

Testes de *burn-in*

Rui Assis (Eng.º Mec. Ph.D. IST)

rassis@rassis.com

www.rassis.com

Março-2016

Resumo

Burn-in é um termo anglo-saxónico que designa um teste usado na fabricação discreta e repetitiva de produtos, com o objectivo de eliminar itens defeituosos que apresentem tempos de vida inferiores ao tempo especificado, de modo a que só os que passam no teste cheguem ao mercado com a fiabilidade desejada. Estes testes são realizados durante um intervalo de tempo (período) determinado por cálculo (período de burn-in) em condições físicas que simulam situações típicas de uso ou até mais severas (testes de vida acelerada). Os itens que sobrevivem são aceites e colocados em serviço, vendidos ou submetidos a testes adicionais. Este artigo descreve os métodos de cálculo que permitem determinar os períodos adequados de burn-in em duas situações: quando apenas interessa garantir um certo valor de fiabilidade a qualquer custo e quando os custos envolvidos devem ser tidos em conta.

Palavras-chave: *Testes de burn-in, Período de burn-in, Fiabilidade, Curva da banheira, Taxa instantânea de falhas, Risco de falha, Probabilidade condicionada de falha, Período de garantia*

Introdução

Este artigo sobre testes de *burn-in*, vem juntar-se a outros três [1], [2], [3] que escrevi para a revista QUALIDADE. Embora não tenha focado a minha vida profissional no tema Qualidade, é verdade que ele sempre andou por perto e interrelacionado. Todos estes temas surgiram em algum, ou mais momentos e, como de costume, espicaçaram a minha curiosidade de Engenheiro e levaram-me a estudá-los. Em algumas ocasiões, mesmo, a pô-los em prática em empresas diversas na minha actividade de consultor em Economia Operacional. Tratei-os também no âmbito de aulas em Universidades e em acções de formação inter e intra empresas. O tema de testes de *burn-in* surgiu-me por três vezes: pela primeira vez, há muitos anos, na fabricação de lâmpadas na Philips em Eindhoven, na fabricação de cabinas de comutação telefónica digital na Alcatel em Cascais e na fabricação de autorrádios na Pioneer no Seixal. No primeiro caso como actor e no segundo e terceiro casos como espectador. Mais uma vez me entusiasmou a perspectiva da eficiência, em complemento da sempre necessária eficácia, em todas as actividades de natureza operacional desenvolvidas em empresas industriais. Conforme já deixei escrito no artigo sobre garantias e contratos de assistência após-venda [2], a fiabilidade é a expressão da qualidade ao longo do tempo. Mais uma vez, a fiabilidade surge nesta perspectiva neste quarto e último artigo.

Conforme já foi referido na sinopse, um teste (ou ensaio) de *burn-in* é um processo pelo qual se garante (com um determinado nível de confiança) que um sistema não sofrerá falhas antes de decorrido um determinado período de utilização. Para tal, os componentes que compõem o sistema são ensaiados em condições simuladas da realidade ou, por vezes, mais exigentes, de modo a que as falhas infantis se manifestem e os componentes falhados sejam substituídos ou reparados, antes de o sistema chegar ao mercado e ser colocado em serviço. No caso de componentes electrónicos ou de circuitos integrados complexos, os testes são realizados frequentemente em condições de vida acelerada causando-lhes *stress*, fazendo-os funcionar em condições de temperatura e de humidade elevadas seguindo perfis temporais predefinidos, ao mesmo tempo que sujeitos a sobretensões. As placas de circuitos impressos, e quadros eléctricos completos podem também ser sujeitos a vibrações e, mesmo, choques. No caso dos quadros eléctricos, também a jactos de água se forem destinados a funcionar no exterior.

Por vezes, as falhas podem surgir da interacção entre diferentes componentes, circunstâncias nas quais os sistemas são testados já montados com todos os seus componentes. É, por exemplo, o caso de motores de combustão interna, tendo-se popularizado, neste caso, o termo “rodagem”, teste este que hoje é realizado em fábrica, de modo a prevenir reclamações resultantes da manifestação de falhas infantis nas viaturas já nas “mãos” dos clientes.

