

MODELO PARA DIMENSIONAR AS AÇÕES NO PERÍODO DE GARANTIA

Liane Werner

Departamento de Estatística e PPG em Engenharia de Produção - UFRGS
Av. Bento Gonçalves, 9500 – Porto Alegre – RS CEP: 90540-000
e-mail: liane.werner@ufrgs.br

RESUMO

A fim de manter ou melhorar a imagem no mercado, as empresas buscam constantemente aumentar a confiabilidade de seus produtos. Visando auxiliar nesta tarefa, este trabalho tem por objetivo de mostrar uma forma de modelar os tempos de falha ao longo do calendário dentro do período de garantia, obtendo estatísticas importantes para avaliar a confiabilidade dos produtos para este período. Com auxílio da distribuição de probabilidade obtida é possível estimar o percentual de produtos de um lote, que irão falhar no período de garantia. Além disto, com base nas quantidades vendidas mês a mês pode-se estimar o montante de falhas em determinado mês no futuro. Por fim, para enriquecer a análise, o estudo mostra o balanceamento entre o lucro por unidade vendida e a perda por unidade que falha dentro da garantia e dimensiona a quantidade de equipes ou postos de assistência técnica.

Palavras-chaves: garantia, qualidade, confiabilidade

Tópico: IND (PO na indústria) ; EST (Estatística)

ABSTRACT

In order to maintain or improve the image in the market, companies constantly seek to increase the reliability of their products. Aiming at assist in this task, this work aims to show the modeling of failure times during the calendar inside the warranty period, obtaining important statistics to evaluate the reliability of products for this period. With the assistance of the obtained probability distribution can estimate the percentage of products of a lot that will fail during the warranty period. In addition, based on the quantities sold period to period can estimate the amount of failures in a given period in the future. Finally, to enrich the analysis, the study shows the balance between the profit per unit sold and the loss per unit that fails inside warranty and scales the number of teams or service stations.

Keywords: warranty, quality, reliability

Paper topics: IND (PO na indústria) ; EST (Estatística)

1. Introdução

As recentes mudanças no mercado consumidor mundial têm exigido das empresas esforços cada vez maiores de sobrevivência, seja pela obtenção de prazos e preços competitivos, pela flexibilidade produtiva ou ainda pelo aumento na qualidade de seus produtos.

Para assegurar uma boa imagem frente aos clientes, as empresas procuram aumentar a qualidade de seus produtos. Conforme [Levin e Kalal, 2003], durante muito tempo os consumidores tomaram suas decisões a cerca dos produtos considerando a melhor qualidade, quando estes apresentavam preço similar, porém os consumidores nos últimos anos passaram a considerar a confiabilidade nas suas escolhas.

Posto isto, as empresas visam que seus produtos tenham altos níveis de confiabilidade. Para [Dror 2014], a fim de satisfazer as necessidades do cliente e alcançar um nível de confiabilidade desejado, diferentes tipos de atividades devem ser realizadas pelo fabricante, tais como planejamento e concepção de um produto e também a gestão no que se refere a confiabilidade. Feito isto, os produtos passam a ter alta confiabilidade, maior durabilidade e, conseqüentemente, reduzem os encargos no período de garantia.

Por outro lado, a falta de confiabilidade do produto irá gerar a insatisfação do cliente, uma vez que as falhas implicam em indisponibilidade do produto e eventuais gastos inesperados com reparo e substituições. Para o cliente, a ocorrência de falhas gera toda a espécie de transtornos; para o fabricante, as falhas geram perda de fatia de mercado.

Para poder atingir a confiabilidade é preciso entender o significado desse termo. [Elsayed, 2012] define confiabilidade como sendo a probabilidade de um produto, submetido às condições especificadas no projeto, desempenhar suas funções, durante um período de tempo também especificado.

Uma forma de avaliar essa confiabilidade é conhecer o tempo de sobrevivência do produto, medido em horas contínuas de uso. No entanto, tal informação não é suficiente para informar quando as falhas irão ocorrer ao longo do tempo (calendário).

Este artigo está estruturado em cinco seções. A primeira delas consiste desta introdução que apresenta o tema e o objetivo. Após é feita a apresentação do problema que se busca solução, buscar estimar o tempo de falhas no calendário. Na seção três é apresentada a forma de como modelar matematicamente as falhas em busca da solução da situação em voga. Na seção quatro é apresentado um estudo das falhas no período de garantia e por fim, são apresentadas as conclusões.

