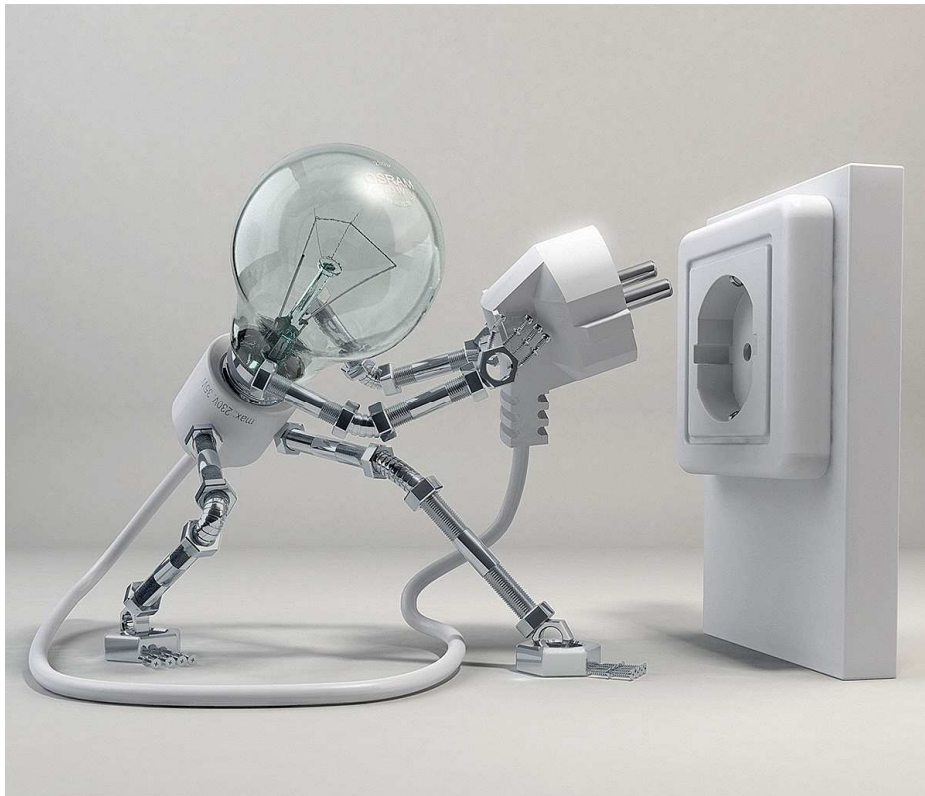




INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Mecânica



METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

PEDRO JORGE LOURENÇO RODRIGUES
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Orientador:

Mestre José Augusto da Silva Sobral

Júri:

Presidente:	Prof. Doutor João C. Q. Dias
Vogal:	Prof. Doutor José M. Torres Farinha
Vogal:	Prof. Mestre José A. Silva Sobral

Dezembro de 2009

**METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE
VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE**

Página Intencionalmente em Branco

RESUMO

Rodrigues, Pedro Jorge, “**Metodologia Básica de Ensaios e Execução de Ensaios Acelerados de Vida na Área de Fiabilidade**”, 2009. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2009

Os ensaios acelerados de vida são testes que se realizam com o objectivo de estimar determinados parâmetros fiabilísticos, referentes a um dado bem, provocando-lhe a ocorrência de um dado modo de falha específico num espaço de tempo mais curto do que aquele em que normalmente este evento ocorreria.

É através dos ensaios acelerados, e de modelos analíticos específicos, que se torna então possível prever as falhas antes de estas ocorrerem, potenciando atempadamente possíveis alterações de projecto ou concepção, antes do bem entrar no mercado. Este tipo de ensaios possibilita, por exemplo ao fabricante, uma economia de tempo na determinação da informação de dados de vida (considerados relevantes) que deverá acompanhar o produto na sua comercialização.

Para uma melhor compreensão da temática, abordam-se no trabalho duas áreas essenciais, nomeadamente: O conceito de Fiabilidade e o conceito de Ensaios Acelerados de Vida.

Ao longo do documento podem-se analisar os modelos mais utilizados em Ensaios Acelerados, como o Modelo de Arrhenius, o Modelo de Eyring, o Modelo de Potência Inversa e o Modelo de Temperatura e Humidade. Também são apresentadas algumas distribuições importantes relacionadas com esses modelos, como a Distribuição Normal, a Distribuição Lognormal, a Distribuição Exponencial e a Distribuição de Weibull.

Para verificação da metodologia, realizou-se uma aplicação experimental, tendo por base a normalização existente e os parâmetros seguidos pelo fabricante do componente estudado. Para tratamento dos dados resultantes dos ensaios acelerados utiliza-se o programa ALTA 7.0 PRO, que de uma forma expedita permite extrapolar das condições de ensaio para uma utilização normal, e assim determinar os parâmetros

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

fiabilísticos correspondentes ao bem. De salientar que este ‘‘*software*’’ pode trabalhar com um ou mais níveis de aceleração, como por exemplo conjugar a influência da temperatura com a humidade.

O conhecimento dos modelos usados nesta área permite compreender a metodologia de ensaios acelerados e o comportamento dos componentes. Os dados demonstram uma alta precisão dos resultados, num período de tempo reduzido.

Palavras-chave: **Fiabilidade, Ensaio Acelerado**

ABSTRACT

Rodrigues, Pedro Jorge, “**Basic Methodology of tests and Execution of Accelerated Life Testing on Reliability**”. 2009. Master *Thesis* in Mechanical Engineering – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisbon, 2009

Accelerated Life Testing are tests made to predict the average life time of an item and other reliability parameters in a short period of time. These tests and mathematical models for life expectancy give us the opportunity to preview and therefore predict the consequences of some variables (such as failures), allowing for a swift change of a project in its research and development phase before getting into the market. These tests give the manufacturer the time to procure the data relevant do the life cycle, which is usually provided as the technical information of the components.

For the future understanding of accelerated tests, it's made an approach to explain two essential areas: The Reliability and the Accelerated Life Testing concept.

In this document, are presented some of the most common models of Accelerated Testing and respective distributions. The models studied were, Arrhenius Model, Eyring Model, Inverse Power Law Model and Temperature-Humidity Model. The distributions studied were Lognormal distribution, Exponential Distribution and Weibull Distribution.

Finally, with an experimental application, it was possible to verify the methodology, which relies heavily in the base the normalization as well as from the manufacturer parameters.

For treatment results, it's used the ALTA 7.0 PRO program which let us extrapolate the tests conditions to those of a normal condition. With this it's possible to estimate the reliability parameters of the item.

This software is a great tool to help analyse accelerated tests with one or more levels of stress, like for example the influence of the temperature with the humidity.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

It's the author's belief that the best way to improve our knowledge and understanding, about the process of accelerated tests and the components behaviour lies in the comprehension of the models meticulously. The results showed provided a great level of accuracy and greatly reduced the process time.

KeyWords: **Reliability, Accelerated Tests**

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E
DIVULGAÇÃO PARCIAL ou TOTAL DESTE
TRABALHO, POR QUALQUER MEIO
CONVENCIONAL OU DE FORMATO
ELECTRÓNICO, PARA FINS DE PESQUISA E
DE ESTUDO DESDE QUE CITADA A FONTE.

Agradecimentos

Aos meus queridos pais pela paciência e ajuda que me ofereceram durante a elaboração da tese.

Aos meus amigos que sempre me apoiaram em especial ao Rúben Alexandre Dinis Araújo.

Ao ISEL–DEM pela disponibilidade para a utilização do programa ALTA 7.0 PRO através de uma licença académica que tem servido para a realização de inúmeras aplicações práticas em trabalhos de mestrado através do Professor José Sobral, responsável pela licença e pela sua renovação anual, pelo que sem o seu apoio não seria de todo possível o manuseamento do programa durante o periodo estabelecido (1 ano).

À empresa ReliaSoft pelo fornecimento da Licença para utilização do programa ALTA 7.0 PRO de acordo com o ponto anterior.

Ao meu orientador, o Professor José Sobral pela ajuda e incentivos oferecidos no início, durante e na conclusão da tese.

À Ana Isabel Sequeira da empresa OSRAM pela disponibilização da documentação técnica acerca das lâmpadas de baixo consumo.

**METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE
VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE**

“Quanto mais aumenta o nosso conhecimento, mais evidente é a nossa ignorância” de
John Kennedy

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS	DESCRIÇÃO	Pág.
01	Função $F(t)$ segundo Leitch (1995). ("ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DE SISTEMAS ELETRÔNICOS COMPLEXOS BASEADA EM ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA", do autor Erico Pessoal Felix, 2006, 13pp)	15
02	Função de Fiabilidade $R(t)$ segundo <i>Leitch</i> (1995). ("ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DE SISTEMAS ELETRÔNICOS COMPLEXOS BASEADA EM ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA", do autor Erico Pessoal Felix, 2006, 14pp)	15
03	Curva da Banheira Geral. ("Fundamentos da Confiabilidade do autor Prof. MSc. Gerisval Alves Pessoa, Dezembro de 2008).	16
04	Distribuição Normal (Curva Normal ou Curva de Frequência)	20
05	Influência do Desvio Padrão (http://www.cearidus.ufc.br/Arquivos/Prob%20e%20Estat%EDstic a/Apostila/Cap%EDtulo%207_Dist%20Cont_completo.pdf)	20
06	Integração da função de distribuição de probabilidade para calcular a probabilidade de ocorrer falha no intervalo de 'x1' a 'x2'. Função da densidade da distribuição exponencial com taxas de falha ou taxas de avarias diferentes.	21
07	(http://pt.wikipedia.org/wiki/Distribui%C3%A7%C3%A3o_exponencial)	23
08	Função de densidade de probabilidade para diferentes parâmetros de β .	24
09	Relação entre o nível de aceleração e o período de vida de um dado item.	26
10	Relação entre o nível de aceleração e o período de vida utilizando a Distribuição Lognormal.	26
11	Exemplo de um ensaio completo do Tipo I, no qual é apresentada uma amostra de 10 bens que são testados até falhar. (de http://libdigi.unicamp.br/document/?view=vtls000186815)	33

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

12	Ensaio Unicensurado à Direita. (de http://libdigi.unicamp.br/document/?view=vtls000186815)	34
13	Ensaio Unicensurado à Esquerda. (de http://libdigi.unicamp.br/document/?view=vtls000186815)	34
14	Ensaio com censura Múltipla. (de http://libdigi.unicamp.br/document/?view=vtls000186815)	35
15	Ensaio com stress constante ao longo do tempo. (de http://www.weibull.com/AccelTestWeb/stress_loading.htm)	38
16	Gráfico de referência às cargas passo a passo. (de http://www.weibull.com/AccelTestWeb/stress_loading.htm)	39
17	Níveis de taxas de utilização do ensaio de cargas progressivas. (de http://www.weibull.com/AccelTestWeb/stress_loading.htm)	40
18	Gráfico de referência às variáveis cíclicas.	40
19	Gráfico de referência aos níveis de stress aleatórios.	41
20	Função densidade de probabilidade de falha (<i>Fonte Sasseron & Abackerli</i>).	48
21	Modelo de Arrhenius para diferentes parâmetros de vida, assumindo uma distribuição de Weibull. (de http://www.weibull.com/AccelTestWeb/arrhenius_relationship_chap.htm)	49
22	Modelo de Arrhenius para a distribuição de Weibull. (de http://www.weibull.com/AccelTestWeb/arrhenius_relationship_chap.htm)	50
23	O Modelo e Distribuição escolhido, bem como a colocação das condições normais de funcionamento.	53
24	Gráfico de probabilidade de Weibull para as três condições aceleradas e para as condições normais.	54
25	Esta ilustração demonstra-nos os dados obtidos pelo programa ALTA, requeridos pelo utilizador.	55
26	Determinação do ponto B por aproximação.	56
27	Corresponde ao ponto B mencionado na figura de cima.	56
28	A análise ao tempo médio de vida do produto.	56
29	Modelo de Eyring com uma enorme dispersão de vida. (de	58

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

	http://www.weibull.com/AccelTestWeb/eyring_relationship_chap_.htm)	
30	Modelo e Distribuição escolhida, bem como o cuidado acrescido na selecção de elementos censurados, ao qual aparece assinalada com uma caixa vermelha.	61
31	Ilustração da opção seleccionada na imagem anterior. A introdução de dados agrupados serve apenas para resumir a tabela no programa que de outra forma não seria possível.	61
32	Condições normais de funcionamento.	62
33	O gráfico de probabilidade de Weibull.	63
34	A tabela de cálculo - ‘QCP’ para uma fiabilidade de 90% e um nível de confiança de 90%.	63
35	O ‘QCP’ para uma fiabilidade de 95% e um nível de confiança de 90%.	64
36	O ‘QCP’ para uma fiabilidade de 90% mas com um nível de confiança de 50%.	64
37	O gráfico da Fiabilidade com o Tempo nas condições normais de funcionamento.	65
38	A distribuição da potência inversa numa escala linear com diferentes características de vida e com uma distribuição de Weibull. (de http://www.weibull.com/AccelTestWeb/inverse_power_law_ipl_relationship.htm)	69
39	O método gráfico para a relação da potência inversa (escala logarítmica). (de http://www.weibull.com/AccelTestWeb/inverse_power_law_ipl_relationship.htm)	69
40	A Vida Útil com o nível de stress para diferentes valores de ‘n’. (de http://www.weibull.com/AccelTestWeb/inverse_power_law_ipl_relationship.htm)	70
41	As relações adequadas para o ensaio e as condições normais de funcionamento introduzidas no programa.	71

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

42	O ‘ QCP’ para uma fiabilidade de 90%.	72
43	A vida média calculada.	72
44	O gráfico do Tempo de vida em função da variável de aceleração, a Carga Aplicada.	73
45	A probabilidade de falha para as novas condições.	74
46	Gráfico de vida em função da Temperatura, mantendo a Humidade relativa constante. (de http://www.weibull.com/AccelTestWeb/temperature_humidity_relationship_chap .htm)	75
47	Gráfico de vida em função da Humidade Relativa, fixando a Temperatura. (de http://www.weibull.com/AccelTestWeb/temperature_humidity_relationship_chap .htm)	76
48	O Factor de Aceleração em função da Temperatura, fixando a Humidade Relativa. (de http://www.weibull.com/AccelTestWeb/t_h_acceleration_factor.htm)	77
49	O Factor de Aceleração em função da Humidade Relativa, mantendo constante a Temperatura. (de http://www.weibull.com/AccelTestWeb/t_h_acceleration_factor.htm)	77
50	Condições iniciais e o modelo e distribuição escolhidos.	79
51	A probabilidade de Weibull.	79
52	A nova probabilidade de Weibull.	81
53	A função de densidade de probabilidade para o novo ensaio acelerado.	81
54	Representa uma nova alteração realizada no intervalo de confiança para uma fiabilidade de 99%.	82
55	A probabilidade de Falha pela Superfície de Aceleração.	83
56	Revela a eficiência energética das diversas lâmpadas existentes no mercado Português. (de "Economical long-life light sources with plug-in bases", de OSRAM)	90
57	O esboço efectuado na altura da concepção do projecto.	93

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

58	Demonstra a colocação do casquilho num suporte de madeira que seria posteriormente fixado a uma placa de madeira.	93
59	Dá seguimento à imagem anterior, mostrando o aspecto que teria aquando da sua fixação na placa.	94
60	O aspecto final do primeiro projecto. Revelou-se moroso e inestético ao qual foi abandonado e optimizado.	94
61	Com a optimização do primeiro estudo, achámos que a cabelagem deveria ficar escondida, ou seja, colocar por de baixo da placa, como acontece nos tectos falsos nas habitações e escritórios.	95
62	Esta figura indica-nos a posição dos furos, respeitando o comprimento da cabelagem e deixando um determinado espaço entre as luminárias, apesar das lâmpadas testadas emitirem uma quantidade calorífica muito inferior às lâmpadas normalmente utilizadas.	95
63	Semelhante à ilustração anterior, mas com a introdução dos dois circuitos nos seus respectivos lugares.	96
64	O temporizador (equipamento electrónico que controla o número de manobras) para o primeiro circuito (de 10 em 10 minutos).	96
65	O temporizador para o segundo circuito (de 15 em 15 minutos). Os dois equipamentos utilizados são analógicos, isto é, através de patilhas.	97
66	Aspecto final da mesa. Nesta ilustração, os circuitos encontram-se em funcionamento.	97
67	Semelhante há ilustração anterior mas apresentado noutra vista.	98
68	Imagem detalhada que nos indica qual o circuito correspondente bem como a indicação e disposição das lâmpadas.	98
69	Representa os dados obtidos nos ensaios devidamente tratados e colocados no programa.	102
70	O tempo médio de vida nas condições iniciais.	103
71	A probabilidade Lognormal do ensaio.	104
72	A função de densidade de probabilidade.	104
73	A nova vida média para um novo número de manobras diárias.	105
74	A nova função de densidade de probabilidade.	106

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

75	A nova vida média para o caso de 2 manobras diárias.	107
76	A probabilidade Lognormal para 6,9 arranques diários.	108
77	O Tempo de vida em relação ao nível de aceleração, que neste caso é mecânico.	109
78	A Fiabilidade em relação à superfície de nível de aceleração.	110
79	Comportamento da função de densidade em diferentes níveis de stress, mantendo os parâmetros constantes.	125
80	Comportamento da função de fiabilidade em diferentes níveis de stress com parâmetros constantes.	126