Os testes de *burn-in* constituem todavia um custo importante de produção, pelo que devem ser criteriosamente concebidos, seguindo Normas e optando, sempre que possível, por testes (ou Ensaios) Não Destrutivos (END). Obviamente, que será sempre preferível eliminar as causas “raiz” das falhas infantis em lugar da realização de testes de *burn-in*. Porém, no início da fabricação de novos produtos, estes ensaios terão de ser realizados – idealmente, aproveitando-se a circunstância para identificar e eliminar cada nova causa raiz surgida.

1. Conceitos básicos

1.1 Curva de Mortalidade (ou de Sobrevivência) [4], [6]

Conforme já ilustrado em [2], as funções de fiabilidade são usadas como representações da vida de um componente – na verdade, são leis de vida, pois podem generalizar-se a todos os seres vivos, incluindo os humanos (ver a este propósito a aplicação EXCEL “Esperança de vida_2012-2014” em <http://www.rassis.com/estatistica.html>). São elas as seguintes:

- Densidade de probabilidade de falha $f(t)$;
- Probabilidade acumulada de falha $F(t)$ ou de sucesso $R(t)$;

- Função de risco $h(t)$.

A curva $h(t)$, representando a curva de mortalidade (ou de sobrevivência), é vulgarmente conhecida por curva da “banheira” (ou *bathtub curve*). Nesta curva distinguem-se três períodos característicos: período de infância, período de maturidade e período de degradação.

A função $h(t)$ encontra-se representada graficamente na Figura 1. Notemos que $h(t)$ é uma probabilidade condicional, isto é, encontra-se condicionada ao número de órgãos sobreviventes N_s no momento t e é deduzida a partir das outras funções de fiabilidade, pela Expressão (1).

$$h(t) = -\frac{1}{R(t)} \cdot \frac{dR(t)}{dt} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (1)$$

Esta é uma Expressão fundamental em fiabilidade, pois é independente da forma particular da função de probabilidade considerada. Graficamente, podemos ver a função $h(t)$ na Figura 1, juntamente com a função densidade de probabilidade $f(t)$, a função de fiabilidade $R(t)$ e a função acumulada de falha $F(t)$. As aplicações EXCEL “Função de risco” e “Ensaio de interruptores” em [4] clarificam estes conceitos.

Esta função resulta da sobreposição de vários modos de falha:

- 1) Modos de falha infantis ($h(t)$ decrescente), os quais, originados durante o processo de fabrico, se existirem, manifestar-se-ão muito provavelmente no início da vida, podendo todavia, vir a manifestar-se mais tarde com probabilidade decrescente;
- 2) Modos de falha casuais ($h(t)$ constante e igual a λ), os quais, com causa extrínseca, poderão manifestar-se em qualquer momento do ciclo de vida;
- 3) Modos de falha por degradação ($h(t)$ crescente), os quais, com causa intrínseca, manifestar-se-ão seguramente no fim de vida, podendo todavia, manifestar-se mais cedo com probabilidade decrescente.

Notar que um componente de um sistema poderá nunca vir a falhar por causas infantis – sobretudo se tiver sido submetido a testes de *burn-in* no fabricante – assim como poderá nunca vir a falhar por causas extrínsecas (casuais) mas falhará sempre no período de degradação – se aqui chegar.