2. Apresentação do problema

Do ponto de vista empresarial é de extrema importância estimar ao longo do calendário quando as falhas devem ocorrer. A modelagem desse tempo irá permitir o correto dimensionamento das equipes de manutenção e assistência técnica, além de possibilitar previsões referentes aos custos de garantia.

A análise de custos de garantia baseado na confiabilidade obtida no campo, permite avaliar o impacto dos fatores que afetam estes custos e possibilita estabelecer estratégias

eficazes para reduzir estes custos [MURTHY, 2007]. Para [Jiang, 2015], os custos esperados de garantia dependem dos requisitos de garantia e ações de manutenção associados, e podem ser reduzidos através da melhoria de confiabilidade e do controle de qualidade do produto.

Com vistas a tomar ações dentro do período de garantia, o objetivo principal deste trabalho é realizar a modelagem dos tempos de falha dentro do período de garantia, permitindo estimativas período a período do número esperado de falhas, tal como mês, por exemplo, permitindo avaliar as ações necessárias no período. Primeiramente é realizada a modelagem para as falhas associadas a um único lote de produção. Posteriormente, a modelagem é estendida para o caso de vários lotes. Em cada situação, são fornecidas estatísticas para dar suporte às decisões necessárias ao planejamento e administração dos serviços de garantia e assistência técnica.

3. Modelagem matemática

Para modelar o número de falhas ao longo do tempo, é preciso, inicialmente, conhecer a distribuição das seguintes variáveis: (i) *O tempo de vida do produto, em horas contínuas de uso* (X_1) em geral, o setor de engenharia detém essa informação e que pode ser obtida através de ensaios de laboratório ou em dados obtidos com o cliente quando do uso do produto; (ii) *O tempo de uso do produto em horas por dia* (X_2): dependendo do produto e do cliente, o uso efetivo pode ser de poucos minutos a várias horas por dia. Um uso mais intenso implica maior desgaste, e a falha é antecipada. A distribuição do tempo de uso pode ser conhecida através de uma pesquisa de mercado junto aos clientes.

A modelagem da situação apresentada exige que se trabalhe com as duas variáveis descritas acima. O procedimento passo a passo é o seguinte:

Passo 1: Gerar amostras com tempos característicos de X_1 (tempo de vida do produto) e X_2 (tempo de uso do produto).

Passo 2: O intervalo de tempo no calendário entre o início do uso do produto até a primeira falha é computado como o quociente entre o tempo de vida do produto, em horas de uso contínuo, e o tempo de uso do produto, em horas por dia, conforme mostra a equação (1).

$$Y = X_1 / X_2 \tag{1}$$

Os valores da variável Y representam o comportamento das falhas ao longo do calendário, em dias.

Passo 3: Análise da distribuição dos tempos de falhas ao longo do calendário. A distribuição dos valores de Y é discretizada em intervalos convenientes de tempo (falhas mês a mês, por exemplo). Esses resultados são mais representativos para fins administrativos e facilitam a análise.

Passo 4: Até o passo 3 a análise foi feita para um único lote de produção, mas na prática as quantidades produzidas se sucedem período após período (mês, por exemplo). Então, para estimar o montante de falhas em um determinado período no futuro, é preciso somar as estimativas de falhas oriundas da produção realizada ao longo de todos os períodos anteriores.

4. Aplicação da modelagem matemática

Nesta seção é apresentado um estudo de caso que ilustra os detalhes da modelagem proposta. Essa modelagem é bastante flexível e admite qualquer distribuição de origem para as variáveis iniciais X_1 e X_2 .

No estudo de caso que será discutido, as distribuições de probabilidade dessas variáveis encontram-se na Tabela 1 e foram ajustadas a partir de dados reais coletados durante a análise de um protótipo de um produto eletromecânico.

Variável	Modelo	L (Localiz.)	γ (Gamma)	θ (Theta)	Média
X_1 : Tempo de vida	Weibull	310	2,0	650	577 horas
X_2 : Tempo de uso	Weibull	0	3,3	1,5	1,35 h/dia

Tabela 1: Parâmetros das distribuições de probabilidade das variáveis iniciais

O modelo de Weibull foi escolhido porque ele representa bem distribuições assimétricas limitadas à esquerda, como frequentemente se observa na análise de tempos.