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

LISTA DE TABELAS

TABELAS	DESCRIÇÃO	PÁG.
01	Interpretações Físicas de Distribuição.	25
02	Classificação da Complexidade de sistemas electrónicos. (Fonte Felix – 2007).	32
03	Propriedades importantes a ter em conta na elaboração dos ensaios acelerados.	42
04	Dados obtidos pelo ensaio acelerado.	52
05	Os dados da tabela anterior, colocados no Software ALTA 7.0 PRO	53
06	Tabela indicativa do tempo de falha e tempo de suspensão em horas do ensaio realizado.	60
07	Os dados obtidos pelo ensaio acelerado efectuado devidamente tratados no programa Alta 7.0 PRO.	62
08	Imagem representativa dos dados obtidos pelo ensaio e sua colocação no programa ALTA 7.0 PRO.	71
09	Os dados obtidos no ensaio acelerado.	78
10	Os dados obtidos no novo ensaio acelerado.	80
11	Comparação da potência consumida pelas lâmpadas para o mesma energia de iluminação que emitem.	88
12	Tipo de Casquilhos.	90
13	Exemplo de um Comparativo entre lâmpadas fluorescentes compactas ECG, CCG e lâmpadas incandescentes fornecido pela OSRAM.	91
14	Referente aos componentes seleccionados na altura da concepção do projecto.	92
15	Tabela de Controlo da aplicação experimental.	101
16	A fiabilidade estimada para o caso A, ou seja para as condições de 13.7 manobras diárias.	103
17	A fiabilidade estimada para o caso B, isto é para 6.3 arranques diários.	106

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

18	Comparação de resultados entre o caso A e o caso B.	106
19	A fiabilidade estimada para o caso C, para as 2 manobras diárias nas condições de serviço.	107
20	Comparação de resultados entre o caso B e o caso C.	107

**METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE
VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE**

LISTA DE SIMBOLOS

Símbolo	Descrição
b	Energia de Activação para a Humidade
K	Constante de Boltzmann's = $8,617 \times 10^{-5}$ in.ev/K)
A	Constante empírica
C	Constante de posição
σ_T	Desvio padrão logaritmico de 'Mean Time to Failure' da amostra
σ_r	Humidade Relativa (em percentagem)
\bar{T}	Logaritmos de MTTF – ‘Mean Time to Failure’
T'	Logaritmo de T', onde o tempo de falha ocorre.
N_f	Número de ciclos até falhar
t	Tempo até ocorrer a falha
J	Massa específica
σ	Desvio padrão
n	Dimensão da amostra
$G(T_{\max})$	É um termo de Arrhenius avaliado à Temperatura Máxima em cada ciclo.
E_A	Energia de Activação (parâmetro critico do modelo)
π	Expoente de forma
B	Factor de stress
R(t)	Função de Fiabilidade
F(t)	Função de probabilidade acumulada
f(t)	Função de densidade de probabilidade de falha
f	Frequência dos ciclos
U	Humidade Relativa (em valor decimal ou em percentagem)
m	MTBF – ‘Mean Time Between Failures’
U_A	Nível de parâmetro não térmico em regime acelerado
U_u	Nível de parâmetro não térmico em regime normal
V_u	Nível de Temperatura em regime normal
V_A	Nível de Temperatura em regime acelerado

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

η	Parâmetro de escala de Weibull
β	Parâmetro de forma de Weibull (corresponde ao declive no gráfico)
$L_{Accelerated}$	Parâmetro de vida nas condições de aceleração de vida
L_{USE}	Parâmetro de vida nas condições normais de utilização
ϕ	Parâmetro da Lei da Temperatura – Humidade a determinar
T	Período de operação
L(V)	A vida ou a duração do bem
ΔT	Gama de Temperatura durante o ciclo
t_0	Tempo inicial do bem.
V	Representa um dado nível de stress
V	Temperatura em Kelvin no Modelo de Temperatura-Humidade
α, E_A, B, C	Representam e determinam a aceleração entre combinações de variáveis.
λ	Taxa de falha
T	Temperatura medida no ponto de ocorrência da falha. (em Kelvin)
μ	Valor médio associado a uma função de densidade de probabilidade
x_t	Variável aleatória de tempo
S ₁	Variável de aceleração.
S ₂	Variável de aceleração.

Página Intencionalmente em Branco

**METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE
VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE**

SUMÁRIO

N.º	DESCRIÇÃO	PAG.
	RESUMO	ii
	‘ABSTRACT’	iv
	LISTA DE FIGURAS	ix
	LISTA DE TABELAS	xiv
	LISTA DE SÍMBOLOS	xvi
1	CAPITULO 1 – INTRODUÇÃO	01
1.1	OBJECTIVO	01
1.2	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	02
1.3	ESTADO DA ARTE	03
2	CAPITULO 2 – CONCEITOS DE FIABILIDADE	13
2.1	Considerações Iniciais	13
2.2	Definição de Fiabilidade	14
2.3	Requisitos de Fiabilidade	17
2.4	Modelos de Fiabilidade	19
2.4.1	Distribuição Normal	19
2.4.2	Distribuição Lognormal	22
2.4.3	Distribuição Exponencial	22
2.4.4	Distribuição de Weibull	23
2.5	Modelos Paramétricos de Aceleração com níveis de aceleração constantes	26
2.6	Tipos de Planeamento	27
2.7	Fiabilidade e Ensaio Acelerados	30
3	CAPÍTULO 3 – ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA	31
3.1	Considerações Iniciais	31
3.2	Tipos de Dados de Fiabilidade de Acordo com os critérios de conclusão dos ensaios	32
3.2.1	Ensaio Completos do Tipo I	33
3.2.2	Ensaio Unicensurados à Direita do Tipo I ou do Tipo II	33
3.2.3	Ensaio Unicensurados à Esquerda do Tipo I ou do Tipo II	34
3.2.4	Ensaio com censura Múltipla	35
3.3	Métodos de Aceleração	35
3.3.1	“ <i>High Usage Rate</i> ” – Aumento da taxa de funcionamento	35

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

3.3.2	“Overstress Testing” – Aumento da taxa de Desgaste	37
3.3.3	“Stress Loading” – Aumento de cargas	37
3.4	Materiais, Factores e Níveis de Aceleração	42
3.5	Modelos de Teste de Ensaio Acelerado	43
3.5.1	“ <i>Elephant test</i> ” – Teste de Elefante	44
3.5.2	“Environmental Stress Screening”	45
3.5.3	“A Single Test Condition” – Uma única condição para o teste	45
3.5.4	“ <i>A number of Test Conditions</i> ” – Inúmeras condições por teste	47
3.5.5	“Burn-In” – Morte Súbita	47
3.6	Modelos de Ensaio Acelerado de Vida – Introdução	47
3.6.1	Modelo de Arrhenius	48
3.6.2	Modelo de Eyring	57
3.6.2.1	Outros Modelos baseados no Modelo de Eyring	65
3.6.3	Modelo da Potência Inversa	68
3.6.4	Modelo de Temperatura e Humidade	74
4	CAPÍTULO 4 – APLICAÇÃO PRÁTICA	84
4.1	Enquadramento da Aplicação	84
4.2	Introdução Teórica ao componente estudado	86
4.2.1	Considerações Iniciais	86
4.2.2	Seleção da Lâmpada Ensaída	89
4.3	Construção do Protótipo	92
4.4	Procedimento Experimental	99
4.5	Aplicação Prática	101
4.5.1	Análise de Dados	101
5	CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	111
5.1	Conclusões	111
5.2	Trabalhos Futuros	112
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
	ANEXOS	121

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1– OBJECTIVO

Torna-se necessário recorrer ao estudo dos ensaios acelerados para estimar a fiabilidade dos bens num intervalo curto de tempo e a custos reduzidos. Só através dos vários modelos disponíveis é que é possível prever com antecedência a existência de falhas que possam pôr em causa o desempenho do bem e/ou a segurança dos utilizadores. Estes testes baseiam-se na colocação dos bens em níveis de aceleração muito elevados, muito superiores à sua utilização normal controlando sempre os níveis de solicitação. Depois do teste efectuado, emprega-se um método de extrapolação dos resultados, e aplicando o modelo e a distribuição mais adequados, consegue-se então estimar com mais confiança a fiabilidade do equipamento em condições normais de utilização.

É através dos ensaios acelerados que se torna possível desenvolver um melhor produto, quando este ainda se encontra na fase de concepção.

Com vista a entender estes modelos, estudou-se um componente muito utilizado pela sociedade, presente nas nossas habitações, escritórios e empresas. De todos os componentes possíveis, foi escolhido aquele que mediante as circunstâncias melhor se encaixou na temática em causa.

O objectivo deste trabalho passa por compreender os modelos mais utilizados nos ensaios acelerados de vida, analisar os modelos recorrendo ao programa *ALTA 7.0 PRO* e efectuar uma aplicação prática, procedendo à estimativa de vida do componente seleccionado.

1.2– ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado por capítulos, para que o leitor identifique rapidamente os conceitos principais e seleccione aqueles da sua preferência. Sendo assim, o Capítulo 2 diz respeito a Conceitos de Fiabilidade, onde se aborda a Fiabilidade de uma forma geral e os modelos de fiabilidade mais conhecidos.

No Capítulo 3 descrevem-se os Ensaios Acelerados, apresentam-se os Tipos de Dados de Fiabilidade, os Métodos de Aceleração, os Modelos de Teste de Ensaios Acelerados e os Modelos de Ensaios Acelerados de Vida mais usuais.

De seguida entra-se no Capítulo 4, complementado com uma introdução ao programa ALTA 7.0 PRO, recorrendo-se para tal a quatro exemplos práticos, cedidos gentilmente pela empresa Reliasoft. Por cada modelo é-nos apresentada uma aplicação prática. É também abordada a aplicação experimental, relacionada com lâmpadas fluorescentes compactas. É neste Capítulo que se analisam os dados recolhidos, com utilização do programa anteriormente referido.

As principais conclusões e trabalhos futuros são destacados no Capítulo 5. No final do trabalho são disponibilizadas as referências bibliográficas e os Anexos.

1.3 – ESTADO DA ARTE

Através da consulta de inúmeros artigos científicos acerca do tema, entendeu-se que a colocação de alguns desses mesmos artigos, cativam o leitor para o estudo deste trabalho.

Além disso ‘aguçam o apetite’ do leitor para futuros temas na área da fiabilidade. Os modelos que existem acerca destes ensaios são de extrema importância hoje, e num futuro próximo. É necessário continuar a apostar no desenvolvimento e enriquecimento dos modelos existentes, para que se possa otimizar os processos de análise.

Numa primeira fase deve-se apostar nos modelos de testes acelerados existentes, e numa fase posterior dever-se-á evoluir para a combinação ou melhoria dos mesmos, otimizando-os e aprofundando-os para que no final se obtenham dados mais próximos dos reais, nas condições normais de funcionamento. De seguida apresenta-se um resumo de alguns artigos consultados:

1. ***“HALT/HASS - THE NEXT GENERATION OF ENVIRONMENTAL TESTING”***, (William Lagattolla, 2005)

Durante décadas, a qualidade dos produtos, tem sido determinada através de ensaios ambientais operacionais como, ensaios de vibração, ciclos térmicos, choques mecânicos e outros. Recentemente tem existido uma tendência para melhorar a qualidade dos produtos, através de modelos de fiabilidade, nomeadamente os Ensaios Altamente Acelerados. Estes Ensaios têm sido reconhecidos como sendo os mais rápidos e os mais eficazes nos testes e na verificação do desempenho dos produtos.

Brian Dahl, Engenheiro na empresa ‘‘Agilent Technologies Inc.’’ disse que os HALT (os ensaios altamente acelerados) fazem parte da cultura da empresa nos seus produtos. E vai mais longe ao dizer que utiliza este tipo de testes em três níveis, ou seja, no ensaio de componentes, no ensaio de sistemas e no ensaio de produtos prontos a entrar no mercado.

Hoje em dia a maioria dos produtos electrónicos, beneficiam dos ensaios acelerados antes e durante a sua concepção.

2. ***“Accelerated Testing Raises the Bar”***, (Dave Rizzo, 2006)

Nos dias de hoje, a maioria dos engenheiros reconhece que os ensaios acelerados são os testes mais eficazes para verificar e testar os produtos. Além disso, estes métodos traduzem-se em elevados lucros para as empresas, isto porque facilitam o acesso à informação dos produtos nas mais variadas condições de utilização, melhorando assim a qualidade e fiabilidade dos mesmos. Empresários de todo o mundo utilizam este tipo de métodos como um tipo de estratégia no seio das suas empresas, para melhorar e aumentar a sua competitividade em relação às outras empresas que utilizam outro tipo de métodos mais lentos. Dave Rizzo complementa o artigo dizendo que os produtos aprovados pelos métodos de modelos acelerados acabam por trazer uma maior confiança para os fabricantes e conseqüentemente um melhor produto para os clientes.

3. ***“An approximate kinetic theory for accelerated testing”***, (LuVALLE, M.J., 1999)

Os ensaios acelerados são processos que aceleram a degradação do produto num tempo reduzido. Torna-se depois necessário extrapolar os dados obtidos para as condições normais de uso para estimar a fiabilidade real dos produtos. Este documento interpreta os ensaios acelerados, considerando que quando o nível de aceleração diminui, o tempo de vida aumenta. Deste modo, torna-se importante referir que para níveis de aceleração passo a passo (*‘step by step’*) é necessário identificar o factor de aceleração e a capacidade de estimar o tempo de vida útil do item.

4. ***“Accelerated Testing: A Practitioner’s Guide to Accelerated and Reliability Testing”***, (Dodson et al., 2006)

A aplicação dos ensaios acelerados poderá ser muitas vezes de difícil realização, mas quando possível, irão diminuir consideravelmente o tempo e os custos de desenvolvimento e investigação.

Os autores deste livro abordam e exploram os ensaios acelerados em detalhe e de forma prática recorrendo a exemplos e/ou aplicações, incluindo fundamentos teóricos, métodos dos testes e o equipamento mais utilizado para a realização dos ensaios.

Este artigo dá especial atenção aos ensaios para as indústrias de comunicações.

5. ***“Industry study on issues of MEMS reliability and accelerated lifetime testing”***, (Clifford Fung, 2005)

Este artigo reporta os problemas internos de sistemas electromecânicos (*MEMS – micro electromechanical system*), utilizando modelos das áreas de fiabilidade e de ensaios acelerados de vida. É explicado o estudo efectuado pela MEMS Industry Group (MIG) nomeadamente nos campos de fiabilidade, ensaios acelerados de vida e modelos de falha.

6. ***“Análise da Incerteza Experimental na Determinação da Vida, usando Ensaio Acelerado”***, (Abackerli et al., 2007)

Recentemente têm surgido novos métodos de estimativa da fiabilidade, dando importância aos ensaios acelerados. Estes tipos de ensaios não são mais que modelos de fiabilidade que estimam a probabilidade de ocorrer o modo de falha em tempo reduzido, ou seja, intensificando as variáveis de aceleração, colocando-as em condições severas. Posteriormente, os dados obtidos são recolhidos e extrapolados para as condições normais. Um enorme inconveniente dos ensaios acelerados corresponde ao não contemplarem as incertezas que podem ocorrer. Sendo assim, este artigo aborda as incertezas na vida útil dos relés electromagnéticos, mostrando também o grau de importância dessas mesmas incertezas no resultado final.

7. ***“MEMS You Can Count On”***, (DeGaspari John, 2004)

Nas empresas em geral, a fiabilidade é um assunto a ter em conta de forma a ir ao encontro das expectativas dos clientes. Com a crescente competitividade entre empresas e a necessidade de superar os produtos através de optimizações, surgiu a necessidade de criar modelos aceleradores da degradação dos produtos. Desta forma, surgiram os ensaios acelerados. Este artigo aborda os ensaios acelerados aplicados em sistemas electromecânicos. Além disso, o autor no seu artigo faz questão de demonstrar aos leitores a importância deste tipo de ensaios, disponibilizando informação acerca dos

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

modos de falha existentes e compilando a informação numa base de dados para futura criação e optimização dos ensaios acelerados nos respectivos produtos.

Segundo Ellen McDevitt, existe a ideia generalizada de que devido à utilização de sistemas micro electromecânicos (sistemas frágeis, de pequena dimensão e com peças móveis), os seus utilizadores procuram uma demonstração de fiabilidade. Essa demonstração só será possível recorrendo aos ensaios acelerados, de forma a assegurar resultados fiáveis num curto espaço de tempo.

8. *“A Review of Recent Research and Current Issues in Accelerated Testing”*, (Meeker, W.Q. & Escobar, L.A., 1993)

Os ensaios acelerados são utilizados para determinar a vida útil ou o desempenho de um determinado produto no menor tempo possível. Os produtos são submetidos a ensaios que colocam a amostra em níveis de stress muito elevados, variando a Temperatura e a Voltagem por exemplo. Os dados obtidos são extrapoladas para as condições normais de utilização e são usados para estimar o comportamento do produto numa dada situação. Assim, torna-se possível melhorar o desenvolvimento dos produtos, bem como satisfazer a necessidade de continuar a optimizá-los, mantendo ou aumentando a sua fiabilidade.

9. *“Accelerated testing for long-term durability of GFRP laminates for marine use”*, (Miyano et al., 2004)

O Método de ensaios acelerados utilizado pelos autores na análise de compósitos é estudado em função do tempo e da temperatura. A sua análise consiste em estudar a matriz de um dado polímero. Após os inúmeros estudos efectuados, relatam que a flexibilidade da matriz diminui com o aumento crescente do tempo e da temperatura, bem como com o aumento do número de ciclos. Mais uma vez os autores fazem referência ao uso intensivo dos ensaios acelerados de forma a estimar a vida útil do polímero num curto espaço de tempo, podendo assim prever a fadiga do material e criar novas soluções.

