melhor se ajustou aos dados.

Tabela 4 Distribuições de probabilidades ajustadas, considerando dados do Brasil.

	Distribuição de Probabilidade	Parâmetros
Modelo A	Gama Generalizada	$\mu = 1,44$
		$\sigma = 1,04$
		$\lambda = -1,73$
Modelo B	Gama Generalizada	$\mu = 1,41$
		$\sigma = 1,05$
		$\lambda = -1,46$
Modelo C	Gama Generalizada	$\mu = 4,02$
		$\sigma = 1,18$
		$\lambda = -0,09$
Modelo D	Exponencial-2P	$\lambda = 1/15,15$
		$\gamma = 2$

A Figura 6 mostra a probabilidade de falha estimada para os quatro modelos de caminhão considerando os dados do Brasil. Para modelar a probabilidade de falha, foi ajustada uma distribuição de probabilidade separada para cada modelo de caminhão. Afim de obter o melhor ajuste foi usado o critério da razão de verossimilhança. Finalmente, a distribuição Gama Generalizada foi o modelo probabilístico que teve o melhor ajuste para os quatro modelos de caminhão. Isto se deve, pois ela é uma distribuição de probabilidade flexível que se adapta facilmente a diversos problemas de engenharia. Esta distribuição possui três parâmetros, portanto, tem outros modelos probabilísticos como casos particulares, a saber: Exponencial, Weibull, Gama dentre outros.

Olhando na Figura 6 e na Tabela 5 vemos que o modelo de caminhão C é o que menos apresentou problemas no sensor de combustível, ou seja, sua probabilidade de falha estimada de 15, 80% para 18 meses de uso. Diferentemente do modelo de caminhão B que apresentou uma probabilidade de falha estimada de 70, 26% para 18 meses de uso.

Já o modelo A apresenta probabilidade de falha muito próxima do modelo B, isso ocorre tanto para 6 meses de uso como para 18 meses (ver Tabela 5). Para modelo de caminhão D estima-se que 23, 19% venham apresentar falha no sensor logo nos primeiros 6 meses de uso e 65, 20% para 18 meses.

Uma possível diferença na probabilidade de falha, do sensor de combustível modelo TX4, entre os modelos de caminhão é a aplicação dos veículos. O modelo B é um veículo articulado, projetado para estradas de longas distâncias. Já o modelo C é um veículo rígido, projetado para rodovias de curta e médias distâncias. O único modelo para uso fora da estrada é o A além do que ele é um veículo projetado para ser rígido ou articulado dependendo das necessidades do cliente.