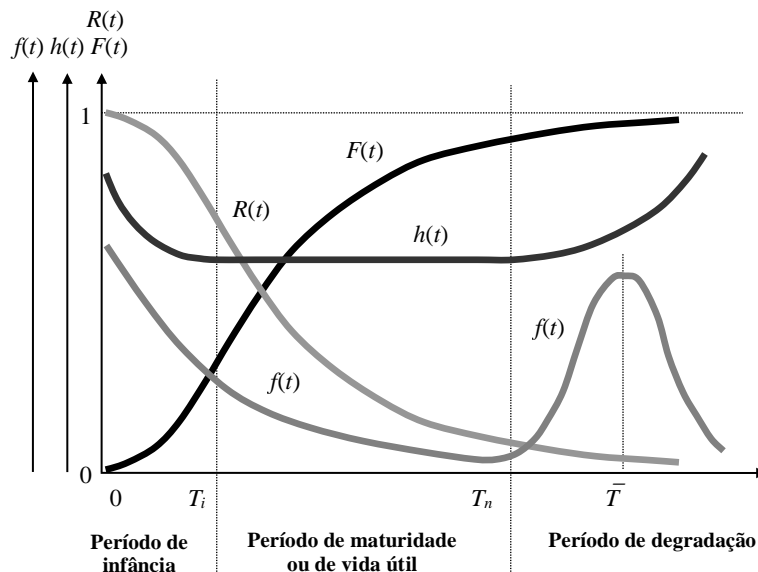


Figura 1 – Curvas representativas da vida de um componente, sendo T_n a vida nominal e \bar{T} a vida média

Quando os itens de uma amostra são novos e entram em funcionamento, apresentam uma taxa instantânea elevada de falhas $h(t)$, a qual decresce rapidamente até que os componentes atingem a idade T_i . Este período designa-se por período de infância (ou de mortalidade infantil, *early-life period*, *burn-in period*, *debugging period*, etc.). Aqueles defeitos devem-se a várias causas intrínsecas possíveis: projecto deficiente, defeitos de fabrico (um vazio numa peça fundida...), controlo de qualidade deficiente, instalação/montagem incorrecta,...

A forma eficaz de minimizar este problema, para além dos necessários cuidados de projecto e rigor de fabrico, consiste na prática em testar a totalidade da produção em condições de serviço simulado (ou rodagem) antes da entrada em serviço efectivo nas “mãos” dos clientes. Este tipo de teste é conhecido por *burn-in*, conforme referido anteriormente.

Quando todos os itens originalmente deficientes já falharam, tendo sido eliminados ou rectificadas, verifica-se que a taxa instantânea de falhas $h(t)$ estabiliza num valor quase constante λ . Este período designa-se por período de maturidade (ou período de vida útil) e estende-se por parte significativa da vida em serviço de um órgão.

No período de maturidade, a função de risco $h(t)$ é praticamente constante e designa-se por taxa de falhas, sendo representada por λ . A função de risco $h(t)$ e a taxa de falhas λ podem ser melhor compreendidas através de uma analogia: uma viatura realizou uma viagem a uma velocidade média de 100 Km/hora (equivalente à taxa de falhas λ), embora tenha percorrido diversas partes do percurso a velocidades instantâneas diferentes (equivalente a $h(t)$).

Neste período de maturidade, as falhas têm origem extrínseca, sendo frequentemente devidas a solicitações de operação superiores às projectadas, ocorrendo de forma casual, podendo dar origem a acidentes graves (por exemplo, um furo num pneu, um rolamento que parte devido a uma sobrecarga acidental provocada por um operador, uma placa electrónica que é destruída por correntes eléctricas induzidas pelo campo electromagnético resultante de uma descarga electrostática na atmosfera...).

No caso, por exemplo, dos aparelhos electrónicos, as causas que mais contribuem para as falhas são: a temperatura excessiva, a sobretensão, a humidade, as variações bruscas de temperatura, a vibração e os choques mecânicos.

Conforme ilustrado na Figura 2, os componentes electrónicos apresentam uma curva de mortalidade (ou de sobrevivência), durante o período de vida útil, praticamente constante. No caso dos componentes mecânicos, a curva de mortalidade torna-se gradualmente crescente, devido ao surgimento precoce de degradação.