10. “Accelerated Testing for the Durability of Composite Materials and Structures” - Long Term Durability of Structural Materials”, (Miyano, et al., 2001)

Existiu a necessidade de desenvolver ensaios para determinar a vida útil de materiais em condições ambientais extremas. Aliás, tornou-se uma prioridade encontrar uma solução, uma alternativa aos ensaios comuns, que pelos processos normais levaria imenso tempo até surgir a falha. Por este motivo, estes ensaios foram colocados logo de parte. Assim surgiram os ensaios acelerados, vitais para o desenvolvimento e melhoria dos materiais. Os ensaios acelerados para compósitos baseiam-se nos modelos existentes e aplicados para materiais metálicos.

Assim, a metodologia utilizada baseia-se no tempo e na temperatura, factores que influenciam os materiais compósitos relativamente à fadiga. Os autores referem no artigo que o novo modelo de ensaios acelerados para materiais compósitos poderá ser utilizado para outros materiais, desde que não sejam metálicos. O número de aplicações e configurações para materiais compósitos é explicado no trabalho.

11. “*Pitfalls of accelerated testing*”, (Meeker W.Q. & Escobar L.A., 1998)

Os ensaios acelerados, como o próprio nome indica, são ensaios para estimar a vida útil ou desempenho de um dado bem durante um determinado tempo. As amostras utilizadas nos testes são colocadas em níveis de variáveis de aceleração muito superiores ao normal para provocar a falha prematura nos produtos. Os dados são recolhidos, extrapolados para as condições normais de utilização e analisados com os modelos mais apropriados. Desta forma, é possível estimar o comportamento de um dado bem, consoante a variável seleccionada. Este artigo acaba por rever as potenciais falhas que o leitor pode introduzir aquando da extrapolação dos dados e como as deve evitar, para que os dados finais sejam coerentes.

12. “*HALT, HASS and HASA explained: Accelerated reliability techniques*”, (Mclean H., 2000)

Os HALT (“*Highly Accelerated Life Test*”), os HASS (“*Highly Accelerated Stress Screen*”) e os HASA (“*Highly Accelerated Stress Audit*”) são métodos de

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

fiabilidade aplicados em ensaios de aceleração. São modelos acelerados que servem para estimar a fiabilidade dos bens em causa, num tempo reduzido.

Nos últimos anos tem surgido uma preocupação crescente para promover o uso intensivo deste tipo de métodos. Este artigo tenta colmatar esta lacuna, dando importância à fiabilidade em engenharia e abordando os ensaios acelerados, nomeadamente os modelos altamente acelerados descritos anteriormente. É um artigo que dá importância aos ensaios realizados na fase de concepção.

O que são os HALT, os HASS e os HASA? Quais são os seus métodos e objectivos? Quais são as suas diferenças entre modelos e entre os outros tipos de ensaios de fiabilidade e ensaios acelerados de vida?

De uma forma resumida, os HALT são usados durante a fase de concepção. Através de níveis de stress muito elevados, geram-se falhas de modo a identificar e remover as mesmas, alterando a geometria do bem ou alterando o tipo de material, poupando assim recursos a longo prazo. Os HASS são utilizados nos produtos finais através de amostras aleatórias ou amostras pré-programadas de ‘x’ em ‘x’ produtos. Os HASA são muito semelhantes aos HASS, com a excepção de serem aplicados em auditorias.

Estes três tipos de ensaios (HALT, HASS e HASA) são testes que colocam os produtos em condições ambientais extremas (Temperatura elevada, Ciclos de vibração, entre outros). A selecção de uma ou mais variáveis depende de caso para caso.

13. *“Reliability and Accelerated Life Testing”*, (Suhir Ephraim, 2005)

Hoje em dia, uma empresa só poderá ser competitiva no mercado global se tiver ao dispor recursos que coloquem os seus produtos atempadamente no mercado com preços adequados e qualidade acima da média. Para tal ser possível, torna-se necessário encontrar bons métodos de fiabilidade. Além disso, cada vez mais é importante reduzir o tempo de desenvolvimento e ensaios dos produtos. Têm surgido inúmeros modelos de fiabilidade dos quais se têm destacado os modelos de ensaios acelerados, pois num curto espaço de tempo é possível estimar o percurso de vida do produto até ocorrer a falha. Este artigo dá ênfase aos ALT (Accelerated Life Tests) ou em português, os ensaios acelerados de vida, ou seja, é através deste tipo de testes que é possível manter e melhorar a competitividade e reduzir os custos de desenvolvimento e optimização dos produtos, de forma a ir ao encontro das necessidades dos clientes cada vez mais

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

exigentes. Apostando numa fase de concepção exigente, numa verificação e análise cuidada, diversificando os modelos de ensaios acelerados a usar (aplicando inúmeras variáveis), poder-se-á obter informação valiosa acerca do produto em causa. Os ensaios acelerados acabam por ter um papel vital na capacidade das empresas em relação a outras, na redução de custos em quase todos os sectores (fase de desenvolvimento, investigação, optimização). Este artigo acaba por abordar a razão de utilizar os ensaios acelerados e a de não utilizar, pondo em causa a competitividade e a capacidade limitada das empresas.

14. “*Evaluating Accelerated rut testers*”, (Romero P. & Stuart K., 1998)

Milhares de milhões de dólares são gastos todos os anos em manutenções e reparações nas estradas Norte Americanas.

É por isso importante a implementação de métodos que reduzam os custos de más misturas e o custo relativo ao tempo desperdiçado. Por isso, essas empresas (*DOTs* – ‘*Departments of Transportation*’) começaram a adoptar o uso de ensaios acelerados nos seus testes, melhorando assim a qualidade dos mesmos, e conseqüentemente a qualidade do pavimento.

Neste tipo de teste costumam aplicar uma determinada força fixa com uma outra variável de temperatura fixa. Este teste pretende simular a degradação do pavimento devido à passagem constante de viaturas nas condições normais. Nestas condições, não é possível fixar os parâmetros, logo torna-se necessário realizar inúmeros testes para que se estime o comportamento do asfalto dentro de uma determinada gama de valores.

15. “*Weather Testing for the real world*”, (Sherman L.M., 2008)

O uso de plásticos em mobiliário, e a necessidade de minimizar a pintura nos componentes automóveis, aumenta a expectativa de estimar a fiabilidade dos produtos, bem como do seu desempenho nas condições mais adversas. Os ensaios acelerados são modelos que prevêm de uma forma eficaz e num espaço de tempo reduzido o desempenho dos produtos, ou seja, em vez de utilizar os testes comuns de uso contínuo ou descontínuo, procura-se encontrar alternativas para melhorar o desenvolvimento dos produtos actuais e expandir a sua capacidade para garantir uma fiabilidade superior ao

menor custo. É importante que os engenheiros percebam quais os parâmetros a variar para que se possa chegar a dados fiáveis.

No estudo das condições ambientais, além da análise da Temperatura e Humidade Relativa, é importante verificar o uso do material, realizar provas que resistam à exposição dos produtos ao ar livre e resistir a provas de desgaste acelerado, ou seja, são as três peças fundamentais num ensaio deste tipo.

De acordo com Allen Zielnik, Consultor Senior na “*Weathering Science at Atlas Materials Testing Technology*”, um outro ponto fundamental é o de os produtos serem capazes de tolerar a exposição solar intensificada através do uso de espelhos.

Este artigo aborda modelos ambientais intensivos, ou seja, recorrendo mais uma vez aos ensaios acelerados.

16. “Will your product survive in the field? HALT and HASS testing are not just for aerospace electronics anymore”, (Grundy P., 2006)

Os ensaios HALT e HASS, começam nos dias de hoje a ganhar importância junto das empresas pela sua enorme aplicação, reduzindo prazos e custos, apesar de ainda existirem muitos engenheiros que não compreendem as verdadeiras vantagens dos mesmos.

O ensaio HALT é um ensaio altamente acelerado de vida, ou seja, é uma análise a um dado produto em condições extremas que permitirá que o produto falhe em menos tempo. Os dados obtidos são depois extrapolados para as condições normais de uso. A grande vantagem destes testes é o de reduzir o tempo normal de que um produto poderia demorar nas condições comuns.

O teste HASS é um ensaio altamente acelerado que realiza uma série de testes controlados variando os parâmetros, obtendo assim, inúmeros resultados finais o que torna possível identificar possíveis defeitos ocultos.

O que se pretende transmitir é a enorme aplicabilidade e capacidade que os ensaios altamente acelerados oferecem a todas as indústrias. Este artigo acaba por abordar estes ensaios e aprofunda a sua aplicação na indústria em geral.

17. “Análise dos efeitos das incertezas nas estimativas de tempos de falha de produtos via ensaios acelerados”, (Papa M.C.O et al., 2007)

Nos dias de hoje, as empresas têm o desafio de lançar para o mercado produtos competitivos, produtos com qualidade e fiabilidade alta, consoante as necessidades dos clientes finais. Na procura de melhores produtos, melhores formas de optimização e redução do tempo de investigação e desenvolvimento, torna-se necessário encontrar novos modelos. Sendo assim, surgiram os ensaios acelerados de vida, que não são mais que métodos de fiabilidade que reduzem o tempo de falha utilizando para isso, condições extremas (variáveis de aceleração muito elevadas). Posteriormente, os dados são analisados e extrapolados para as condições normais de utilização. Deste modo, as empresas podem conceber produtos melhores e mais baratos, mantendo um nível de qualidade superior.

Neste artigo procura-se entender a influência dos efeitos das estimativas nos tempos de falha dos produtos. A nível experimental são ensaiados relés electromagnéticos.

18. “Accelerated Test Methods as an Alternative to the Catalogue Life Data”, (Sasseron P.L. & Abacherli A.J., 2003)

Este artigo analisa os dados de vida de referência dos fornecedores, verificando os métodos de ensaios acelerados utilizados, bem como as alternativas a estes métodos, e verifica as dificuldades da sua utilização, nomeadamente na escolha dos parâmetros a variar. Deste modo, pretende-se que o leitor fique com uma ideia da importância dos ensaios acelerados e os aplique na sua empresa, para que deste modo reduza o enorme custo que existe no desenvolvimento e optimização do produto. Com este tipo de ensaios é possível determinar mais rapidamente a informação que precisamos.

19. “*Reliability Estimation of Aeronautic Component by Accelerated Tests*”, (Charruau S. et al. 2006)

A competitividade das empresas passa pela inovação e capacidade de utilizar novos métodos, reduzindo todo o tipo de custos, como custos de tempo, custos financeiros, custos de não produzir e custos de ter o equipamento parado, entre outros.

É necessário cada vez mais apostar em produtos mais eficientes e com qualidades superiores. Assim, os engenheiros desenvolveram modelos capazes de satisfazer o requerido, surgindo desta forma inúmeros tipos de ensaios acelerados.

Este artigo apresenta-nos alguns tipos desses ensaios aplicados ao campo da electrónica na aeronáutica. Este estudo envolveu inúmeros departamentos das mais variadas empresas como, a “*Thales Avionics*” (desenvolveu estimativas de fiabilidade), “*LASQUO University*” (definiu e analisou os dados recolhidos) e “*CETECOM Company*” (concedeu o espaço para as provas dos testes). Este estudo pretende estimar o *MTBF* – “*Mean Time Between Failure*”, ou em português, o tempo médio entre falhas do componente electrónico em estudo. É explicado o tempo de missão do componente, a função de fiabilidade nas diferentes fases do produto, os tipos de ensaios que existem e a verificação e análise dos dados recolhidos.

CAPÍTULO 2 – CONCEITOS DE FIABILIDADE

2.1 – Considerações Iniciais

Antes da Segunda Grande Guerra Mundial os conceitos de manutenção e fiabilidade não faziam parte dos planos das empresas, e apesar dos conceitos estatísticos estarem já consolidados, a sua empregabilidade era quase nula.

Deste modo, só durante a Segunda Grande Guerra, e muito devido ao melhoramento do equipamento bélico, passou a existir a necessidade de recorrer a planos de manutenção de modo a reduzir custos de armazenamento das peças, reduzir custos de não produzir, ou na pior das hipóteses, a eventualidade do equipamento militar se encontrar avariado, por exemplo no campo de batalha, pondo em casa a perda desnecessária de vidas humanas. Também a necessidade de bases para reposição de peças e a necessidade de técnicos especializados para substituir os componentes e outros afins começaram a ser preocupações, na tentativa de evitar prejuízos elevadíssimos e insustentáveis a curto, médio e longo prazo.

Surgiu então a necessidade de tentar estimar a vida do equipamento, ou operação bem sucedida durante uma determinada missão.

Segundo *Denson* (1998), durante o conflito global, a montagem de componentes em geral, e o aparecimento de componentes electrónicos, apresentavam um elevado número de falhas. Foi nessa altura que os conceitos de fiabilidade passaram a ser considerados vitais para o bom desempenho dos componentes, evitando assim custos acrescidos.

Segundo *Ebel* (1998), na década de 60 nasceu um método que visava analisar o processo de falha chamado de Fiabilidade Física. Foi desenvolvido na RADC – “*Rome Air Development Center*”, em Nova Iorque, nos Estados Unidos.

Na década de 70-80 a fiabilidade passou a ser utilizada com mais frequência pelas empresas de ponta, sobretudo nas de investigação e desenvolvimento, como a Indústria Militar e a Indústria Aeronáutica. Aos poucos começou a ser empregue em projectos cuja falha dos componentes implicaria custos elevadíssimos em termos humanos e financeiros.

Nos anos 90, com a crescente exigência por parte dos consumidores por componentes com qualidade alta e custos baixos, tornou-se evidente que seria

necessário melhorar o desempenho dos produtos recorrendo a modelos de fiabilidade, de forma a garantir o pretendido pelo mercado.

Actualmente o conceito de fiabilidade está enraizado nas prioridades das maiorias das entidades do sector empresarial.

Num futuro próximo, proceder-se-ão a optimizações dos modelos existentes de forma a aproximar a estimativa do resultado final.

2.2 – Definição de Fiabilidade

O conceito de fiabilidade em termos gerais está associado à obtenção de fazer bem, de operar com sucesso ou ainda à disponibilidade dos componentes. Em termos técnicos, associado à Engenharia existem imensas definições de acordo com inúmeros autores e reguladores como:

De acordo com a ‘*European Organization for Quality Control*’ (1965), a fiabilidade, ‘É a medida da capacidade de um produto funcionar correctamente, por um período e em ambiente definidos.

Segundo o ‘*US Military Handbook*’, a fiabilidade é ‘A probabilidade que um bem irá executar a sua função sobre determinadas condições e durante um determinado período de tempo’.

Segundo o manual da unidade curricular de Fiabilidade, ministrada no ISEL, fiabilidade é ‘A probabilidade de um dado item cumprir a função que lhe é requerida, operando sob condições previamente estabelecidas, durante um intervalo de tempo também previamente especificado’.

Podemos então dizer que o conceito de fiabilidade é uma estimativa. É uma probabilidade. É uma grandeza estatística. Fiabilidade é a probabilidade de um dado sistema sobreviver a um período de tempo específico.

Segundo *Souza* (2003), a probabilidade de falha num período de tempo específico, pode ser definida por:

$$f(t) \cdot \Delta t = P\{t < x_t < t + \Delta t\} \quad \text{e} \quad F(t) = \{x_t < t\}$$

Sendo que $F(t)$ corresponde à probabilidade acumulada de falha até um tempo t .

A função $F(t)$ é crescente e tende para o valor 1 quando ‘ t ’ tende para infinito.

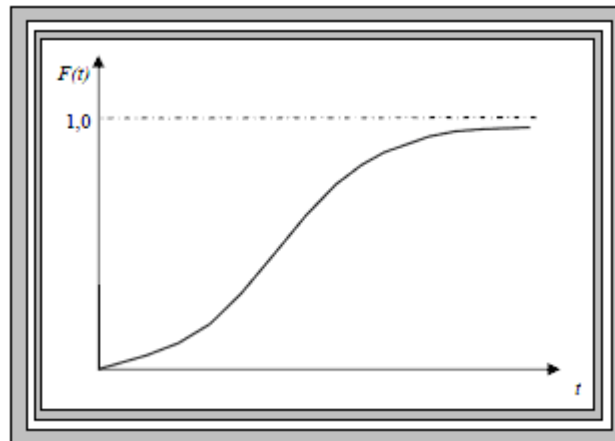


Fig. 01 – Função $F(t)$ segundo Leitch (1995).

A fiabilidade como probabilidade estatística pode ser expressa por:

$$R(t) = P\{x_t > t\}, \text{ ou seja,}$$

A probabilidade de um bem sobreviver é a fiabilidade, simbolizada pela letra R.

A probabilidade complementar é a probabilidade de falha, ou seja, a probabilidade de ocorrer insucesso, simbolizada pela letra F, tal como referido anteriormente. Matematicamente:

$$R(t) + F(t) = 1 \Leftrightarrow R(t) = 1 - F(t)$$



Fig. 02 – Função de Fiabilidade $R(t)$ segundo *Leitch* (1995)

Pode-se deduzir então que a fiabilidade decresce ao longo do tempo, ou seja, quanto maior for o tempo de operação, maior será a probabilidade de ocorrer falha. Pela figura apresentada por *Leitch*, a fiabilidade é máxima no início de vida, diminuído ao

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

longo do tempo. Aliás, segundo *Leitch*, no instante que um determinado componente inicia a sua vida de operação, a fiabilidade é 100%.

A análise do comportamento da taxa de avarias de um componente ao longo de tempo pode ser representada pela curva da Banheira – “**Bathtub Curve**”. É vulgarmente conhecida por ‘curva de mortalidade’. A curva demonstra-nos as fases de vida de um bem: Mortalidade Infantil, Período de Maturidade (Vida Útil) e Desgaste.

Segundo *Sellitto* (2005), as fases da curva da Banheira estão associadas a um factor de forma (por vezes denominado por β).