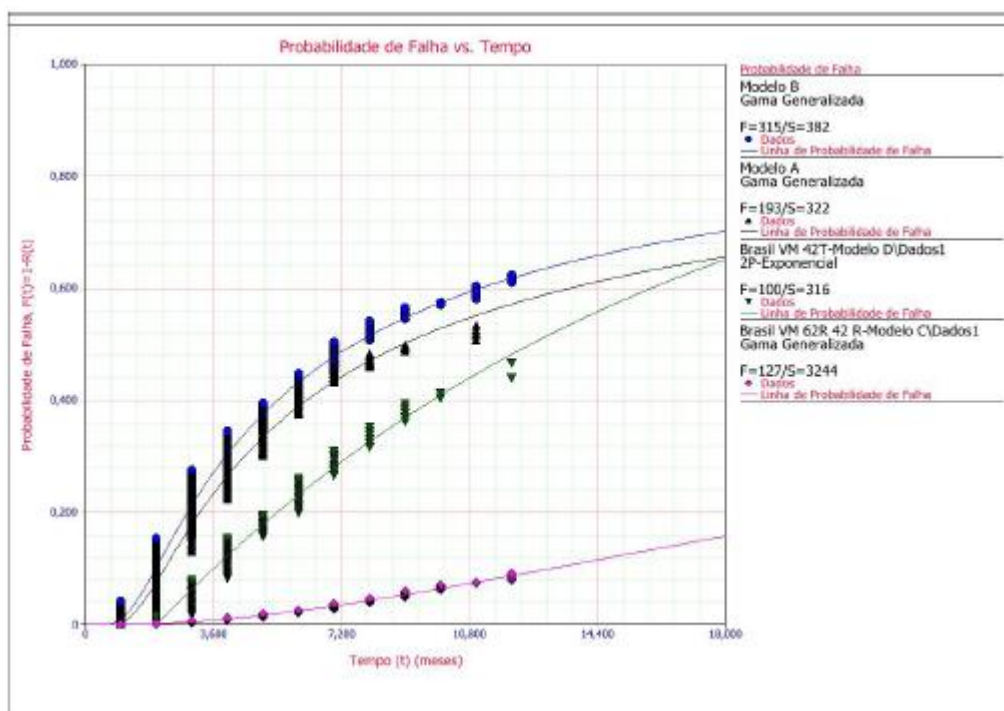


Figura 6 Curvas estimadas referentes a função de distribuição acumulada, $F(t)$, da distribuição Gama Generalizada para os modelos de caminhão A, B, C e D referente aos dados do Brasil.

Tabela 5 Probabilidade de falha estimada para os dados do Brasil.

Rank	Modelos	Tempo de uso		
		6 meses	12 meses	18 meses
1	B	43,27%	61,87%	70,26%
2	A	39,00%	57,23%	65,63%
3	D	23,19%	48,30%	65,20%
4	C	2,42%	8,73%	15,80%

Tabela 6 Comparação entre os 3 primeiros modelos de probabilidade ranqueados através dos valores da log-verossimilhança para cada modelo de caminhão considerando os dados do Chile.

	Rank	Distribuição de Probabilidade	Log-verossimilhança
Modelo A	1	Weibull-3P	-52,58
	2	Exponencial-2P	-52,66
	3	Gama Generalizada	-53,00
Modelo B	1	Weibull-3P	-72,91
	2	Gama Generalizada	-78,54
	3	Exponencial-2P	-84,75

A partir da Tabela 6 vemos que a distribuição Weibull-3P se ajustou melhor para os modelos de caminhão A e B.

Tabela 7 Distribuições de probabilidades ajustadas, considerando dados do Chile

Distribuição de Probabilidade		Parâmetros
Modelo A	Weibull-3P	$\beta = 0,97$
		$\eta = 72,67$
		$\gamma = 1,58$
Modelo B	Weibull-3P	$\beta = 0,57$
		$\eta = 9,37$
		$\gamma = 2,91$

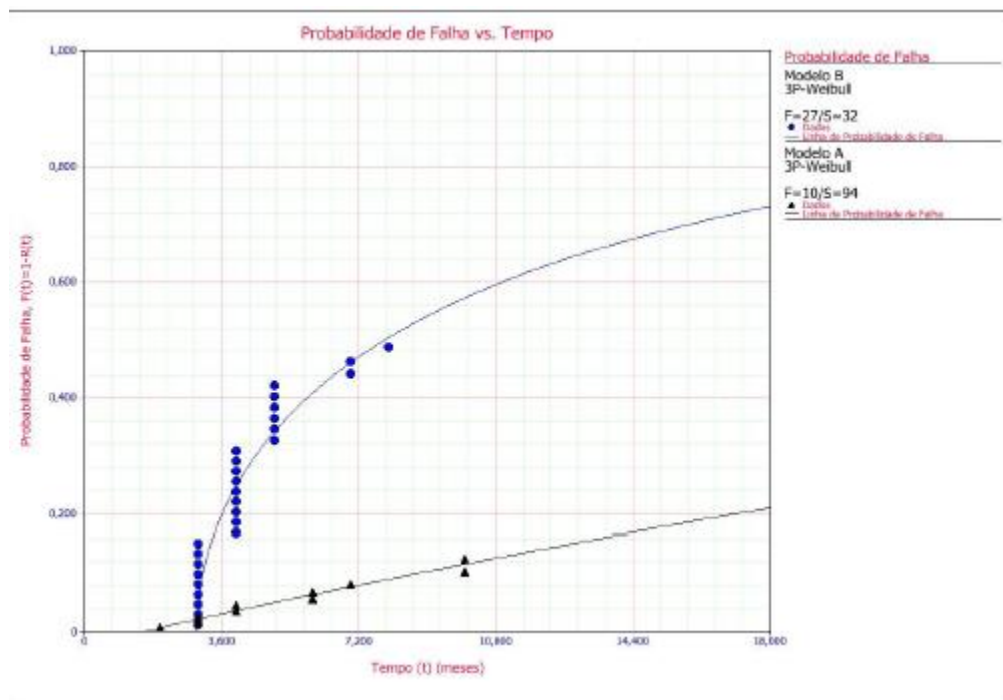
Figura 7 Curvas estimadas referentes a função de distribuição acumulada, $F(t)$, das distribuição Exponencial-2P e Weibull-3P para os modelos de caminhão A e B referente aos dados do Chile.