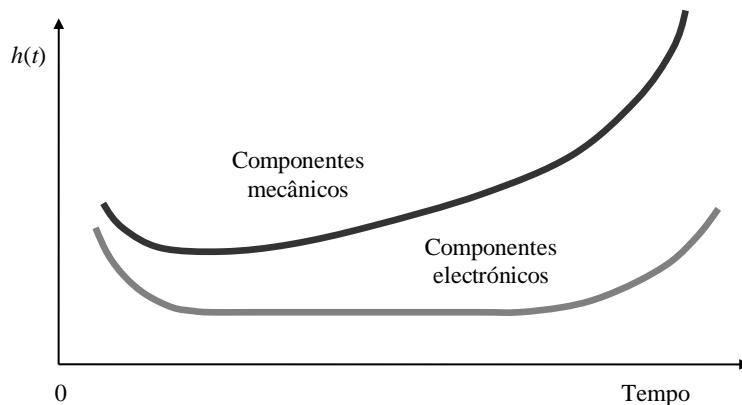


Figura 2 – Evolução da taxa instantânea de falhas nos casos de componentes mecânicos e electrónicos

Nos casos de *hardware* e de *software*, as curvas de mortalidade apresentam o comportamento típico ilustrado na Figura 3. No caso do *software*, o sucessivo *debugging* ao longo de várias revisões explica a tendência decrescente.

Após a idade T_n (vulgarmente designada por vida nominal) ser atingida (ver a Figura 1), a taxa instantânea de falhas $h(t)$ cresce acentuadamente em consequência de fenómenos de degradação:

- Fluência (Deformação plástica que ocorre num material em resultado de uma carga estática aplicada durante muito tempo e ampliada pelo efeito do calor);
- Fadiga mecânica, térmica e oligocíclica (Ciclos curtos de flutuação térmica como, por exemplo, os ciclos pára-arranca);
- Corrosão (atmosférica, química ou electroquímica);
- Erosão (desgaste).

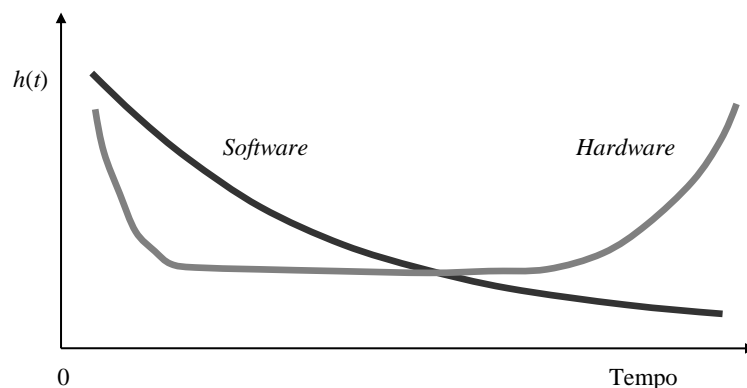


Figura 3 – Evolução da taxa instantânea de falhas de hardware e de software

Este período é designado por período de degradação (ou de envelhecimento).

O período de degradação pode ser evitado se substituirmos preventivamente o órgão antes de este atingir a idade T_n , ou beneficiarmos o seu estado, de forma a adiar o momento T_n , isto é, a prolongar significativamente a sua vida útil.

1.2 Testes de *burn-in* [6], [7]

Conforme dito anteriormente, o objectivo de um teste de *burn-in* é o de aumentar a vida residual de um produto em resultado de ter sobrevivido ao período de *burn-in*. Os itens que falharam são eliminados e substituídos por outros novos provenientes da mesma população, ou são reparados para as condições iniciais. Em consequência, os itens que sobrevivem apresentarão um MTTF (*Mean Time To Failure*) superior ao MTTF da população original.

A duração do teste de *burn-in* (período de *burn-in*) necessário para se conseguir a fiabilidade desejada R^* , é determinada, a partir do cálculo de probabilidades, pela seguinte equação não-linear:

$$R(\Delta t|T) = \frac{R(\Delta t + T)}{R(T)} \quad (2)$$

Em que R representa a fiabilidade (para qualquer distribuição de probabilidade, sendo a de *Weibull* a mais comum), Δt representa a vida útil especificada do produto uma vez operacional e T representa a duração do teste de *burn-in*.