O factor de forma varia consoante o equipamento em análise, pelo que a curva da banheira pode ter inúmeras formas. Na ilustração seguinte é apresentado a forma geral ou típica.

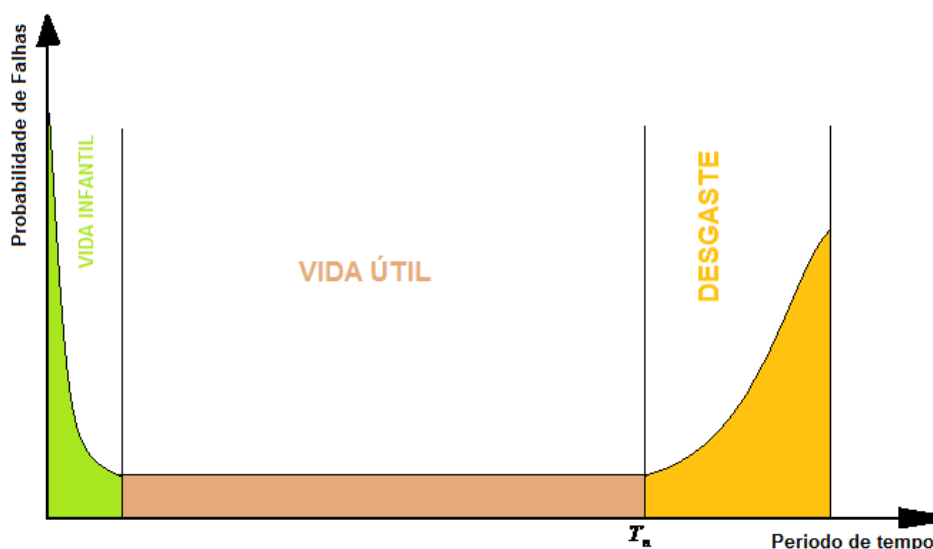


Fig. 03 – Curva da Banheira Geral.

A primeira Zona é designada por infância, falhas precoces ou mortalidade infantil. As falhas prematuras estão relacionadas com inúmeros problemas de defeito associados aos processos de concepção, fabrico, montagem e aos materiais utilizados.

Poder-se-á dever a um projecto deficiente, que ao ser devidamente corrigido, levará a um decréscimo das taxas de avarias.

O autor *Sellitto* (2005) diz que durante esta fase, a melhor forma de corrigir as falhas é o de substituir o componente por um novo para que a falha não se volte a repetir. Nesta fase *Sellitto* diz que a melhor estratégia de manutenção será aplicar um plano de controlo correctivo.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

Acabo por não concordar com o autor, na medida que ao introduzir um componente novo, poder-se-á estar a introduzir uma nova falha precoce no sistema que não é possível determinar.

Desta forma, uma maneira de contornar ou de diminuir esta fase inicial de falha, passa por se realizarem pré-testes no equipamento e/ou implementar políticas de garantia de Qualidade.

Na indústria automóvel os veículos novos já vêm rodados de fábrica, ou seja, já foram verificados em pistas de teste em busca de possíveis falhas.

A segunda Zona designada por região intermédia da curva da banheira, período de vida útil ou período de maturidade. Esta zona contém as menores taxas de falha. Este período pode ser designado pelo período de operação do produto. As falhas que ocorrem durante esta fase são normalmente originadas por forças anormais no sistema, descontinuidades dos materiais e avarias aleatórias.

Segundo *Sellitto* (2005), o plano de manutenção certo será o de manutenção preditiva. Só através da monitorização cuidada é que se poderá detectar precocemente o início da fase de desgaste, ou seja, torna-se possível aumentar continuamente esta fase com um correcto plano de manutenção.

Como causas de falha podemos salientar impactos mecânicos, picos de energia, vibrações excessivas, alterações bruscas de temperatura, entre outros.

Na terceira região temos o chamado período de envelhecimento ou de desgaste. Observa-se que a taxa de falha tende a aumentar significativamente a partir de uma certa idade, denominada por T_n . As falhas nesta fase costumam ser de ordem acumulativa, ou seja, por corrosão, falhas por fadiga, desgaste por atrito, entre outras. Normalmente, o aumento anormal da taxa de falha é um indicador do fim da vida útil do sistema.

2.3 – Requisitos de Fiabilidade

A competitividade entre sectores empresariais obriga a que se concebam componentes com níveis de desempenho superiores. A obtenção de níveis de fiabilidade alta só é possível com o constante estudo e empenho por parte dos fabricantes nos seus bens através de métodos de fiabilidade. Tal facto conduz a uma exigência tal dos equipamentos que se torna necessário, senão mesmo obrigatório, recorrer a planos de controlo apertados e a níveis de fiabilidades próximos de 1. Claro que é importante que exista um compromisso entre fiabilidade, qualidade e custo. Obviamente que quanto

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

maior a fiabilidade, maior serão os custos para a obter. O compromisso depende da sua aplicação final e dos requisitos de fiabilidade.

Disponibilizando dois exemplos simples e concretos, segundo o autor Henrique Carinhas (fonte Manual de Fiabilidade, 2006): Num automóvel de alta competição os requisitos de fiabilidade ficaram aquém dos requisitos de desempenho. Já num avião comercial os requisitos de fiabilidade serão os elementos principais face aos outros.

Em situações intermédias os ditos requisitos de fiabilidade ficam comprometidos com os requisitos económicos. Mais uma vez tem de existir um compromisso entre estes dois pontos.

Por outro lado é importante dizer que a fiabilidade se apresenta em todas as fases, desde a fase de projecto, fase de fabrico, fase de operação e fase de eliminação ou abate.

A fase de projecto fixa-se sobretudo na fiabilidade intrínseca, onde existe o compromisso entre condições funcionais e os níveis de segurança, e naturalmente com os custos.

Na fase de fabrico, visa-se obter a fiabilidade inerente especificada, ou seja, não deve estar condicionada por defeitos de materiais, componentes não-conformes e defeitos de montagem.

Passando para a fase de operação, teoricamente entramos no período de vida útil. Nesta fase dever-se-ão aplicar alguns princípios de fiabilidade, que são mostrados de seguida.

Em qualquer análise de fiabilidade devem-se destacar os seguintes princípios:

1. Avaliar o meio envolvente (físico, químico, ambiental) do componente a tratar.
2. A função do equipamento deve ser tratada, apresentando-se clara e definida, não sujeita as segundas interpretações.
3. Melhorar as condições de trabalho e da própria instalação.
4. Estimativa do desempenho
5. Melhorar a manutenção, criação ou optimização dos planos de controlo de manutenção, bem como apresentação de soluções viáveis.
6. Consequências das modificações
7. Determinar o intervalo de tempo de utilização do equipamento. Atenção que por vezes o período de tempo é medido através de ciclos de operação ou por

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

distâncias percorridas, entre outros, ao invés da grandeza tempo (horas, minutos, segundos, ...).

8. Comparação de níveis de fiabilidade.

Por fim, a fase de desactivação ou fase de abate representa o fim do ciclo de vida do componente pela reposição de outro idêntico, e desta forma o início de outro ciclo que com um plano de manutenção correcto, poderá satisfazer as necessidades do utilizador.

2.4 – Modelos de Fiabilidade

Na análise de fiabilidade torna-se importante estimar o comportamento de um determinado produto ao longo da sua vida. Para isso é necessário determinar a distribuição de probabilidade mais adequada aos tempos de falha registados. Existem várias distribuições, embora as mais usuais na análise dos dados de vida de equipamentos serem as distribuições contínuas, tal como exposto de seguida:

Distr. Normal, Distrib. Exponencial, Distrib. Lognormal e Distribuição de Weibull.

2.4.1 – Distribuição Normal

Alguns fenómenos probabilísticos seguem uma lei de distribuição designada por função de distribuição normal ou de *Gauss*. Esta lei diz-nos que os valores com maiores probabilidades se encontram concentrados em torno de um valor médio, tendo em conta a dimensão da amostra. Os valores com menores probabilidades estão inevitavelmente mais afastados do valor médio considerado. Esse afastamento é maior ou menor, consoante o valor da variância.

Graficamente a função de densidade de probabilidade tem a seguinte expressão:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad -\infty < t < +\infty$$

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

Segundo *Dodson e Nolan* (2002), uma dimensão da amostra que se ajuste à Distribuição Normal tem variações simétricas em torno da média, tendo o eixo das abcissas como assíntota horizontal.

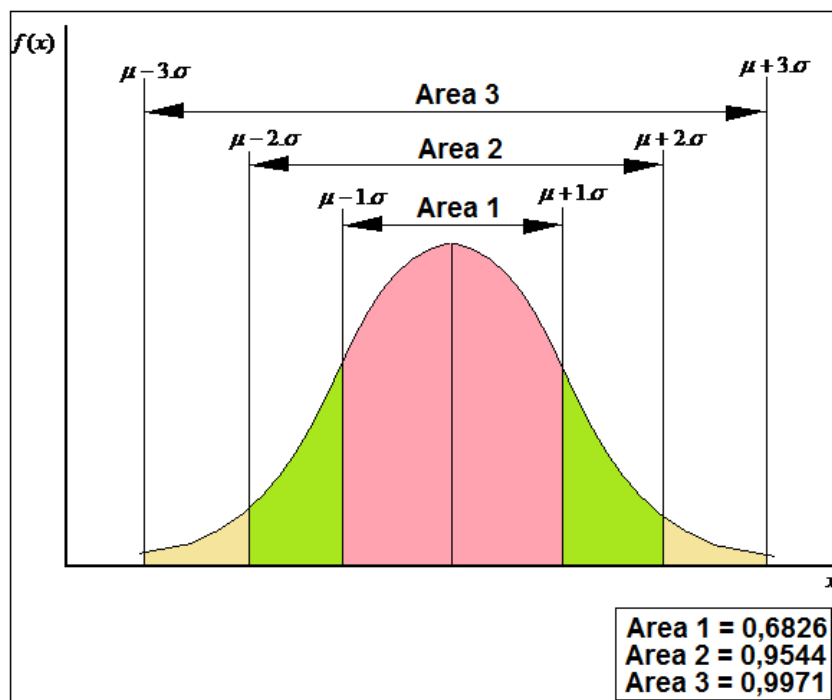


Fig. 04 – Distribuição Normal (Curva Normal ou Curva de Frequência)

Os parâmetros μ e σ especificam a posição e a forma da curva, ou seja, enquanto a média posiciona o centro, o desvio padrão fornece-nos o grau de dispersão. De seguida é apresentada a influência do desvio padrão, verificando-se que quanto maior o ' σ ', mais achatada será a curva e consequentemente maior a dispersão dos valores da amostra.

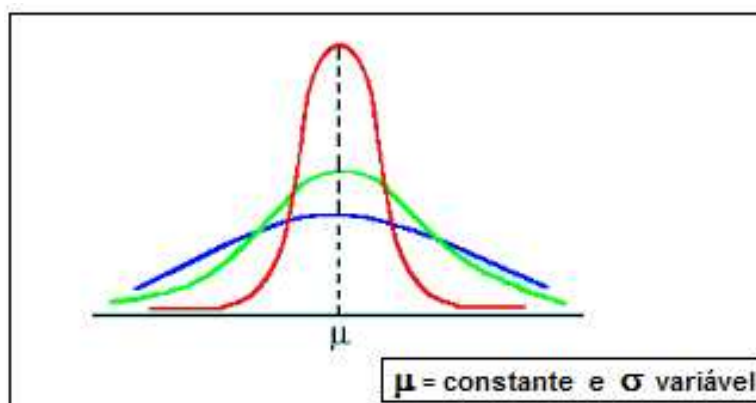


Fig. 05 – Influência do Desvio Padrão.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

Outro ponto-chave desta distribuição é a propriedade que estabelece que a probabilidade da amostra abaixo da média é igual à probabilidade da amostra acima da média, ou seja,

$$\Pr(x \leq \mu) = \Pr(x \geq \mu) = 0,5$$

Desta forma, para calcular a probabilidade de ocorrência de falha no intervalo $X \in [x_1, x_2]$ é necessário integrar a função de distribuição de probabilidade em ordem a 'x' entre esses valores.

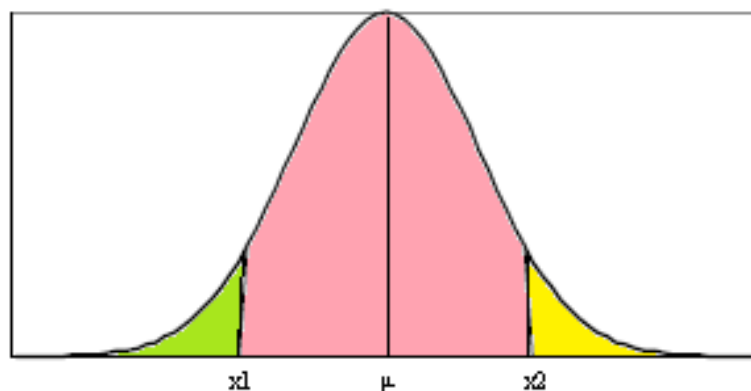


Fig. 06 – Integração da função de distribuição de probabilidade para calcular a probabilidade de ocorrer falha no intervalo de 'x1' a 'x2'.

$$\Pr(x_1 \leq x \leq x_2) = \int_{x_1}^{x_2} \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{t - \mu}{\sigma} \right)^2 \right]$$

Felizmente existe uma forma de contornar as dificuldades impostas pela integração da função. O método de normalização, que transforma as funções da distribuição normal numa única expressão. Esta redução a um caso único caracteriza-se por ter a média igual a zero e o desvio padrão igual a um. Esta nova função é designada por função de distribuição normal reduzida:

$$x \rightarrow z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

2.4.2 – Distribuição Lognormal

A Distribuição Normal com 'ln t' como variável independente traduz-se numa distribuição lognormal. Esta distribuição aplica-se quando as falhas se concentram mais num dos extremos do intervalo.

A função densidade de probabilidade é dada:

$$f(T') = \frac{1}{\sigma_{T'} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{T' - \bar{T}'}{\sigma_{T'}} \right)^2 \right]$$

Segundo *Lafraia* (2001), a Distribuição Lognormal apresenta o valor zero quando a variável 't' se aproxima de zero ou de infinito, o que dificulta a sua aplicação e conseqüentemente é uma desvantagem. Para valores da média muito superiores ao desvio padrão, esta distribuição aproxima-se da normal.

Como exemplos de aplicação desta distribuição temos, segundo *Assis* (1997), os tempos de paragem por avaria de um grande número de sistemas eléctricos, intensidades luminosas de lâmpadas, semicondutores e concentração de resíduos resultantes de processos químicos, entre outros.

2.4.3 – Distribuição Exponencial

Segundo *Lewis* (1994), a distribuição exponencial descreve o comportamento de sistemas com taxas de falhas constantes.

Esta distribuição é geralmente aplicada a sistemas complexos com taxas de falhas independentes, ou em sistemas complexos não redundantes e a sistemas com inúmeros componentes, ou seja, é adequada à representação da vida em conjuntos de componentes ou montagens.

A função de densidade de probabilidade é:

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

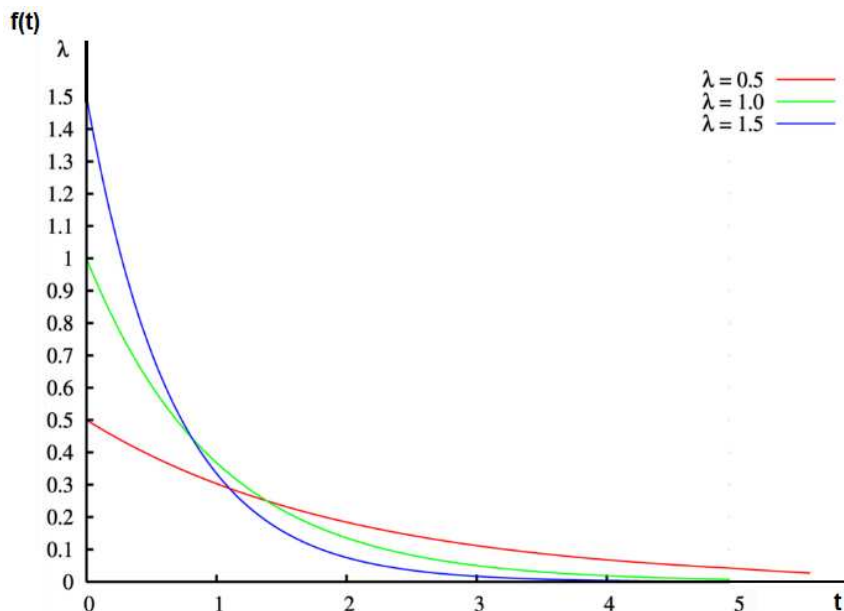


Fig. 07 – Função da densidade da distribuição exponencial com taxas de falha ou taxas de avarias diferentes.

2.4.4 – Distribuição de Weibull

A distribuição de Weibull é uma das mais comuns distribuições em fiabilidade. É um modelo que se adapta a uma grande variedade de características de vida. Além disso apresenta uma grande flexibilidade, fundamentalmente devido ao factor de forma 'β'. Pode ser usada para pequenas dimensões de amostra.