A distribuição de Weibull é expressa em função de três parâmetros: o parâmetro de localização (L), o parâmetro de forma (Gamma), e o parâmetro de escala (Theta). A função densidade de probabilidade para o modelo de Weibull é apresentada na equação (2) [ELSAYED, 2012].

$$f(t) = \frac{\gamma}{\theta} \left(\frac{t-L}{\theta} \right)^{\gamma-1} \exp\left(-\left(\frac{t-L}{\theta}\right)^\gamma\right) \quad (2)$$

A Figura 1 apresenta a função densidade de probabilidade para o tempo de vida e para o tempo de uso do produto no estudo hora realizado.

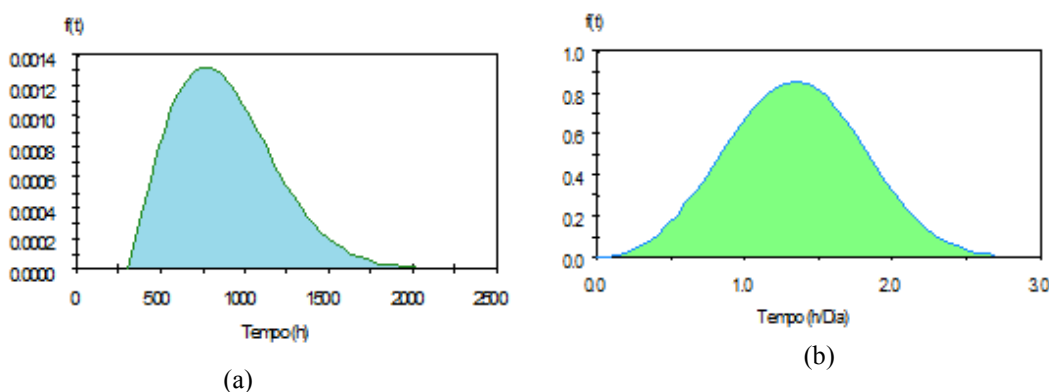


Figura 1: Funções densidade de probabilidade para: (a) X_1 : Tempo de vida (horas) e (b) X_2 : Tempo de uso (horas/dia)

Conhecidas as variáveis X_1 e X_2 , o próximo passo consiste em gerar valores para as variáveis X_1 e X_2 . Ressaltando que, para a distribuição de Weibull, um tempo associado a uma dada confiabilidade R é calculado como dado na equação (3).

$$t = L + \theta \times \left[(-\ln(R))^{1/\gamma} \right] \quad (3)$$

Usando a equação (3) e a título de exemplificação foram gerados 5 tempos para X_1 e X_2 . Os resultados são apresentados na Tabela 2.

	X_1 : tempo até a falha em dias	X_2 : tempo de uso em horas/dia
Localização	310	0
Gamma	2	3,3
Theta	650	1,5

Confiabilidade	Tempos característicos	
0,9	521,0	0,76
0,7	698,2	1,10
0,5	851,2	1,34
0,3	1023,2	1,59
0,1	1296,3	1,93

Tabela 2: Parâmetros das distribuições e tempos característicos para X_1 e X_2

Obtidos os valores dos tempos (vida e uso), estes são combinados para gerar os valores de Y, ou seja, calculam-se os tempos até a falha ao longo do tempo. Na tabela 3 são apresentados os valores de Y para estes 5 valores. Esses tempos até a falha revelam o comportamento do produto ao longo do calendário e podem ser usados para fins de estimativa ou avaliação do prazo de garantia.

X_1 : tempo até a falha em dias	X_2 : tempo de uso em horas/dia	Y: tempos de falhas ao longo do calendário em dias
521,0	0,76	685,53
698,2	1,10	634,73
851,2	1,34	635,22
1023,2	1,59	643,52
1296,3	1,93	671,66

Tabela 3: Tempos no calendário até a primeira falha

Por motivos didáticos, foram gerados apenas 5 valores para as variáveis X_1 e X_2 . Em aplicações práticas, as quantidades de produtos em cada lote são maiores, sendo assim foi simulado um lote com 1000 unidades. Depois de obtidos os valores de Y, tempo até a falha ao longo do tempo, estes foram discretizados em períodos menores. Na figura 2 são apresentados os valores do tempo até a falha ao longo do tempo em dias, já discretizados.