Tabela 8 Probabilidade de falha estimada para os dados do Chile

Rank	Modelos	Tempo de uso		
		6 meses	12 meses	18 meses
1	B	40,91%	62,55%	73,20%
2	A	6,38%	14,08%	21,02%

Apesar dos dados do Peru apresentarem somente um modelo de caminhão, modelo A, podemos ter uma idéia do comportamento deste caminhão em solo peruano. A partir da Figura 8 e da Tabela 11 vemos que a

probabilidade de falha estimada para 6 e 18 meses de uso, respectivamente, são 26, 17% e 45, 82%. Fazendo uma comparação deste mesmo modelo com os dados do Brasil temos que o modelo A, brasileiro, ainda é o que mais apresenta problemas de falha no sensor de combustível, ou seja, a probabilidade de falha estimada para o caminhão que circula no Brasil é superior quando comparado ao veículo que circula em solo peruano.

Como o modelo A é projetado para operar fora da estrada, e além disso, pode ser rígido ou articulado não se sabe exatamente suas condições de uso. Portanto, não se pode tirar nenhuma conclusão desta comparação entre os dois países. Independente das condições de uso deste modelo de caminhão, a probabilidade estimada de falha é alta, pois estima-se que 39, 00% e 26, 17% dos caminhões que circulam em solo brasileiro e peruano, respectivamente venham a apresentar falha no sensor logo nos primeiros 6 meses de uso.

Tabela 9 Comparação entre os 3 primeiros modelos de probabilidade ranqueados através dos valores da log-verossimilhança para cada modelo de caminhão considerando os dados do Peru.

	Rank	Distribuição de Probabilidade	Log-verossimilhança
	1	Gama Generalizada	-1030,88
Modelo A	2	Weibull-3P	-1033,43
	3	Exponencial-2P	-1041,50

Pela Tabela 9 a distribuição Gama Generalizada foi quem melhor se ajustou aos dados do modelo de caminhão A.

Tabela 10 Distribuição de probabilidade ajustada, considerando dados do Peru.

	Distribuição de Probabilidade	Parâmetros
		$\mu = 1,48$
Modelo A	Gama Generalizada	$\sigma = 1,27$
		$\lambda = -2,73$

Figura 8: Curvas estimadas referentes a função de distribuição acumulada, $F(t)$, da distribuição Gama Generalizada para o modelo de caminhão A referente aos dados do Peru.

Figura 8 Curvas estimadas referentes a função de distribuição acumulada, $F(t)$, da distribuição