Segundo *Dodson e Nolan* (2002), esta distribuição disponibiliza informação suficiente para definir planos de controlo e analisar os vários tipos de falhas existentes. A função de distribuição de probabilidade de Weibull (na sua forma biparamétrica) é dada por:

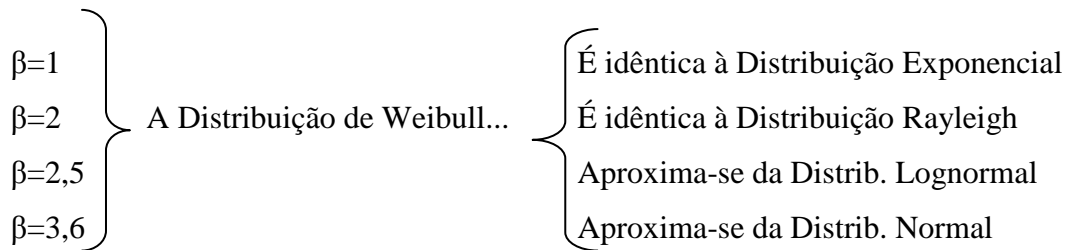
$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

Na distribuição de Weibull ‘ η ’ designa-se por vida característica. A distribuição de Weibull pode-se aplicar aos três períodos de vida, isto é, quando se alcançam valores de $\beta < 1$ corresponde ao período infantil, se $\beta = 1$ comporta-se como no período de maturidade e para $\beta > 1$ estamos na fase de desgaste.

A função acima descrita poderá assumir diversas formas se o parâmetro de forma for alterado.

Segundo *Dodson e Nolan* (2002):



Na figura seguinte pode-se verificar a função densidade de probabilidade considerando diferentes valores do parâmetro ‘ β ’, o que acaba por ir ao encontro do que *Dodson e Nolan* assumiram.

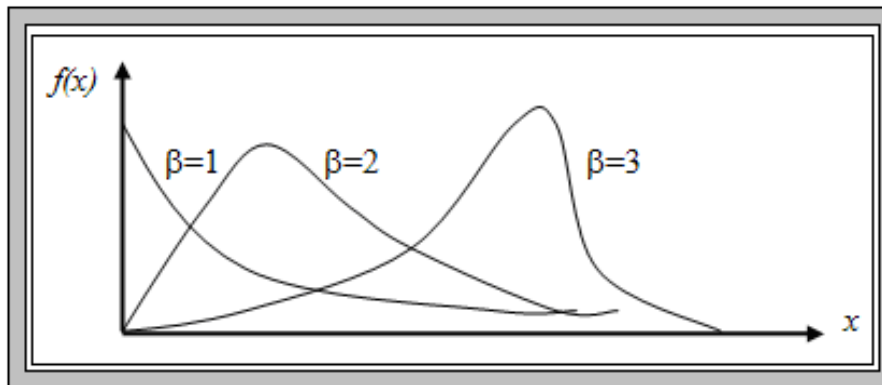


Fig. 08 – Função de densidade de probabilidade para diferentes parâmetros de β .

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

A Tabela 01 fornece-nos interpretações físicas da distribuição, segundo *Lafraia* (2001).

t_0	β	Significado
= 0		Não há fiabilidade intrínseca. Significa que em $t=0$ a probabilidade de falha é nula.
	< 1	Taxa de falha decrescente, devido aos baixos coeficientes de segurança de carga.
	= 1	Taxa de falha constante. Falhas de origem aleatórias.
	> 1	Taxa de falha crescente. Mal o bem entra ao serviço, inicia-se a fase de desgaste.
> 0		O bem possui fiabilidade intrínseca. Durante o período de garantia existe uma forte probabilidade de não ocorrer falha.
	< 1	Desgaste do tipo fadiga.
	≈ 0.5	Fadiga de baixo ciclo.
	≈ 0.8	Fadiga de alto ciclo.
	> 1	Desgaste do tipo erosão.
< 0		O bem pode falhar antes de ser utilizado.
	< 1	Antes do bem entrar ao serviço, o bem já se encontra num tipo de desgaste, tipo esse de fadiga.
	> 1	Desgaste provocado pela contínua redução de resistência.

Tabela 01 – Interpretações Físicas de Distribuição.

No qual: t_0 - Representa o tempo inicial do bem.

β - Representa o factor de forma

A distribuição de Weibull é adequada para estimar a vida em situações de corrosão, fadiga e desgaste. Podem-se referir alguns exemplos da sua aplicação, como por exemplo em chumaceiras anti-fricção, engrenagens, relés e lâmpadas com pré-aquecimento, entre outros.

2.5 – Modelos Paramétricos de Aceleração com níveis de aceleração constantes

A escolha do modelo certo para o comportamento do modo de falha em determinado ensaio acelerado é por vezes de difícil selecção.

A combinação da distribuição da relação entre nível de aceleração com o tempo de vida, é designada por modelo paramétrico de aceleração, no qual é possível realizar a extrapolação para condições normais de utilização.

Na figura seguinte é apresentado uma relação típica de níveis de aceleração com um determinado período de vida para vários níveis de sollicitação.

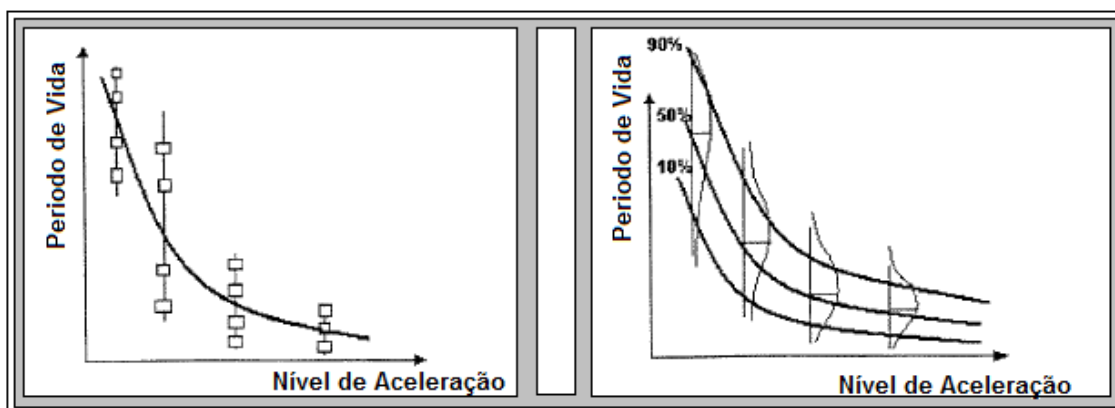


Fig. 09 – Ilustração exemplificativa da relação entre o nível de aceleração e o período de vida de um dado item.

Na figura de baixo pode-se apreciar a mesma relação, mas de uma forma linearizada, por logaritmização (utilizando a Distribuição Lognormal de Vida para o efeito).

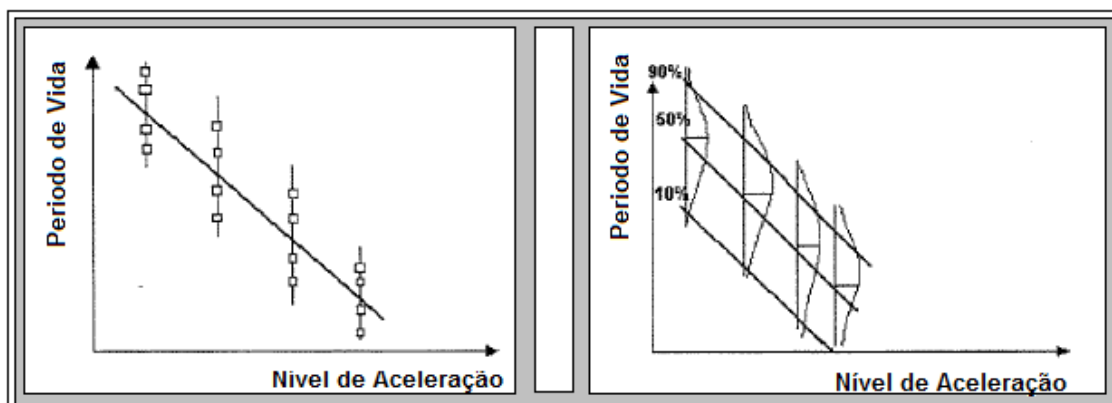


Fig. 10 – Ilustração exemplificativa da relação entre o nível de aceleração e o período de vida utilizando a Distribuição Lognormal.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

Os modelos paramétricos de aceleração mais utilizados são (*Nelson (1990), Meeker e Escobar (1993)*):

- a) Relação de Arrhenius
- b) Relação de Eyring
- c) Relação da Potência Inversa.

Outras relações existentes têm como base os modelos paramétricos de aceleração mais conhecidos, e referidos anteriormente. No Capítulo 3 entra-se em detalhe relativamente aos modelos aqui falados.

2.6 – Tipos de Planeamento

Existem diversos tipos de planeamento a considerar num ensaio acelerado. Segundo *Nelson (1990)*, os factores a ter em conta na realização de ensaios acelerados de vida são os seguintes:

A) Selecção do Ensaio

- A1) Identificar as falhas do projecto
- A2) Eliminar ou reduzir essas falhas
- A3) Comparar dados (verificar vários projetos, itens, tipos de condições de operação, procedimentos de provas, entre outros)
- A4) Identificar defeitos de Concepção e de Fabrico (estimar a fiabilidade caso se eliminasse os defeitos)
- A5) Controlo de Qualidade
- A6) Verificar outras variáveis, ou seja, avaliar outros parâmetros que possam variar a fiabilidade (como materiais, operações, meio ambiente, geometria, acabamento superficial, entre outros)
- A7) Recolha de amostras para futura avaliação da produção ou lote.
- A8) Medida de Fiabilidade (estimar garantias, custos de serviços, taxa de falha, MTTF, entre outros parâmetros.
- A9) Demonstração da Fiabilidade (com valores finais iguais ou superiores ás especificações do cliente.
- A10) Validação do Ensaio

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

A11) Validação do Modelo (verificar se a relação entre o nível de aceleração e o período de vida é adequada ao ensaio)

A12) Política de Manutenção (criar planos de manutenção adequados a cada ensaio)

B) Desempenho do bem

O desempenho de um bem varia consoante as propriedades físicas que estão associadas. Dependendo das variáveis, estas podem-se degradar com o período de tempo (seja em segundos, em ciclos, em arranques, ou em outra unidade de medida de tempo de vida).

Em termos estatísticos o desempenho do bem é designado por variável de resposta ou variável dependente.

C) Tipo de Amostras

É necessário que exista um certo cuidado na selecção das amostras. Geralmente são aleatórias e com um número significativo de amostras pré-estabelecido, obedecendo por exemplo ao método para determinação do número de amostras de ensaios de *Meeker e Hahn (1985)*. Por vezes não é possível analisar o número de amostras adequado, conforme o método de *Meeker e Hahn (1985)* devido a factores de ordem económica, que podem encarecer o produto em demasia. É então necessário que se tenha algum cuidado, isto porque os resultados obtidos nas amostras podem não coincidir com as condições iniciais. Um exemplo deste tipo é a determinação de vida por fadiga num dado componente. Se possível, a amostra deve ser representativa da população ou lote a testar.

D) Condições do Ensaio

Nos diversos ensaios acelerados, não é possível simular o teste, nas condições ideais de utilização, pelo que se torna necessário controlar as variáveis que afectam as condições reais do bem. Só através do controlo destes parâmetros é que se torna possível determinar valores próximos das condições normais de utilização.

E) Nível de Aceleração

Os níveis de aceleração na realização dos ensaios, não devem ser muito elevados em relação às condições normais de uso, para evitar o aparecimento de falhas que nas suas condições reais, poderiam não ocorrer. É importante que o nível de aceleração escolhido, esteja de acordo com o ensaio a realizar.

Outra questão importante é que na maior parte das vezes para uma melhor validação dos resultados é preferível utilizar um só nível de aceleração. Além da sua simplicidade, obter-se-ão dados mais precisos.

F) Localização do ensaio

Os ensaios podem ser realizados em laboratórios devidamente preparados para o efeito, bem como nos locais de utilização do bem, ou seja, 'in loco'. Geralmente os ensaios são analisados em laboratórios de modo a controlar inúmeras variáveis para que se obtenham valores mais credíveis, se for possível.

Assim sendo, no planeamento dos ensaios acelerados, *Nelson (1990)* definiu as seguintes etapas:

- a) Definir o objectivo do ensaio e os níveis de aceleração
- b) Seleccionar o Modelo e a Distribuição mais adequada ao ensaio.
- c) Definir o número máximo do nível de aceleração de forma a não introduzir novos mecanismos de falha.
- d) Realizar o ensaio e recolher os dados obtidos, extrapolando-os com a utilização de um programa informático para as condições iniciais.

2.7 – Fiabilidade e Ensaio Acelerados

No desenvolvimento de um dado componente, é importante conhecer e estimar a vida útil do produto. Geralmente conhecemos a fiabilidade intrínseca (fiabilidade à saída da fábrica) que nos pode ajudar a calcular inúmeros parâmetros como: fiabilidade dos componentes; determinar prazos de garantia; elaborar stocks mais reduzidos reduzindo assim os custos de armazenamento e outros custos; recolher, analisar e enviar os dados obtidos para futuras optimizações de planos de controlo de manutenção, entre outros.

A fiabilidade surge na medida que permite estimar a ocorrência das falhas, reduzindo os custos de não produzir, custos de reparação (componentes e mão-de-obra), custos de deslocação, custos associados a outras máquinas que podem ser dependentes da máquina que necessita de intervenção, custos de prazos de entrega, custos de imagem e satisfação de clientes, etc.

Na maioria das vezes a informação contida no catálogo do fabricante é limitada, isto é, os dados do fabricante são processados segundo condições de utilização específicas que não vão ao encontro das praticadas pelos utilizadores. Os dados do fabricante podem ser designados como dados de referência e não mais do que isso.

Deste modo torna-se necessário encontrar alternativas para a obtenção de dados para o cálculo exacto da fiabilidade. Existem vários métodos de teste, como por exemplo o teste de uso nas condições de operação '*in loco*', o teste de uso contínuo e o ensaio acelerado de vida. Associado a essas alternativas, encontra-se um parâmetro de extrema importância, o factor tempo que se pretende que seja o mais reduzido possível. Desta forma surgem os ensaios acelerados.

Aliás, *Vassiliou e Mettas (2002)* dizem que a obtenção de parâmetros de vida sob condições normais de funcionamento do bem por vezes é difícil devido ao longo período de vida útil dos produtos ou ao curto período de tempo disponível para os ensaios de concepção, ensaios de fabrico e lançamento do produto, razão pela qual são executados os ensaios acelerados.

CAPÍTULO 3 – ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA

3.1 – Considerações Iniciais

Segundo *Nelson (2005)*, o primeiro plano para ensaios acelerados surgiu na década de 60 por *Chernoff*. Este plano envolvia na sua maioria modelos exponenciais e apenas duas condições aceleradas.

Na década de 70, *Wayne Nelson* e seus colaboradores publicaram diversos trabalhos, onde surgiram planos de ensaios para distribuições de Weibull e Lognormal *Nelson (1975)*.

Desta forma, os ensaios acelerados são pontos-chave no sector empresarial seja para estimar a fiabilidade, seja para certificar bens, seja para avaliar e otimizar projectos, detectar modos de falha precocemente ou para comparar diferentes modos de fabrico e servir de comparação com a fiabilidade do fabricante. Estes testes são ferramentas para a análise de componentes cada vez mais complexos, realizados em períodos de tempo relativamente curtos.

Os ensaios acelerados não são mais que testes de alta solicitação que têm como função prever a fiabilidade de um dado componente no menor período de tempo possível.

Estes testes são sujeitos a níveis de stress muito superiores ao normal, o que provocará uma degradação acentuada de um determinado mecanismo de falha do produto. Para efectuar estes ensaios alteram-se uma ou mais variáveis como a Temperatura, a Tensão Eléctrica, a Pressão, a carga solicitada, entre outros.

Estes ensaios fornecem dados que são depois extrapolados para as condições normais de utilização, através do modelo mais apropriado.

Deste modo, os ensaios acelerados têm-se tornado uma mais-valia no que diz respeito às mudanças tecnológicas de análise dos processos existentes. A sua intervenção rápida na detecção de possíveis falhas, acaba por oferecer produtos mais complexos, novos produtos nos mercados e níveis de confiança elevados junto dos seus consumidores.

Existem duas razões essenciais para a execução dos ensaios acelerados:

1. Estimativa de vida
2. Identificação, Prevenção e Confirmação de problemas.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

Segundo *Felix (2007)* "Os ensaios acelerados devem ser sempre abordados com o devido cuidado. Existem limitações básicas a ter em conta. Podem surgir diferenças na aplicação do ensaio acelerado, que podem invalidar por completo as informações recolhidas durante o ensaio".

É então de extrema importância que no desenvolvimento de um ensaio acelerado se realize um teste preliminar para verificar a validade da aplicação e determinar assim a relação a ser aplicada entre o esforço aplicado ao bem e o correspondente tempo de vida operacional do mesmo.

Outro ponto importante neste tipo de validações é a complexidade do equipamento em causa. As técnicas de aceleração são adequadas a ensaios a componentes ou a ensaios a sistemas. Estas técnicas serão explicadas mais à frente.

Podemos deduzir que quanto maior for o número de componentes, mais complexo é o sistema, e portanto maior a dificuldade na análise da fiabilidade.

Um exemplo deste tipo de variações, está descrito na tabela abaixo apresentada.

<u>Classificação de Complexidade</u>	<u>Número de componentes</u>
Simple	100
Médio	500
Alto	2000
Muito Alto	4000

Tabela 02 – Classificação da Complexidade de sistemas electrónicos. - *Fonte Felix (2007)*

3.2 – Tipos de dados de fiabilidade de acordo com os critérios de conclusão dos ensaios.

Os dados obtidos pelos ensaios acelerados podem ser de Tipo I ou de Tipo II. Se os testes forem conduzidos até que todos os bens falhem ou até um determinado tempo de ensaio, são do Tipo I.

Se os testes forem ensaiados até que um número de falhas ocorra, então são do tipo II.