Uma vez conhecidas as quantidades de falhas ao longo do tempo (dias corridos discretizados) pode-se obter as frequências acumuladas para estimar o percentual de produtos que estarão dentro da garantia.

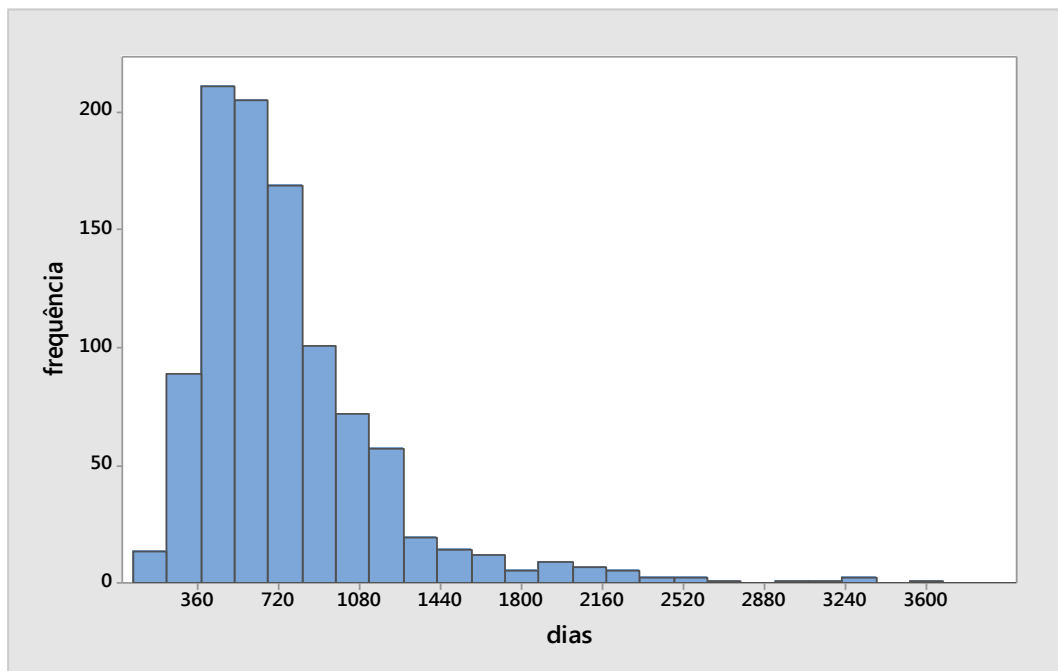


Figura 2: Quantidades de falhas ao longo do tempo para a simulação do lote de produção

A tabela 4 mostra o percentual acumulado de produtos em cada período de tempo, o prazo de garantia estipulado para esse produto (um ano) encontra-se na primeira classe, observa-se que 8,7% das unidades produzidas irão falhar antes do final do prazo de Garantia. Esse percentual é elevado, o que indica que a confiabilidade do produto deve ser melhorada para minimizar os gastos da empresa no prazo de garantia.

Y: tempos de falhas ao longo do calendário em dias	Percentual de falhas no período	Percentual acumulado de falhas no período
0-360	8,7%	8,7%
360-720	48,5%	57,2%
720-1080	27,5%	84,7%
1080-1440	9,1%	93,8%
1440-1800	2,7%	96,5%
1800-2160	1,8%	98,3%
2160-2520	0,9%	99,2%
2520-2880	0,1%	99,3%
2880-3240	0,2%	99,5%
3240-3600	0,2%	99,7%
3600-3960	0,1%	99,8%
4680-5040	0,1%	99,9%
5040-5400	0,1%	100,0%

Tabela 4: Percentual acumulado de produtos em cada período de tempo

5. Estudo das falhas no período de garantia

Conforme [Karim e Suzuki, 2005] diferentes modelos estatísticos e métodos são utilizados para analisar os dados de garantia e tornam-se ferramentas valiosas para estudar a confiabilidade do produto e assim poder gerenciar a garantia. Corroborando com esta ideia, de acordo com [Hill et al., 1991] idealmente, determinar os custos de garantia deve ser abordado por uma forma analítica, formulando modelos matemáticos apropriados, visando expressar, por exemplo, custo/lucro por transação prevista ou custos/lucros no prazo de garantia, como funções dos parâmetros do modelo.

Frente a isto, aqui é apresentado um modelo que busca sanar a preocupação para o total de falhas dentro do período de garantia, o que depende do volume de vendas já realizado e programado para os próximos períodos.