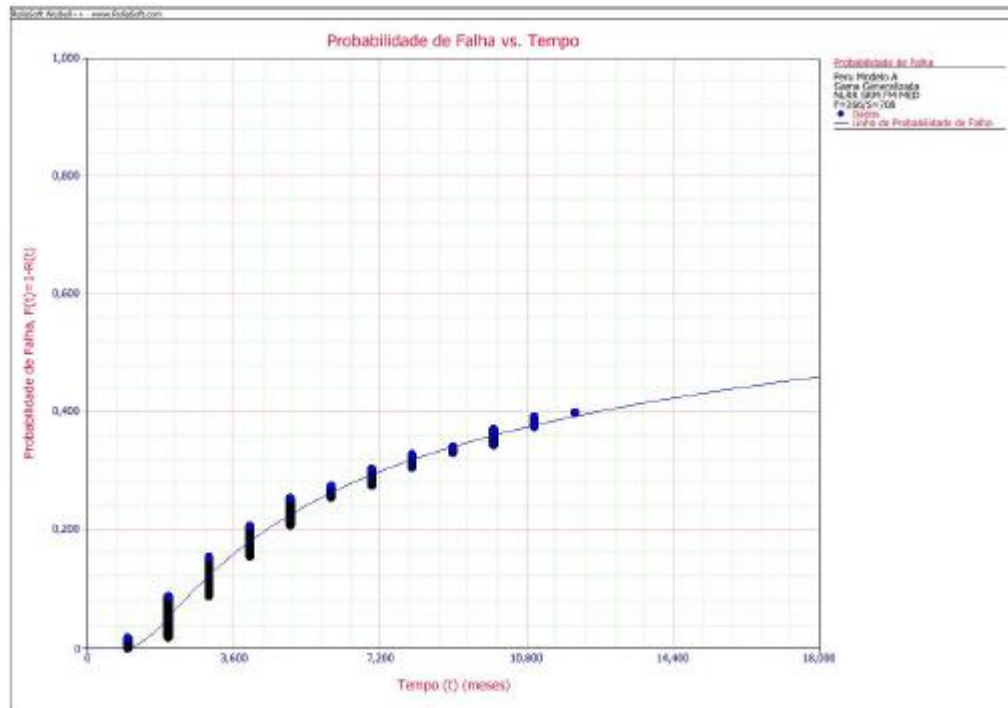


Tabela 11 Probabilidade de falha estimada para os dados do Peru.

Rank	Modelos	Tempo de uso		
		6 meses	12 meses	18 meses
1	A	26,17%	39,17%	45,82%

Comparando a probabilidade de falha do modelo de caminhão A do Peru com os outros dois países, vemos que neste país a falha não é tão alta quanto no Brasil, porém não é tão baixa quanto no Chile. Se fossemos ranquear a probabilidade de falha para o modelo A, que é o único em comum nos três países, o Peru ficaria em segundo lugar.

4. CONCLUSÃO

A probabilidade de falha do sensor de combustível é diferente entre os caminhões, os modelos articulados são os que mais falham. Possivelmente a falha nesses modelos é maior devido sua articulação, que gera uma

intensidade de vibração maior. A comparação entre os quatro modelos de caminhões e os três países não foi possível pela falta de dados. Considerando os dados do Brasil vemos que a probabilidade de falha do modelo B (articulado) é maior do que o modelo C (rígido), sendo que este modelo apresenta probabilidade de falha estimada em 15, 80% para 18 meses de uso.

O principal ganho com a aplicação desta técnica estatística foi obter estimativas da probabilidade de falha do sensor de combustível para diferentes tempos pré determinados e poder analisar e comparar a falha entre os quatro modelos de caminhões.

5. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Utilizar a técnica estatística conhecida como análise de variância (ANOVA), com objetivo de verificar se fatores como: i) uso rodoviário ou uso fora da estrada, ii) rígidos ou articulados são fatores influentes na variável resposta, tempo até a falha do sensor, bem como se a combinação desses fatores é significativa.

REFERÊNCIAS

[1]HULTMANN, Rogério de Jesus; **Estudo de Confiabilidade de Pneus de Rodagem**, 2011. 184p. Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia) - CESEC- Universidade Federal do Paraná, 2011.

[2]KECECIOGLU, Dimitri, **Reliability Engineering Handbook**, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, Vol. 1, 1991.

[3]LAFRAIA, J.R.B. **Manual da Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**.

4 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras, 2007.

[4]LAWLESS, J.F., **Statistical Models And Methods for Lifetime Data**, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1982.

[5]MATOS, P.Z. ; ZOTTI, D.M. **Análise de Confiabilidade Aplicada à Indústria para Estimção de Falhas e Provisionamento de Custos**, 2010. 59p. Trabalho de Conclusão de Curso-Estatística. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

[6]R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statis- tical Computing**. The R Project for Statistical Computing, 2011. ISSN 3-900051-07-0. Disponível em: <www.R-project.org>

[7]WEIBULL, W. (1951), **A statistical distribution function of wide applicability**, J. Appl. Mech.-Trans. ASME 18 (3): p.293–297.