De seguida é apresentada uma classificação dos ensaios segundo os tipos de dados.

3.2.1 – Ensaios Completos do Tipo I

Todos os bens da amostra são analisados até surgir a falha. A quantidade acumulada de falhas no final do ensaio, é igual ao número da amostra.

A duração total Acumulada é:

$$t_r = \sum_{i=1}^n t_i$$

t_i - Corresponde ao período temporal

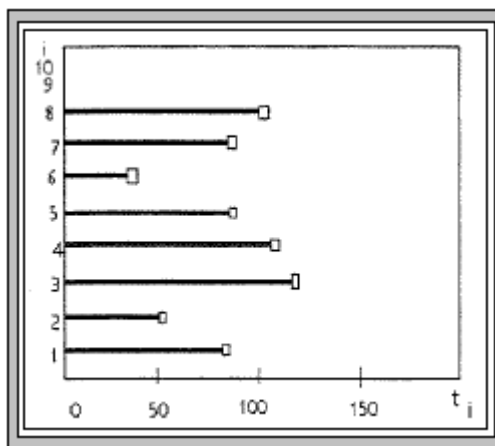


Fig. 11 – Exemplo de um ensaio completo do Tipo I, no qual é apresentada uma amostra de 10 bens que são testados até falhar.

Nota: Os bens avariados não são reparados ou substituídos.

3.2.2 – Ensaios Unicensurados à Direita do Tipo I ou do Tipo II

O ensaio é unicensurado no momento que os seus bens se encontram nas mesmas condições de teste. Cada dado obtido é unicensurado se o tempo de censura for fixo, sendo o número de ocorrência de falhas para esse tempo pré-estabelecido, aleatório. Por vezes, durante os ensaios, algumas amostras não falham no período seleccionado pelo que são consideradas suspensas ou sobreviventes.

Podem ocorrer devido a duas situações:

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

1. Tipo I: O teste é suspenso após um período seleccionado.
 2. Tipo II: O teste é interrompido quando é alcançado um determinado número de falhas.
- número de falhas.

O ensaio é unicensurado à direita, quando todas as unidades de censura tiverem um tempo de censura comum e quando todos os tempos de falha forem anteriores ao tempo de censura, como se demonstra a figura seguinte.

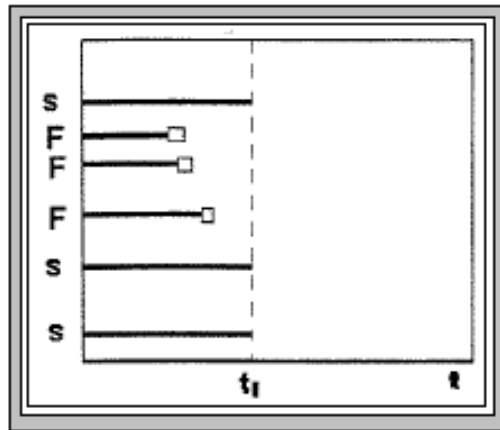


Fig 12 – Ensaio Unicensurado à Direita.

3.2.3 – Ensaios Unicensurados à Esquerda do Tipo I ou do Tipo II

Este ensaio é semelhante ao anterior. O ensaio é unicensurado à esquerda se todas as amostras a partir do tempo estabelecido não continuarem o ensaio, serão consideradas como suspensas à esquerda.

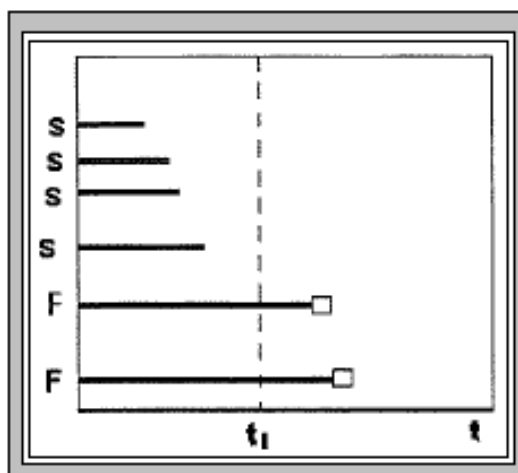


Fig. 13 – Ensaio Unicensurado à Esquerda.

3.2.4 – Ensaio com censura Múltipla

Por vezes acontece que muitos valores censurados à direita possuem diferentes tempos, misturando os tempos de falha com os tempos de censura, ou seja, se existir mais do que um tempo de censura, estamos na presença de um Ensaio com censura Múltipla.

Este ensaio pode ser encontrado quando ocorrem determinados parâmetros como:

1. Algumas unidades são removidas do ensaio antes de chegarem à falha.
2. Algumas amostras são retiradas devido a uma falha aleatória.
3. Certas unidades começaram o ensaio mas foram afastadas em simultâneo do teste.

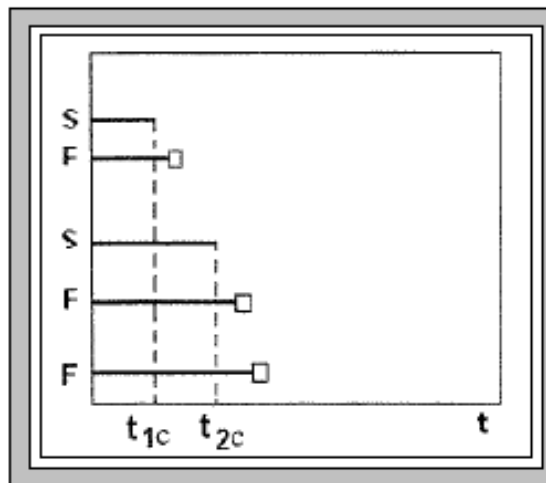


Fig 14 - Ensaio com censura Múltipla.

3.3 – Métodos de Aceleração

Segundo *Souza* (2003), existem três métodos de aceleração.

3.3.1. “High Usage Rate” – Aumento da taxa de funcionamento

Uma forma simples de acelerar a vida de inúmeros produtos é utilizá-los mais vezes, ou seja, com uma taxa de uso elevada. Existem então duas formas para o fazer:

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

a) “Faster” (Rápida): Acelerando o produto. Dando o exemplo dos rolamentos, estes são por exemplo utilizados a 3 vezes a velocidade normal de uso.

Além disso podem ser combinados outros factores de stress. Mais uma vez usando o exemplo dos rolamentos, podemos adicionar como variável de aceleração uma força de carga.

b) “Reduced off time” (Redução do tempo inactivo): Acontece sobretudo nos produtos menos utilizados. O produto é utilizado a uma taxa de funcionamento superior. Dando um exemplo de um autoclismo. Este produto nas suas condições normais, funciona entre uma a duas horas por dia descontinuamente. Ora através de ensaios acelerados colocar-se-á o autoclismo a funcionar continuamente durante 24 horas. Estes produtos de pouca utilização, com um factor de tempo de uso reduzido, são previamente testados em condições muito superiores às ditas normais.

A finalidade destes testes é estimar a distribuição de vida nas condições normais de utilização. As amostras são testadas em condições extremas nos modelos apropriados.

Além disso, os dados recolhidos servem como termos de comparação com os de referência e/ou o histórico do produto.

Tudo não passa de uma estimativa, de uma probabilidade baseada nos modelos escolhidos. É necessário ter atenção às variáveis utilizadas, isto para assegurar que só a variável de taxa de utilização seja modificada.

Voltando ao exemplo do rolamento, sabemos à partida que quando se aumenta a velocidade do rolamento, a Temperatura aumenta, além de se poderem produzir falhas que a uma velocidade normal não aconteceriam. Desta forma, nestes testes existem dispositivos externos que controlam a Temperatura, ou seja, não permitem o seu aumento, isto para manter as mesmas condições iniciais dos testes há excepção da taxa de utilização. Assim os produtos sensíveis às temperaturas podem oferecer uma vida útil superior se a temperatura não variar. É por esta razão que muitos produtos são arrefecidos recorrendo a ventiladores.

3.3.2. “*Overstress Testing*” – Aumento da taxa de Desgaste

Estes testes consistem em colocar o produto em situações extremas, intensificando as variáveis para reduzir o período de vida ou para degradar mais rapidamente o produto. Típicas solicitações de stress podem ser descritas como a Temperatura, Voltagem, Humidade, Vibração, Força, entre outros.

Estes ensaios são os mais comuns em ensaios acelerados.

Segundo *Nelson* (2005), existem alguns testes que utilizam este tipo de aceleração como:

a) “*Censoring*”: Os testes são terminados antes de os produtos entrarem em falha. Isto encurta o tempo de ensaio.

b) “*Degradation*”: Os testes acelerados de degradação envolvem os ensaios de stress elevados. Nestas amostras o importante é observar o comportamento do desempenho ao longo do tempo.

c) “*Specimen Design*”: Em alguns produtos é possível aumentar a vida útil dos mesmos alterando parâmetros como a dimensão, a geometria e o material.

A geometria também costuma afectar a estimativa de vida. Por exemplo em metais que apresentam fadiga, propagações de fendas ou outro tipo de rupturas, geralmente associadas a essa falhas temos zonas de elevados níveis de stress e falha prematura. Por outro lado, neste tipo de produtos o nível de stress médio aproxima-se do nível de stress normal referente à geometria a testar.

Por fim, não nos podemos esquecer que a qualidade da superfície do produto também afecta a vida do mesmo.

3.3.3 “*Stress Loading*” – Aumento de cargas

Segundo *Nelson* (2005), num ensaio acelerado as cargas aplicadas são um parâmetro importante a ter em conta. Estas cargas incluem, forças constantes, forças cíclicas, forças degrau a degrau, forças progressivas, e forças variáveis.

Desta forma, precipita-se a ocorrência de falha de um dado bem.

a) “Constant Stress” - Forças Constantes

É o nível de stress mais comum e o mais simples de todos. Apresenta inúmeras vantagens como:

Primeiro, é mais fácil manter os níveis de stress constantes.

Segundo, para modelos de ensaios acelerados é mais fácil analisar os materiais e os produtos para níveis de stress constantes.

Terceiro, para estimar a fiabilidade dos produtos os dados recolhidos são devidamente analisados e tratados.

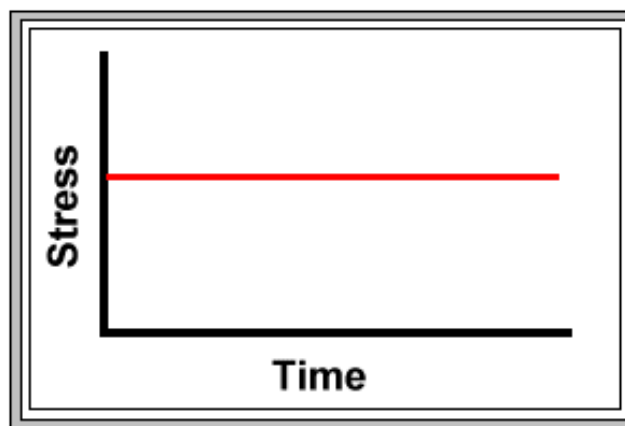


Fig. 15 – Ensaio com stress constante ao longo do tempo.

b) “Step Stress” - Cargas degrau a degrau

A amostra a ser testada é sucessivamente ensaiada em níveis elevados de stress. O seu funcionamento passa por uma série de passos.

Começa-se por colocar a amostra num determinado nível de stress constante durante um período de tempo. Se a amostra não falhar, então coloca-se num nível de stress mais elevado durante um certo tempo. Se voltar a não falhar, repete-se o procedimento até ocorrer a falha.

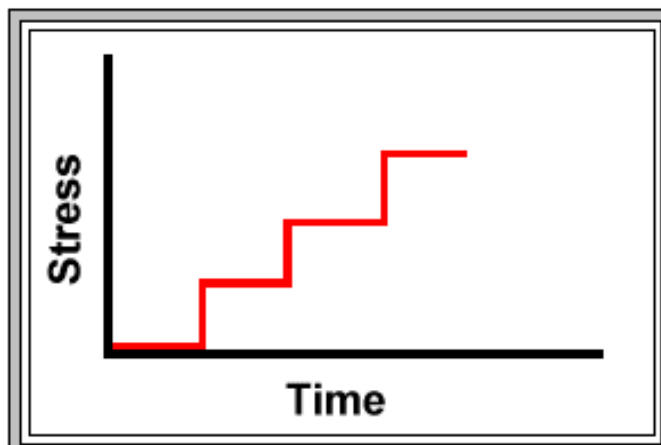


Fig. 16 – Gráfico de referência às cargas passo a passo.

Uma das inúmeras vantagens da aplicação da carga por patamares tem a ver com a rápida detecção da falha, uma vez que o aumento faseado nos níveis de stress permite isso.

Uma das maiores desvantagens, prende-se pelo facto de as falhas ocorrerem em níveis muito elevados de stress, o que por vezes difere das condições normais de utilização. Outra desvantagem deste processo, passa pela não combinação de vários parâmetros de stress. Além disso, o modelo passo a passo é mais complexo que um modelo com variáveis de stress constantes, isto porque o modelo tem de estimar a vida útil sob níveis de stress.

c) “Progressive Stress” - Cargas Progressivas

A amostra recebe um incremento contínuo de stress até falhar. Neste caso existem 3 tipos de taxa (baixo, médio e alto). Sob uma taxa de utilização baixa as amostras sobrevivem durante mais tempo para um nível de stress baixo. Para uma utilização alta, o tempo de vida é baixo mas em contrapartida o nível de stress a aplicar é mais elevado, como se pode verificar na figura de baixo.

Uma das vantagens deste ensaio é o de provocar enormes quantidades de falhas, sendo que a sua principal limitação é na maioria dos casos a não correspondência para as condições normais do produto.

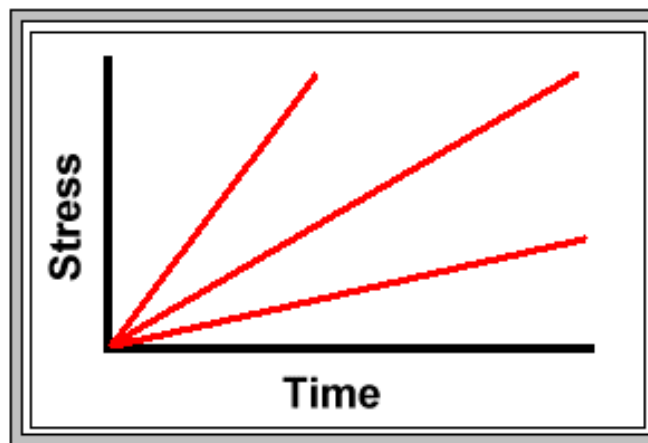


Fig. 17 - Níveis de taxas de utilização do ensaio de cargas progressivas.

Em relação aos inconvenientes, apresenta os mesmos que os testes de passo a passo. Além disso, também poderá ser difícil controlar estes tipos de cargas.

d) “Cíclic Stress” - Variáveis cíclicas

Neste tipo de ensaios a amostra a ensaiar é repetidamente fustigada com cargas cíclicas, como aparece na figura seguinte.

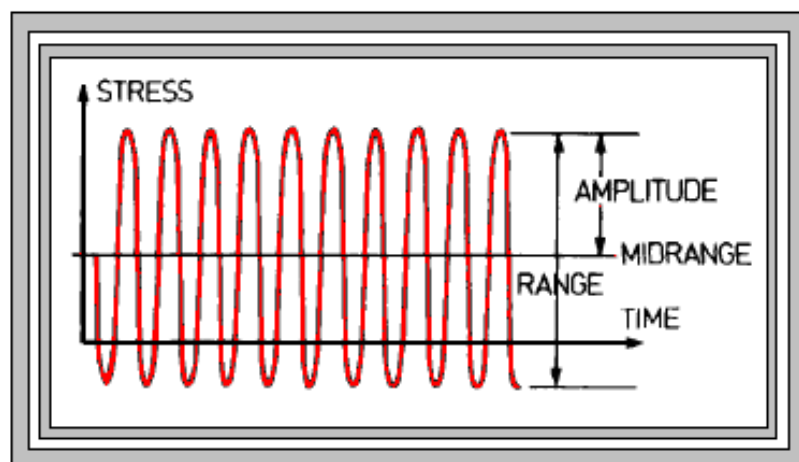


Fig. 18 - Gráfico de referência às variáveis cíclicas.

e) “Random Stress” - Níveis de stress Aleatórios

Por vezes, este tipo de ensaios é utilizado em estruturas sujeitas ao meio ambiente, como elementos estruturais de pontes e edifícios ou componentes de avião.

A Figura 19 mostra o tipo de gráfico em que este tipo de ensaio costuma resultar.

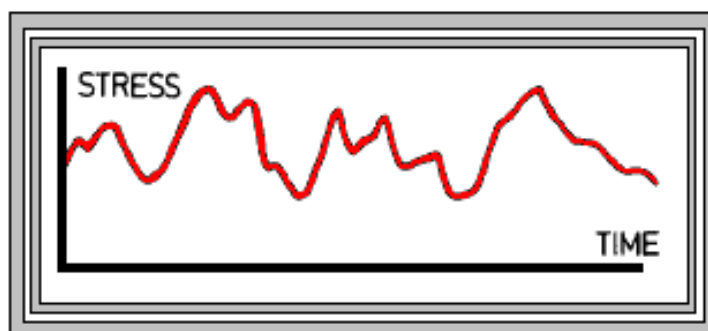


Fig. 19 - Gráfico de referência aos níveis de stress aleatórios.

Neste tipo de ensaios, o modelo de vida utilizado costuma ser o de Distribuição Normal.

Além disso, dever-se-à ter especial atenção à correcta selecção do factor aceleração, de forma a reduzir o período de ocorrência de falha.

A selecção deste factor depende muito do conhecimento sobre o modo de falha em estudo.