Se a quantidade de itens entregues a um teste de *burn-in* for N , a quantidade de itens que falharão durante este teste $n_{f(T)}$ será dada pela Expressão (3):

$$n_{f(T)} = N.[1 - R(T)] \quad (3)$$

E a quantidade que sobreviveu ao teste e que irá falhar durante a vida útil especificada (ou garantida) $n_{f(\Delta t)}$, tendo em conta a Expressão (2), será calculada por:

$$n_{f(\Delta t)} = N.R(T).[1 - R(\Delta t|T)] = N.R(T).[1 - R(\Delta t + T)/R(T)] = N.[R(T) - R(\Delta t + T)] \quad (4)$$

Obviamente que um teste de *burn-in* só se justifica se a condição $R(\Delta t) < R^*$ for verdadeira.

O teste deverá ser prolongado até que se verifique a condição $R(\Delta t | T) \geq R^*$. Ou seja, é necessário que o produto no início da sua fase de operação apresente uma fiabilidade para a missão Δt (vida útil especificada), dado ter sobrevivido ao teste que durou o tempo T , igual ou superior à fiabilidade desejada R^* .

A Expressão (2) pode tomar a forma da Expressão (5):

$$R(\Delta t | T)R(T) - R(\Delta t + T) = 0 \quad (5)$$

No caso da distribuição de *Weibull* (a mais comumente representativa de falhas, na qual o parâmetro de forma α , no caso de falhas infantis, assume valores inferiores a 1) [2],[4],[6], e tendo em conta a condição limite $R(\Delta t | T) = R^*$, o período de *burn-in* pode ser encontrado resolvendo numericamente a seguinte equação não-linear (6):

$$R^* \cdot \exp\left[-\left(\frac{T}{\beta}\right)^\alpha\right] - \exp\left[-\left(\frac{\Delta t + T}{\beta}\right)^\alpha\right] = 0 \quad (6)$$

Ou, recorrendo ao EXCEL:

$$R^* \cdot (1 - \text{WEIBULL}(T; \alpha; \beta; 1)) - (1 - \text{WEIBULL}(\Delta t + T; \alpha; \beta; 1)) = 0 \quad (7)$$

Expressão na qual:

- R^* – Fiabilidade desejada em serviço;
- T – Período de *burn-in*;
- Δt – Momento no tempo em que a fiabilidade $R(\Delta t)$ é conseguida;
- $R(\Delta t)$ – Fiabilidade especificada que os itens ensaiados devem possuir no momento Δt ;
- α – Parâmetro de forma da distribuição de probabilidade de *Weibull*;
- β – Parâmetro de escala da distribuição de probabilidade de *Weibull*

O período de *burn-in* pode também ser determinado em função dos custos pertinentes em cada contexto específico. O custo total é encontrado através de uma análise de compromisso (*trade-off*) entre os custos que ocorrerão em resultado do teste de *burn-in* e os custos das falhas que ocorrerão já na fase de operação nas “mãos” dos clientes (deve incluir o custo de eventuais garantias). Trata-se pois de uma análise custo-benefício, na qual o teste pára quando o custo incremental da sua extensão por mais uma unidade de tempo (custo) supera o custo decremental (economia gerada ou benefício) das falhas consequentes após o teste. A Expressão (8) resulta deste raciocínio [6], ou seja, o custo esperado $E[C]$ por cada unidade submetida a teste deve ser mínimo. Este custo é igual à soma:

[Custo do teste de *burn-in* de cada item C_b + Custo de cada item falhado e perdido durante o teste C_f + Custo de cada item falhado durante o período de vida útil C_o]

Interessa pois saber qual deverá ser o valor de T , de modo a que $E[C]$ resulte mínimo, o que se consegue adoptando um método numérico de resolução.

$$E[C] = c_b \cdot T + c_f \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{T}{\beta} \right)^\alpha \right] \right\} + c_o \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{T}{\beta} \right)^\alpha \right] - \exp \left[- \left(\frac{T + \Delta t}{\beta} \right)^\alpha \right] \right\} \quad (8)$$

Expressão na qual: $E[C]$ – Custo esperado global;
 c_b – Custo por unidade de tempo do teste de *burn-in*;
 c_f – Custo de cada item falhado durante o teste de *burn-in*;
 c_o – Custo resultante de cada falha uma vez o item na fase operacional;
 T – Duração de teste de *burn-in*;
 Δt – Vida operacional especificada dos itens ensaiados (vida garantida).