Conhecida a quantidade vendida período a período, é possível estimar o montante de falhas em um determinado período no futuro. Para tanto, é preciso somar as estimativas de falhas oriundas das vendas realizadas ou programadas ao longo de todos os períodos anteriores, por exemplo, ao mês em questão.

Com base nas quantidades supostamente vendidas por mês ao longo de três anos, como apresentado na tabela 4, tem-se para cada mês a quantidade estimada de produtos que irão falhar. A quantidade de produtos que irão falhar é obtida pelo produto dos percentuais de falhas em cada período (no caso mês) e a quantidade vendida naquele período. Porém para se ter a estimativa das falhas em um período no futuro é necessário um descompasso (para o futuro) em relação ao período anterior e fazer o acumulado. Essa é uma tarefa trabalhosa, que o auxílio de um software é fundamental. O gráfico da figura 3 apresenta simultaneamente as vendas, apresentadas na tabela 5 e as falhas previstas.

Ano	Mês	Vendas	Ano	Mês	Vendas	Ano	Mês	Vendas
I	1	500	II	1	1000	III	1	750
I	2	500	II	2	1000	III	2	750
I	3	750	II	3	1000	III	3	500
I	4	750	II	4	1000	III	4	500
I	5	1000	II	5	1000	III	5	250
I	6	1000	II	6	1000	III	6	250
I	7	1000	II	7	1000	III	7	0
I	8	1000	II	8	1000	III	8	0
I	9	1000	II	9	1000	III	9	0
I	10	1000	II	10	1000	III	10	0
I	11	1000	II	11	1000	III	11	0
I	12	1000	II	12	1000	III	12	0

Tabela 5: Vendas mês a mês, realizado e programado.

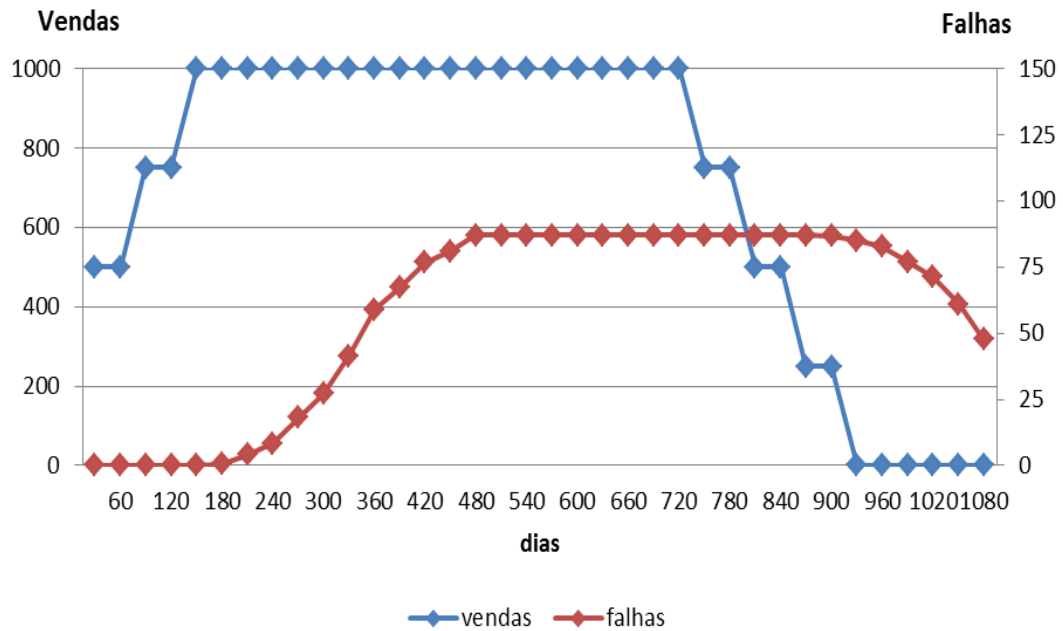


Figura 3: Vendas e estimativa de falhas no período de garantia

Com nos dados disponíveis, é possível fazer outras inferências de grande interesse. Por exemplo, é possível fazer um balanço de ganhos por unidades vendidas e perdas por falhas no prazo de garantia.