Segundo *Moura* (1992), o factor de aceleração é:

$$FA = \frac{MTTF_{Condição_de_USO}}{MTTF_{Condição_Acelerada}}$$

A pré-definição deste factor só é possível se existir um modelo físico que descreva a variação do tempo de vida do bem em função da variação solicitada. Caso contrário, só é possível após a execução de alguns testes com diferentes níveis de aceleração, de modo a chegar a uma relação capaz de descrever um modelo físico.

Souza (2003), oferece algumas orientações para o uso de modelos de aceleração.

1. Escolher as variáveis de aceleração que correspondem às falhas.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

2. Usar um modelo físico para a extrapolação de dados
3. Pesquisar no histórico da empresa ou do fabricante, tentativas de aceleração
4. Projectar ensaios acelerados de modo a minimizar o grau de extrapolação.

Ensaio acelerados com elevados graus de aceleração podem causar falhas que não aparecem nas condições normais de utilização, podendo assim levar a conclusões incorrectas.

5. A maior parte destes ensaios é usado para obter informação de modos de falha simples. Nos casos em que temos ocorrência de falha complexa, é normal que esses mesmos modos de falhas sejam acelerados a diferentes taxas o que pode levar a interpretações incorrectas, levando assim a conclusões erradas.
6. Os testes acelerados a bens devem ser planeados por pessoas com bons conhecimentos desse bem nas suas condições normais de funcionamento. Esse tipo de conhecimento passa pelas características físicas e químicas, modos de falha, fiabilidade do bem, entre outros.

3.4 – Materiais, Factores e Níveis de Aceleração

Para a análise dos ensaios acelerados poder-se-ão testar inúmeros materiais e alguns níveis de aceleração. Na Tabela seguinte é apresentada uma descrição de alguns parâmetros utilizados nos ensaios, elaborada por *Nelson (1990)*.

Materiais mais Utilizados	Factores de Desempenho	Níveis de Aceleração
Metais, plásticos, cerâmicos, adesivos	Fadiga	Vibração, Cargas Constantes, Cargas Progressivas, Impacto
	Corrosão	
Alimentos, lubrificantes, pinturas	Oxidação	
	Início e Propagação de falhas	
Materiais de Construção	Desgaste	Pressão
	Propriedades Mecânicas	Temperatura
Componentes Eléctricos	Tracção, Compressão	Forma geométrica
		Acabamento Superficial
		Humidade Relativa
		Salinidade

Tabela 03 – Propriedades importantes a ter em conta na elaboração dos ensaios acelerados.

3.5 - Modelos de Teste de Ensaios Acelerados

Existem várias alternativas aos dados fornecidos pelo fabricante. Destacamos o ensaio de uso nas condições normais de funcionamento; o teste de uso contínuo; os ensaios acelerados qualitativos e os ensaios acelerados quantitativos.

O teste de uso nas condições normais é uma das alternativas mais simples. Este ensaio é realizado nas condições de serviço do equipamento. Acaba por não ser uma alternativa prática e eficaz, devido ao tempo elevado para obtenção de resultados. O teste por uso contínuo é muito semelhante ao ensaio anterior. Consiste em testar continuamente o componente em regime normal.

Por exemplo se um dado conjunto trabalha apenas algumas horas por dia, em regime contínuo o mesmo conjunto trabalhará 24 sobre 24 horas até a peça ceder (ocorrência de falha). Como o método anterior, este também não é uma alternativa aceitável por dois factores. Primeiro devido ao tempo elevado de espera. Segundo, por não englobar os arranques e paragens (por exemplos picos de corrente, deficiência ao nível da refrigeração, etc.) frequentes na indústria em geral. Segundo *Vassiliou & Mettas (2002)*, nesse caso a limitação ocorre com produtos de uso intenso em que não é possível uma redução significativa de tempo.

Os ensaios acelerados acabam por ser a alternativa viável. Destacam-se dois: os ensaios acelerados qualitativos e os ensaios acelerados quantitativos. Os ensaios acelerados qualitativos são realizados em pequenas amostras; no qual o produto é submetido à variável a testar, um meio extremamente desfavorável, com níveis enormes de stress. Se o produto durante um determinado tempo ‘sobreviver’, é aprovado. O ensaio altamente acelerado de vida pode ser usado para a revelação do provável modo de falha, segundo *Vassiliou & Mettas (2002)*, e em algumas fases de desenvolvimento de produto, segundo *Jawaid (2002)*.

A limitação destes ensaios prende-se pelo facto de os dados obtidos não poderem ser extrapolados para as condições reais de uso.

Segundo *Nelson (1990)*, os testes que se realizam neste tipo de ensaios são designados por: “*Elephant test*”, “*Environmental Stress Screening*”, “*A Single Test Condition*”, “*A Number of Test Conditions*” e “*Burn-In*”, explicados mais à frente.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

Os ensaios acelerados quantitativos incitam o componente em causa a falhar, isto é, estimulam o mecanismo de falha. Consiste em aplicar um nível de stress que exceda as condições da peça nas condições normais de funcionamento. Este ensaio acelerado pode ser concebido sob efeito de alta ou baixa temperatura, humidade relativa, tensão, corrente, pressão, vibração, entre outros, a fim de acelerar o processo de falha.

Segundo *Vassiliou & Mettas (2002)*, o nível de stress deverá sair dos limites de especificação do produto, mas dentro dos limites do projecto.

3.5.1 - “*Elephant test*” – Teste de Elefante

Este tipo de testes têm tido ao longo do tempo inúmeros nomes como, “killer tests”, “design limits tests”, “design margin tests”, “design qualification tests” ou “torture tests”.

A prova consiste:

Se o produto sobreviver, passa no teste. Se o produto falhar são analisadas inúmeras soluções para eliminar a falha. Essas soluções passam por alteração da composição ou dimensão do produto.

Procedimento do Ensaio: O produto é sujeito a um nível severo de stress ou até pode ser submetido a variações de stress simultaneamente ou sequencialmente.

Neste tipo de testes, para que não haja intervenções profundas, é importante prever o aparecimento de falhas críticas no produto.

Existem inúmeros processos que se podem utilizar neste teste, como o “*Cookware*” e o “*Standard Elephants*”.

O “*Cookware*” pode ser explicado com recurso a um exemplo relacionado com a produção de um bem cerâmico usado para monitorizar a qualidade de produção. O produto em causa é aquecido até uma dada temperatura e depois é arrefecido rapidamente, recorrendo a água fria devidamente controlada. Este ciclo de choque térmico é repetido até o produto falhar.

Um outro processo é o “*Standard elephants*”. Neste processo recorre-se a normas para determinar a fiabilidade de determinados produtos. Estes testes são normalmente utilizados para comparar diferentes métodos de concepção.

Inconvenientes: Estes ensaios apenas oferecem informação qualitativa, ou seja, se o produto em causa falha ou não falha.

Como sabemos a maioria das aplicações de fiabilidade necessitam de estimativas, de probabilidades de taxas de falha.

Além disso, não é possível extrapolar os dados de uma simples condição do teste para as condições normais de funcionamento.

3.5.2 - “*Environmental Stress Screening*”

Este método consiste em utilizar combinações de determinados factores para o ensaio do produto em causa.

Os factores passam por Vibração aleatória, ensaios térmicos cíclicos e choque. Esses factores têm dois propósitos que vale a pena considerar. Primeiro, o “*Elephant Test*”, serve para revelar e encontrar problemas de concepção e de geometria do producto. Em segundo, é efectuado um ensaio acelerado com um stress muito elevado para determinar a fiabilidade do produto.

3.5.3 - “*A Single Test Condition*” – Uma única condição para o teste

Por vezes para realizar uma estimativa é necessário testar os componentes com um nível de stress elevado, envolvendo uma única condição de teste. Dever-se-ão ter alguns cuidados nas considerações que se fazem, pois só existe uma variável, o que facilmente poderá levar a uma estimativa errada da distribuição de vida. Estas considerações baseiam-se num factor de aceleração.

Factor de Aceleração: Para a explicação deste factor recorreu-se a um exemplo do autor *Nelson (2004)*.

Considerou-se que num determinado teste existe um motor diesel a trabalhar, assumindo-se que o factor de aceleração é de valor 3. Podemos então dizer que se o

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

motor trabalhar 400 horas até falhar, assumimos que nas condições de serviço, trabalharia até 1200 horas (3x400h).

O que se pretende relatar é que são realizados vários testes de forma a obter modos de falha diferentes. Esses dados são tratados por distribuição de vida comuns. Este método envolve inúmeras suposições, considerações (matemáticas) que serão brevemente descritas mais à frente.

1) "Known Factor": Assume-se que o factor de aceleração é conhecido. O factor é estimado através de ensaios anteriormente efectuados, mais conhecidos por histórico. A conversão do tempo de ensaio para o tempo de utilização não tem em conta o factor de aceleração. Esta incerteza deve-se ao facto de existirem muitas variáveis aleatórias na informação armazenada no histórico do produto.

2) "Same Shape": Assume que a distribuição de vida de serviço é simplesmente um múltiplo da distribuição de vida de teste. Por conseguinte as duas relações podem ter a mesma forma. A distribuição de vida de serviço muda de forma consoante o valor do factor.

3) "Failure Modes": Geralmente existe mais do que um modo de falha nos dados. Assume-se que todos os modos de falha têm o mesmo factor de aceleração (diferentes modos de falha, têm diferentes factores de aceleração). Esta consideração é normalmente utilizada em produtos complexos, como montagens de diversos componentes.

Desempenho: Uma única condição acelerada de teste pode ser usada para servir de factor de aceleração, para avaliar o comportamento do desempenho do produto a ensaiar. Dando o exemplo do betão. O betão adquire a sua força máxima ao fim de 28 dias de cura. O ensaio acelerado para o betão pode ser efectuado sensivelmente em três horas mas na condição que a variável seja uma temperatura elevada.

3.5.4 - “*A number of Test Conditions*” – Inúmeras condições por teste

Para estimar a fiabilidade, a maior parte dos ensaios acelerados emprega inúmeros níveis de stress. Por cada nível é colocado um grupo de amostras.

Depois cada grupo de amostras é testado em condições diferentes de utilização. Os ensaios podem ser verificados com um nível de stress ou com a combinação de vários níveis.

3.5.5 - “*Burn-In*” – Morte Súbita

Consiste em realizar ensaios acelerados durante um longo período de tempo. Este método pode ser descrito como uma operação de concepção, que tem como objectivo que as amostras falhem num tempo curto de vida útil.

Se por este método as amostras sobreviverem, é sinal que durante as condições normais de funcionamento as mesmas terão uma taxa de sobrevivência muito elevada. Este método é muito utilizado para componentes electrónicos e montagens.

3.6 – Modelos de Ensaios Acelerados de Vida – Introdução

Dos métodos anteriormente abordados, os ensaios de vida são os mais adequados para quantificar o tempo até à falha de componentes.

É através de distribuições como Weibull, Exponencial ou Lognormal que se determina a função de densidade de probabilidade da distribuição de falha para as condições normais do produto.

Para os dados obtidos num ensaio acelerado de vida, é necessário utilizar um método que nos permita extrapolar as informações recebidas e consequentemente a uma estimativa dos níveis de utilização. É através da relação entre a função de densidade de probabilidade de falha obtida num ensaio acelerado e a função de densidade de probabilidade obtida em condições normais, que se resume o segredo dos ensaios acelerados. Esta relação pode ser conseguida utilizando os modelos de Arrhenius, Eyring, Potência Inversa e Temperatura e Humidade, entre outros.

A figura 20 ilustra a função densidade de probabilidade de falha. Esta ilustração mostra-nos as características da função para a condição normal e para o ensaio acelerado, segundo *Sasseron & Abackerli*.

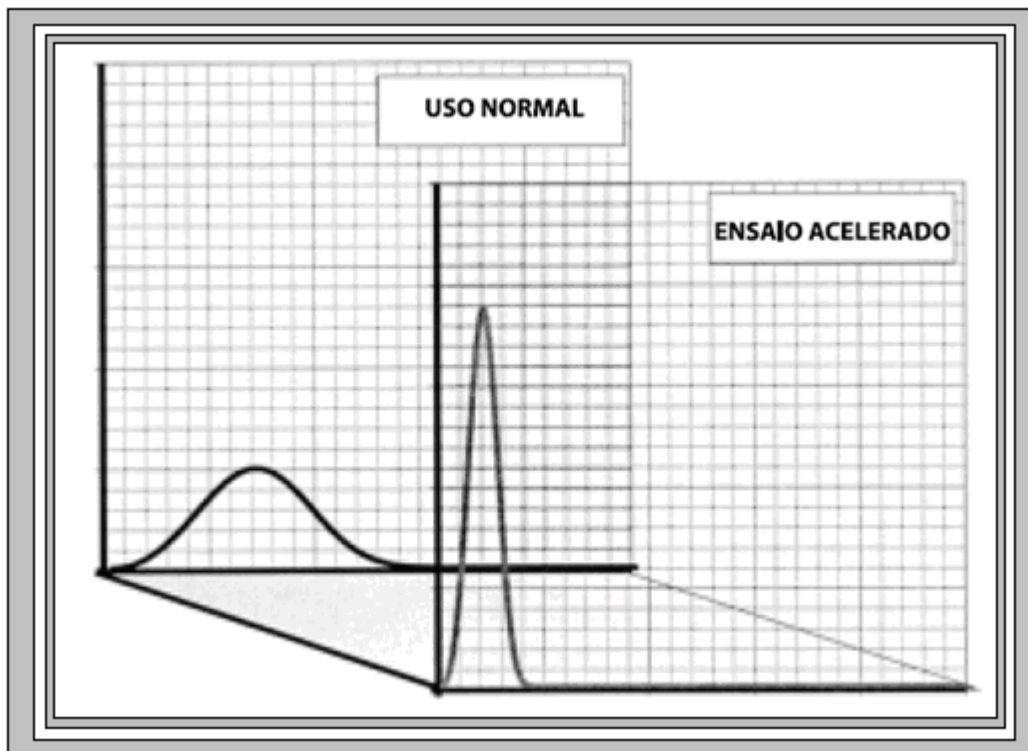


Fig. 20 – Função densidade de probabilidade de falha (Fonte Sasseron & Abackerli).

3.6.1 – Modelo de Arrhenius

É o modelo de ensaio acelerado de vida mais comum. É largamente utilizado quando a variável de aceleração ou stress é a temperatura.

Provém da relação de Arrhenius, proposta pelo físico-químico sueco, Svandtle Arrhenius em 1887.

Este modelo antecipa o aparecimento de falha de um dado bem.

A sua equação é dada:

$$L(V) = C.e^{-\frac{E_A}{k.V}}$$

Onde:

L(V) – representa a vida ou duração do bem

C – constante de posição

E_A – energia de activação

K – constante de Boltzman

T – temperatura absoluta (em Kelvin)

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

O valor de ' E_A ' depende da causa de falha e dos materiais envolvidos. A sua gama varia dos 0,3 a 0,4 ou 1,5 a superior.

O modelo de Arrhenius assume que a vida é proporcional à taxa de reacção inversa do processo. Esta relação é então descrita:

$$L(V) = C.e^{\frac{B}{V}}$$

Onde:

L(V) – representa a vida ou duração do bem

V – representa um dado nível de stress (normalmente a Temperatura)

C – constante de posição

B – factor de stress

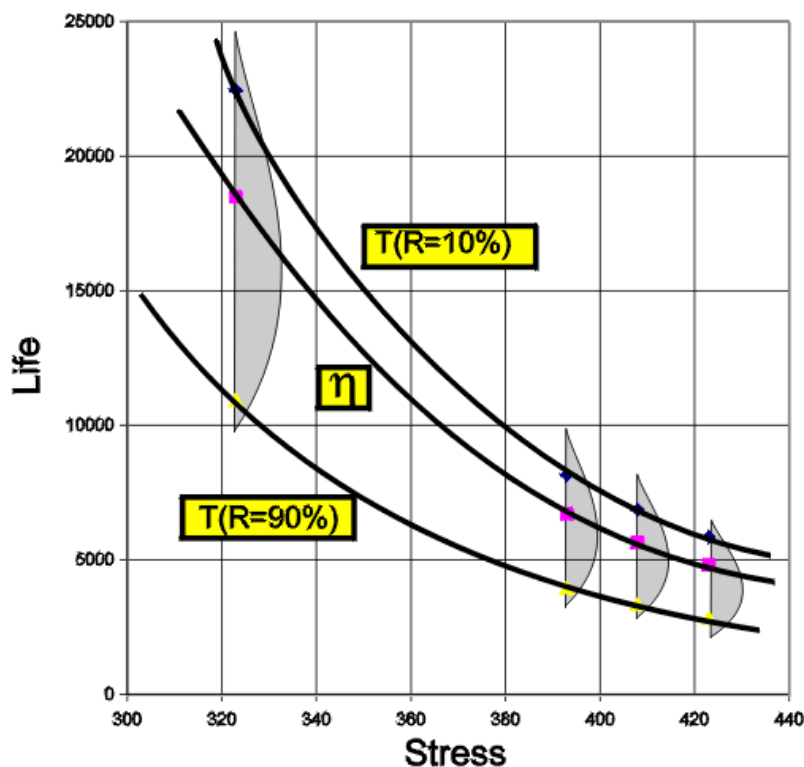


Fig. 21 - Modelo de Arrhenius para diferentes parâmetros de vida, assumindo uma distribuição de Weibull.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

O modelo de Arrhenius, como já foi dito anteriormente, é um modelo físico de temperatura. Por isso, é recomendado que este modelo seja usado para testar temperaturas em ensaios acelerados.

Por essa mesma razão a temperatura deverá vir em unidades absolutas (em Kelvin).