A Figura 4 ilustra estas funções.

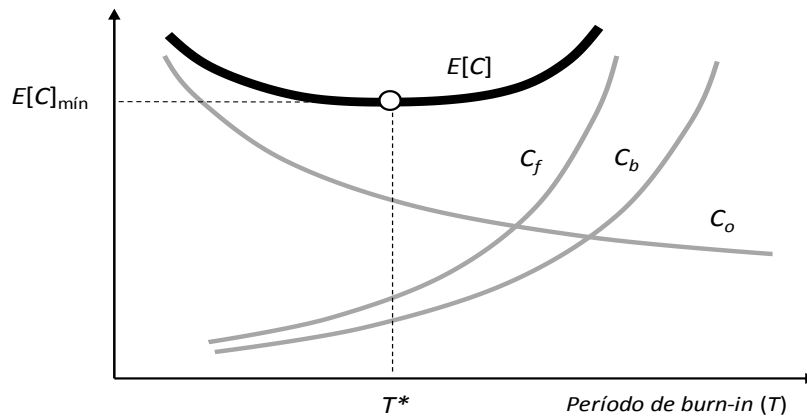


Figura 4 – Evolução característica das funções de custo num teste de burn-in

2. Exemplos de aplicação (as resoluções em EXCEL dos dois casos aqui descritos encontram-se em <http://www.rassis.com/manutencao.html>)

Exemplo 1

Um teste de fiabilidade (sobrevivência) mostrou que um determinado produto apresenta um comportamento a falhas infantis segundo uma distribuição de *Weibull* com os parâmetros $\alpha = 0,6$ e $\beta = 50.000$ horas de operação. Determinar o período recomendado de *burn-in* para que a fiabilidade especificada de $R^* = 0,9$ para uma vida garantida de 1.500 horas seja conseguida.

Sem realização do teste de *burn-in*, o produto apresenta uma fiabilidade para uma missão $\Delta t = 1.500$ horas, $R(\Delta t = 1.500)$, igual a [2]:

$$R(\Delta t = 1.500) = e^{-\left(\frac{1.500}{50.000}\right)^{0,5}} = 0,885170 < 0,9$$

Como este valor de fiabilidade para a missão de 1.500 horas, é inferior ao valor

especificado/desejado ($R^* = 0,9$), torna-se necessário um período de *burn-in*.

Substituindo os dados na Expressão (6), obtém-se:

$$0,9 \cdot \exp\left[-\left(\frac{T}{50.000}\right)^{0,6}\right] - \exp\left[-\left(\frac{1.500+T}{50.000}\right)^{0,6}\right] = 0 \quad (9)$$

Resolvendo a equação (9) por um método numérico (usando o algoritmo “GRG *Nonlinear*” do SOLVER no EXCEL, por exemplo), obtém-se: $T = 75,22 \cong 75$ horas. Logo, $R(\Delta t = 1.500 | 75) = 0,9$. Ou seja, 0,9 será a fiabilidade (probabilidade de sobrevivência) de qualquer item para um período de 1.500 horas de funcionamento, depois de ter sobrevivido durante 75 horas às condições de *burn-in*.

Complementarmente, podemos determinar quantas unidades do produto falharão durante o teste recorrendo à Expressão (3) e ao EXCEL. Teremos, então, por cada $N = 100$ unidades:

$$n_{f(T)} = N \cdot [1 - R(T)] = 100 \times \text{WEIBULL}(75; 0,6; 50.000; 1) = 2 \text{ unidades}$$

Ou seja, aproximadamente 2% das unidades ensaiadas falharão no teste e perder-se-ão.