Para o estudo em questão, suponha que o lucro por unidade vendida seja de R\$ 100,00; enquanto que, a perda monetária por unidade que falha dentro do prazo de garantia seja de R\$ 25,00. Então, ao longo destes 3 anos a empresa iria ter um lucro de aproximadamente 2 milhões e meio de reais e dispenderia R\$ 52.825,00 com custo de garantia, o que representa 2,1% dos lucros.

Conforme o estudo de [Murthy, 2007], os custos de garantia variam entre 2 e 10% do preço de venda, dependendo do produto e do fabricante. Desta forma, a confiabilidade do produto é muito importante para que não se tenha perdas financeiras elevadas dentro do período em que o produto está na garantia.

Uma análise mais detalhada pode ser vista na figura 4, os lucros são maiores no início das vendas do produto e observa-se prejuízo no final, quando as vendas diminuem, mas continua o trabalho de assistência técnica.

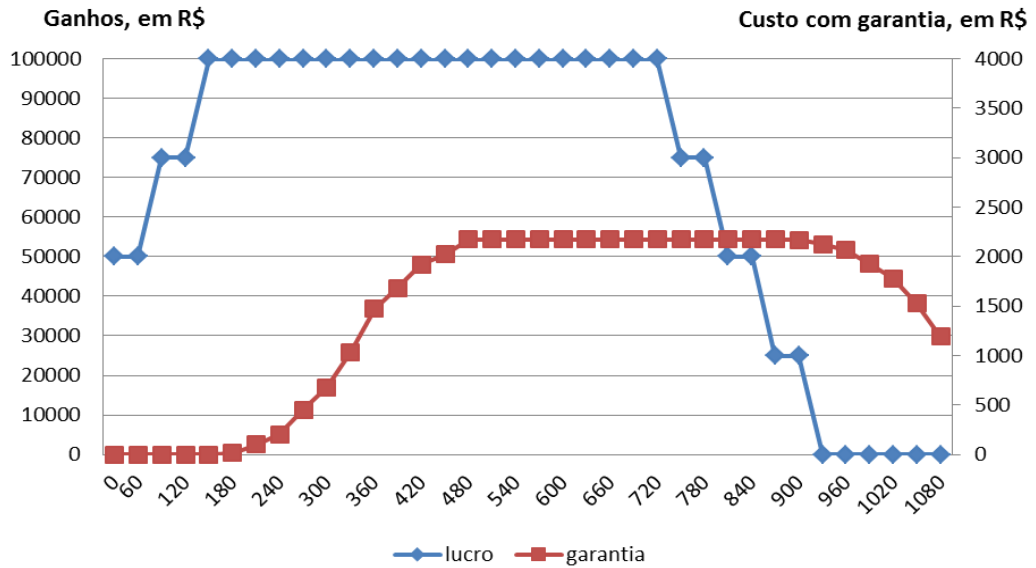


Figura 4: Evolução do lucro e custo com garantia

Uma vez que o total de falhas mês a mês já foi estimado, outra inferência prática que pode ser feita refere-se ao dimensionamento das equipes ou postos de assistência técnica na garantia. Para o estudo em questão, suponha que cada equipe pudesse atender 20 falhas por mês. Nesse caso, a necessidade de equipes de assistência técnica seria conforme aparece na Figura 5.