Pela Expressão (4) podemos também conhecer quantas unidades falharão provavelmente durante a fase operacional do produto.

$$n_{f(\Delta t)} = N \cdot [R(T) - R(\Delta t + T)] = 100 \times [(1 - \text{WEIBULL}(75; 0,6; 50.000; 1)) + (1 - \text{WEIBULL}(1.500 + 75; 0,6; 50.000; 1))] = 100 \times (0,979955 - 0,881959) = 9,8 \cong 10 \text{ unidades}$$

Ou seja, aproximadamente, 10% das unidades que passaram o teste falharão durante a vida garantida. Esta informação poderá servir para o cálculo de uma eventual garantia.

Este resultado pode também ser confirmado por simulação de Monte-Carlo. Com efeito, se simularmos a falha de uns milhares de itens numa coluna do EXCEL, programando a Expressão do processo gerador dos TTF (*Time To Failure*) da distribuição de *Weibull* [5], eliminarmos os TTF inferiores a 75 horas noutra coluna, tratarmos em frequência os TTF assim filtrados e calcularmos a frequência dos TTF superiores a 1.500 horas (sobreviverão, pelo menos, até 1.500 horas), encontraremos o valor 90%. Os outros 10% falharão durante a vida garantida, conforme calculado anteriormente.

Exemplo 2

A substituição de um determinado produto se ele falhar durante a sua vida garantida de 5 anos (5 x 365 = 1.825 dias), é $C_o = 8.200$ €/unidade. O custo do teste de *burn-in* por cada dia e unidade testada é $C_b = 80$ €/dia.unidade. Cada unidade falhada durante o teste custará $C_f = 780$ €/unidade. Um teste de fiabilidade (sobrevivência) mostrou que o comportamento em falha do produto pode ser representado por uma distribuição de *Weibull* com os parâmetros $\alpha = 0,37$ e $\beta = 3.800$ dias de operação. Qual será o período de *burn-in* mais económico?

Substituindo estes valores na Expressão (6), obtém-se:

$$E[C] = 80 \cdot T + 780 \left\{ 1 - \exp\left[-\left(\frac{T}{3.800}\right)^{0,37}\right] \right\} + 8.200 \left\{ 1 - \exp\left[-\left(\frac{T}{3.800}\right)^{0,37}\right] - \exp\left[-\left(\frac{T+1.825}{3.800}\right)^{0,37}\right] \right\}$$

Resolvendo esta equação por um método numérico (usando o algoritmo “GRG *Nonlinear*” do SOLVER no EXCEL, por exemplo), obtém-se: $T^* = 1,94$ dias e $E[C]_{\min} = 4.095$ €.

Complementarmente, podemos determinar quantas unidades do produto falharão durante o teste recorrendo à Expressão (3) e ao EXCEL. Teremos, então, por cada $N = 100$ unidades:

$$n_{f(T)} = N.[1 - R(T)] = 100 \times \text{WEIBULL}(1,94; 0,37; 3.800; 1) = 5,87 \cong 6 \text{ unidades}$$

Ou seja, aproximadamente 6% das unidades ensaiadas falharão o teste e perder-se-ão.

Pela Expressão (4) podemos também conhecer quantas unidades falharão provavelmente durante a vida operacional do produto.

$$n_{f(\Delta t)} = N.[R(T) - R(\Delta t + T)] = 100 \times [(1 - \text{WEIBULL}(1,94; 0,37; 3.800; 1)) + (1 - \text{WEIBULL}(1.825 + 1,94; 0,37; 3.800; 1))] = 100 \times (0,941251 - 0,466435) = 47,48 \cong 48 \text{ unidades}$$

Ou seja, aproximadamente, 48% das unidades que passaram o teste falharão durante a vida garantida. Esta informação poderá servir para o cálculo de uma eventual garantia. Mais realisticamente, serviria para justificar a reengenharia do processo, com base nos resultados de uma análise FMEA, já que parece consensual considerar-se aquela percentagem proibitiva.

3. Conclusões

Um teste (ou ensaio) de *burn-in* consiste em submeter um produto industrial a condições simuladas da realidade em que irá funcionar, e “obrigar” os componentes que trazem defeitos que afectam a sua fiabilidade, originados durante o processo de fabrico, a falhar e serem substituídos ou reparados no fabricante. Evita-se assim que estes produtos defeituosos cheguem ao mercado e criem insatisfação nos clientes. Estes testes são muitas vezes realizados em condições mais exigentes do que aquelas que irão encontrar no mundo real, de modo a diminuir drasticamente o tempo necessário de ensaio. Um teste nestas condições designa-se por teste de “vida acelerada” e é objecto de um tratamento estatístico específico, o qual permite correlacionar o comportamento “esforçado” observado em alguns minutos ou horas, com o comportamento em condições normais durante a sua vida útil.

Um teste de *burn-in* é caro devido aos meios que mobiliza (equipamentos, pessoas, energia,...) e aos produtos rejeitados. Em contrapartida, quanto mais exigente (ou prolongado no tempo) menor será a probabilidade de algum defeito não se revelar. O período de *burn-in* poderá assim ser determinado de duas formas: 1) Fixando-se empiricamente uma fiabilidade mínima dos produtos colocados no mercado, o mesmo é dizer que o fabricante garante o seu funcionamento em condições especificadas por si como considerando-se normais, durante um certo período, ou 2) realizando uma análise de custo-benefício, ou de compromisso (*trade-off*) entre os custos da realização do teste e os custos que resultarão mais tarde das reclamações dos clientes e consequentes substituições ou reparações, para além da deterioração da imagem de qualidade do fabricante.

Uma análise FMEA justifica-se, a maioria das vezes, de modo a listar todos os modos de falha infantis que poderão estar latentes num qualquer produto industrial e decidir a forma mais económica de eliminar as suas causas, alterando materiais, o *design*, os métodos de fabrico,... Idealmente, uma análise FMEA deve ser levada a cabo, ainda na fase de projecto, de modo a eliminar ou, pelo menos, diminuir drasticamente a necessidade de ensaios de *burn-in*. Cumulativamente, esta análise deve listar também os modos de falha originados pela normal degradação (causas intrínsecas: desgaste, corrosão, fadiga,...), a qual inevitavelmente ocorrerá à medida que o uso se vai acumulando, e os modos de falha induzidos por causas externas (extrínsecas). Esta informação servirá de base para a selecção/recomendação de políticas de manutenção, no caso das primeiras, e para definição de medidas de mitigação das consequências, no caso das segundas. Aquelas na perspectiva do fabricante (que o utilizador poderá mais tarde

alterar e adaptar em função das consequências das falhas à luz da sua realidade específica) e estas já na perspectiva do utilizador.

Referências bibliográficas

- [1] Assis, Rui, “Impacto da não-qualidade em Processos de Produção”, Revista “Qualidade”, edição 02, 2015 (ver [aqui](#))
- [2] Assis, Rui, “Garantias e Contratos de Assistência Pós-venda”, Revista “Qualidade”, edição 03, 2015 (ver [aqui](#))
- [3] Assis, Rui, “Avaliação Multicritério de Fornecedores”, Revista “Qualidade”, edição 04, 2015 (ver [aqui](#))
- [4] Assis, Rui, “Apoio à Decisão em Manutenção na Gestão de Activos Físicos”, 2ª edição, LIDEL, 2014 (ver [aqui](#))
- [5] Assis, Rui, “EXCEL na Simulação de Sistemas e Análise de Risco”, AMAZON, 2014 (ver [aqui](#))
- [6] Ebeling, Charles E., “*Reliability and Maintainability Engineering*”, Mc Graw-Hill, 1997
- [7] Finn Jensen and Niels Erik Petersen, “*Burn-in*”, Wiley, New York, USA, 1982