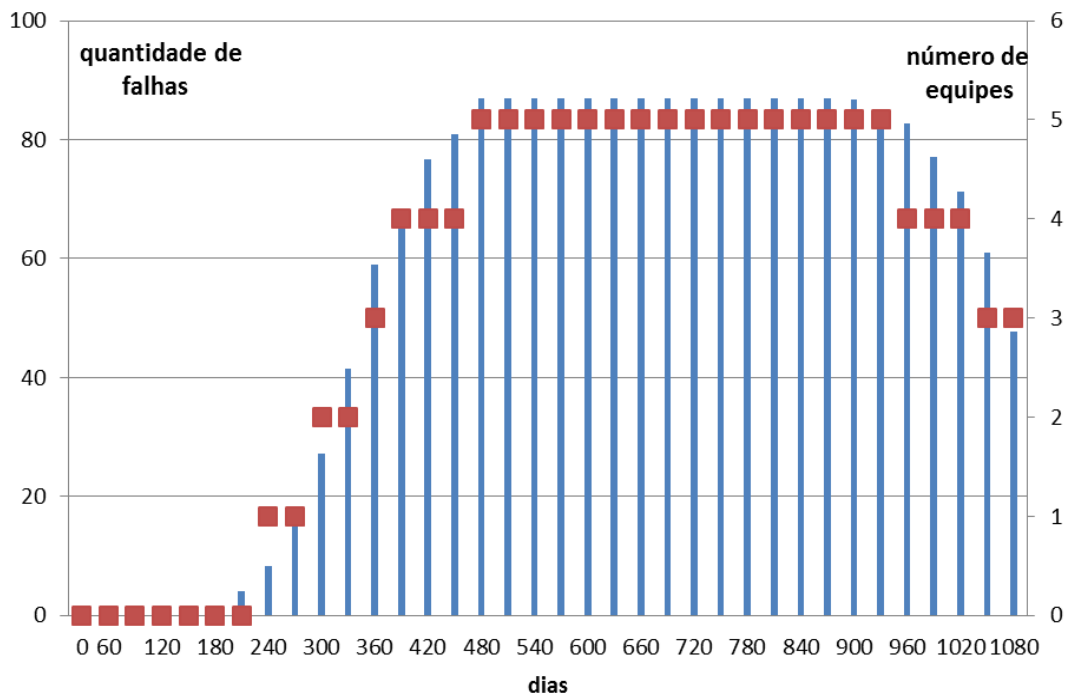


Figura 5: Total de falhas e necessidade de postos de assistência técnica

Como pode ser visto na figura 5, os postos atendem as reclamações, que sempre vêm defasadas em relação às vendas. Para produtos de maior confiabilidade, a defasagem é maior e a necessidade de postos é menor.

Outro aspecto que pode ser analisado é quando diversos *grupos de clientes* que eventualmente utilizem um mesmo modelo de produto. Muitas vezes os clientes se dividem em dois grupos principais: profissionais e amadores. Para cada um desses grupos a distribuição de tempo de uso será diferente. Tipicamente, profissionais terão um tempo de uso maior (usam o produto mais tempo), usam o produto mais intensamente, e estão mais propensos a reclamar que os amadores.

Outras vezes, os grupos de clientes podem representar diferentes regiões ou países, onde as diferenças de hábito, clima e cultura irão conduzir a diferenças no tempo de uso.

6. Conclusões

Através da modelagem dos tempos de falha no calendário pode-se obter informações do número esperado de produtos que irão falhar em certo período no futuro, mês por exemplo. De posse desta informação é possível estimar a porcentagem de unidades que irão falhar dentro do prazo de garantia para um lote único. Além disto, pode-se aprofundar o estudo levando em consideração o fato que não se comercializa apenas um lote, mas vários lotes. Uma vez conhecidos as falhas para vários lotes é possível gerar estatísticas fazendo uso do lucro esperado das vendas com as perdas no período de garantia.

Estas estatísticas são fundamentais para administrar a empresa no que se refere ao período de garantia, mas é essencial que seja dimensionado o número de equipes ou postos de assistência técnica para fazer crescer a imagem frente aos clientes.

Além destas informações um outro fator de interesse podem ser incorporado na análise dos dados para aumentar a eficiência dos resultados, a saber o grupo de clientes.

Utilizando algumas informações, que em geral estão disponíveis na empresa, pode-se fazer um bom planejamento das atividades de garantia, e assim satisfazer o cliente em mais um serviço com qualidade.

REFERÊNCIAS

1. DROR, S.(2014) House of Reliability Costs: Developing Reliability Program Activities. *Quality and Reliability Engineering International*, v.30 n.3, p.375-380
2. ELSAYED, E. A.(2012) *Reliability Engineering*. John Wiley & Sons, 2ª edition, 850 p.
3. HILL,V.L., BEALL,C.W. & BLISCHKE, W.R. (1991) A simulation model for warranty analysis. *International Journal of Production Economics*, 22, p.131-140.
4. JIANG, R. (2015) *Introduction to Quality and Reliability Engineering*, Springer, 326 p
5. KARIM,R. & SUZUKI,K.(2005) Analysis of warranty claim data: a literature review. *International Journal of Quality & Reliability Management*, v. 22, n. 7, p. 667-686,
6. LEVIN, M. A. & KALAL, T. T. (2003) *Improving Product Reliability: Strategies and Implementation*. John Wiley & Sons, 342 p.
7. MURTHY, D.N.P. (2007) Product reliability and warranty: an overview and future research. Invited Paper. *Produção*, v. 17, n. 3, p. 426-434.