Além disso pode ser descrita pela expressão:

$$\ln(L(V)) = \ln(C) + \frac{B}{V}$$

Onde:

$\ln(C)$ – representa a intercepção da linha (os pontos a vermelho no gráfico)

B – representa o declive da linha

De seguida, ilustra-se o gráfico de Arrhenius para a distribuição de vida de Weibull, segundo *ReliaSoft*.

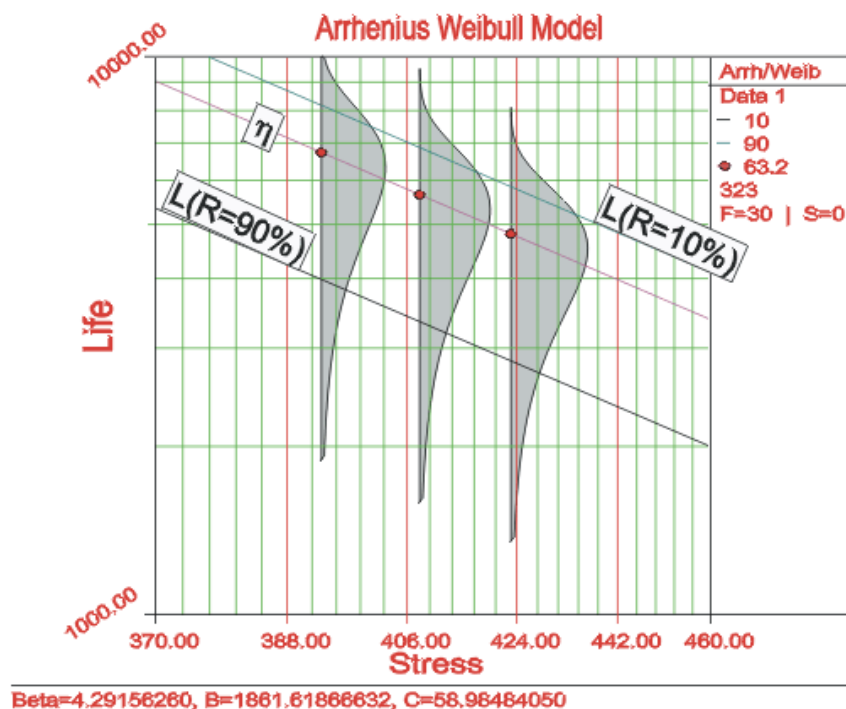


Fig. 22 – Modelo de Arrhenius para a distribuição de Weibull.

As áreas a sombreado demonstram os níveis de aceleração em cada nível. É possível então verificar a gama de vida em cada nível de aceleração, bem como a sua dispersão.

O parâmetro 'B' é dado:

$$B = \frac{E_A}{K} = \frac{\text{Energia_de_Activação}}{\text{Constan te_de_Boltzman}}$$

A constante de Boltzman é de $8,623 \times 10^{-5}$ (eV.K⁻¹)

Factor de Aceleração

Este factor é utilizado para referir a relação de vida entre um nível elevado de stress e o nível normal de stress.

$$FA = \frac{L_{USE}}{L_{Accelerated}} = \frac{C.e^{\frac{B}{V_u}}}{C.e^{\frac{B}{V_A}}} = \frac{e^{\frac{B}{V_u}}}{e^{\frac{B}{V_A}}} = e^{\left(\frac{B}{V_u} - \frac{B}{V_A}\right)}$$

Onde:

L_{USE} – O parâmetro de vida nas condições normais de utilização

$L_{Accelerated}$ – O parâmetro de vida nas condições de aceleração de vida

V_u – Nível de Temperatura em regime normal

V_A – Nível de Temperatura em regime acelerado

No Anexo 1 exhibe-se as várias distribuições utilizadas no Modelo de Arrhenius.

De seguida é apresentado um exemplo prático relativamente a uma das distribuições.

Relação de Arrhenius utilizando a distribuição de Weibull.

Exercicio Prático

Existe a necessidade de conhecer a fiabilidade de um determinado produto. Sabe-se que a vida esperada deste mesmo produto é às condições normais de utilização de mais de 15000 horas. A empresa não dispõe desse tempo para testar o produto. Assim recorre aos ensaios acelerados para estimar a fiabilidade do mesmo. A temperatura é a única variável de aceleração. Sabe-se que para as condições comuns, o produto trabalha a 323 K. Os ensaios foram realizados a três temperaturas diferentes, a 393K, a 408K e a 423K, com 10 amostras por ensaio, totalizando assim 30 unidades.

Nível de Aceleração Temperatura (K)	393 K	408 K	423 K
Tempo de falha (horas)	3850	3300	2750
	4340	3720	3100
	4760	4080	3400
	5320	4560	3800
	5740	4920	4100
	6160	5280	4400
	6580	5640	4700
	7140	6120	5100
	7980	6840	5700
	8960	7680	6400

Tabela 04 – Dados obtidos pelo ensaio acelerado.

A variável de aceleração é a temperatura, pelo que o modelo correspondente é o de Arrhenius.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

A	Tempo da Falha	Temperatura K	A	Tempo da Falha	Temperatura K
1	3850	393	16	5280	408
2	4340	393	17	5640	408
3	4760	393	18	6120	408
4	5320	393	19	6840	408
5	5740	393	20	7680	408
6	6160	393	21	2750	423
7	6580	393	22	3100	423
8	7140	393	23	3400	423
9	7980	393	24	3800	423
10	8960	393	25	4100	423
11	3300	408	26	4400	423
12	3720	408	27	4700	423
13	4080	408	28	5100	423
14	4560	408	29	5700	423
15	4920	408	30	6400	423

Tabela 05 – Os dados da tabela anterior, colocados no Software ALTA 7.0 PRO

Existe o cuidado de seleccionar as relações pretendidas, bem como colocar as condições normais de utilização no local indicado, como se demonstra na figura seguinte.

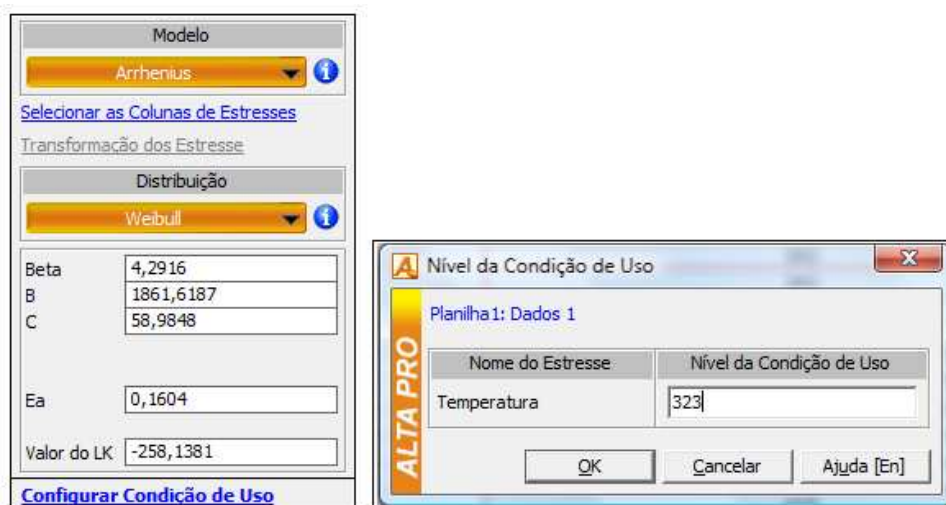


Figura 23 – O Modelo e Distribuição escolhido, bem como a colocação das condições normais de funcionamento.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

Com os dados colocados e os parâmetros seleccionados, analisemos os gráficos seguintes.

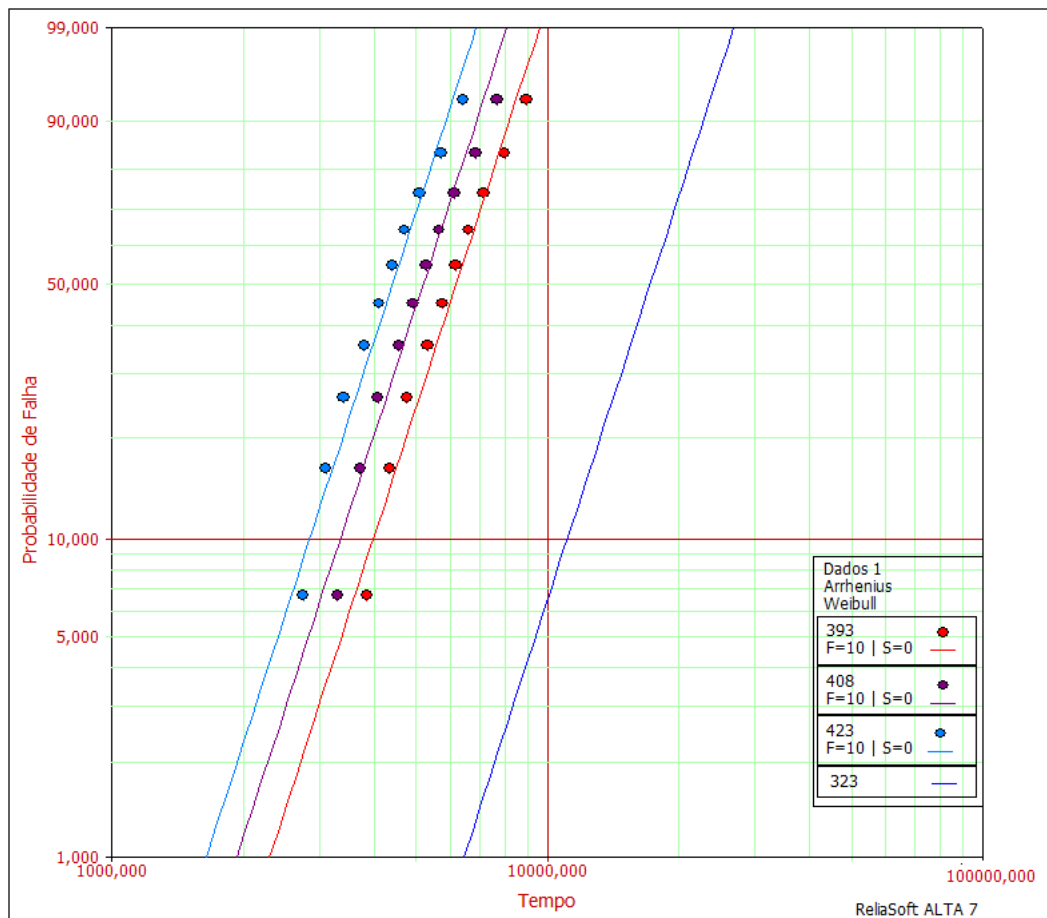


Figura 24 – Gráfico de probabilidade de Weibull para as três condições aceleradas e para as condições normais.

Pode-se verificar no gráfico anterior que para as condições de serviço a fiabilidade é muito superior. Para a obtenção de valores mais precisos, recorre-se a uma opção do programa, de nome ‘Quick Calculation Pad – QCP’, para determinar os valores necessários para futuras estimativas.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

The screenshot shows the 'Cálculos Básicos' tab of the ALTA PRO software. The 'Opções para Cálculos' section has 'Garantia (Tempo)' selected. The 'Opções de Resultados' section has 'Resultados de Confiabilidade' selected. The 'Entrada Requerida pelo Usuário' section shows 'Temperatura' set to 323 and 'Confiabilidade Requerida' set to 0,9. The 'Resultados' table shows the following values:

Resultado	Valor
Superior	2,1093E+4
Tempo	1,1119E+4
Inferior	5861,7016
Confiança	2S @ 0,9

Buttons for 'Calcular', 'Fechar', 'Relatório...', and 'Ajuda [En]' are visible. The status bar at the bottom indicates 'Fólio: Planilha1 (Gráfico de Dados 1)'.

Figura 25 - Esta ilustração demonstra-nos os dados obtidos pelo programa ALTA, requeridos pelo utilizador.

Para um intervalo de confiança bilateral, e para uma fiabilidade de 90%, obtém-se um tempo de Garantia de 11119 horas. Esta é a forma mais correcta para determinar com exactidão os valores desejados.

Porém, é possível chegar aos resultados através do gráfico de probabilidade de Weibull. Para tal é necessário activar a opção 'RS DRAW', fazendo com que seja o utilizador a introduzir as coordenadas correspondentes, de modo a obter o valor a analisar.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

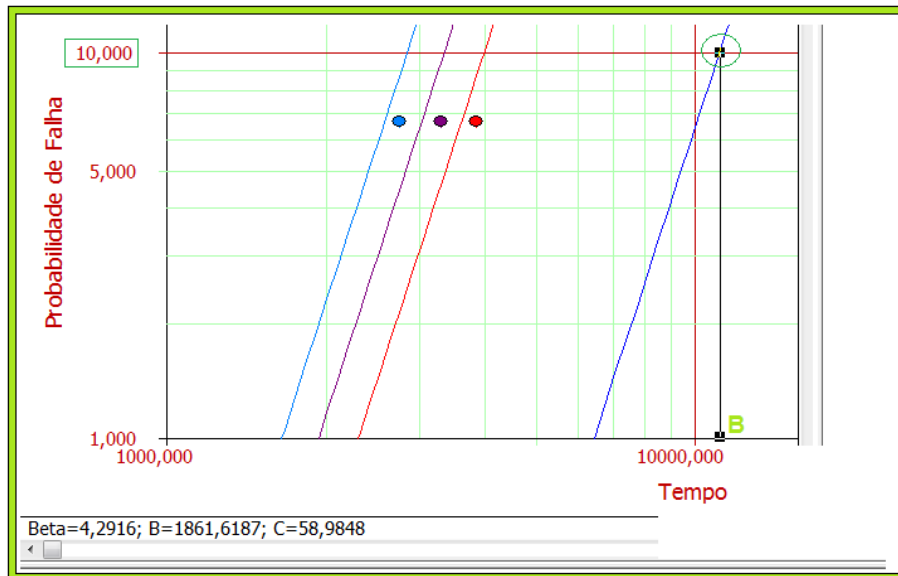


Figura 26 – Determinação do ponto B por aproximação.

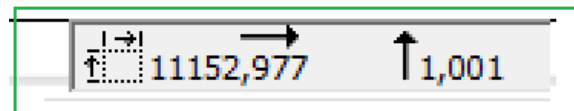


Figura 27 – Corresponde ao ponto B mencionado na figura de cima.

Por aproximação, podemos dizer que para uma fiabilidade de 90% ou para uma probabilidade de falha de 10%, se estimam cerca de 11152 horas.

Sabe-se que este produto nas condições de referência, a 323K, tem uma vida média esperada de mais de 15000 horas. Pode-se verificar através do QCP, seleccionando os parâmetros correctos, como se demonstra na figura seguinte.

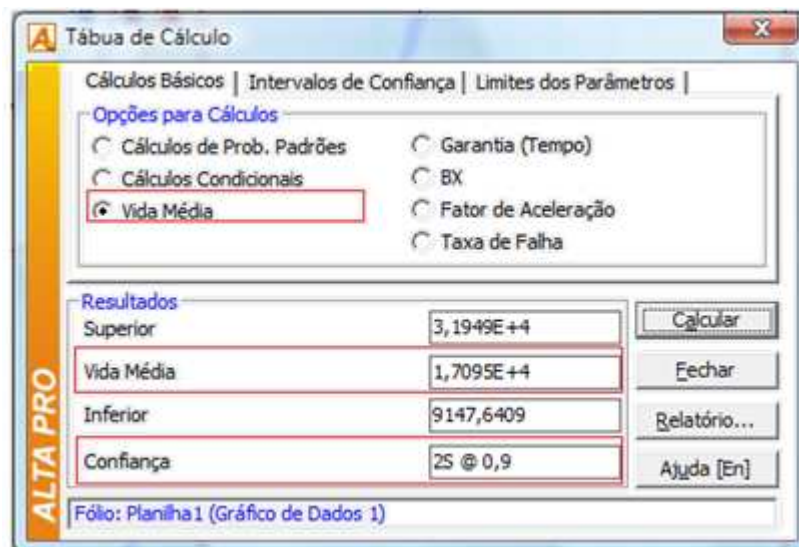


Figura 28 – A análise ao tempo médio de vida do produto.

É aprovado com sucesso. O tempo de vida útil do produto em causa supera as 17000 horas, mais de 10% do que os valores iniciais.

3.6.2 – Modelo de Eyring

O modelo de Eyring foi concebido através dos princípios da mecânica quântica e de interacções químicas. Assim, quando um processo químico (reacção química, corrosão, difusão) está a causar uma degradação tal que encaminha o bem para a falha, este modelo de Eyring consegue descrever como é que a taxa de degradação varia com o stress.

O modelo inclui a temperatura e pode ser expandido para incluir outras variáveis de stress como a humidade. A variável temperatura neste modelo é muito semelhante ao do modelo de Arrhenius, explicando a razão do sucesso do modelo e a ligação entre o parâmetro ‘ E_A ’ e a teoria quântica (conceito de Energia de Activação).

A relação do modelo de Eyring é dada por:

$$L(V) = \frac{1}{V} \cdot e^{-\left(A - \frac{B}{V}\right)}$$

Onde:

$L(V)$ – representa a vida ou duração do bem

V – representa um dado nível de stress

A – constante empírica da Lei de Eyring

B – factor de stress

A relação de Eyring é semelhante ao de Arrhenius e é dada por:

$$L(V) = \frac{1}{V} \cdot e^{-\left(A - \frac{B}{V}\right)} = \frac{e^{-A}}{V} \cdot e^{\frac{B}{V}}$$

Ou por,

$$L(V) = \frac{1}{V} \cdot e^{-A} \cdot e^{\frac{B}{V}}$$

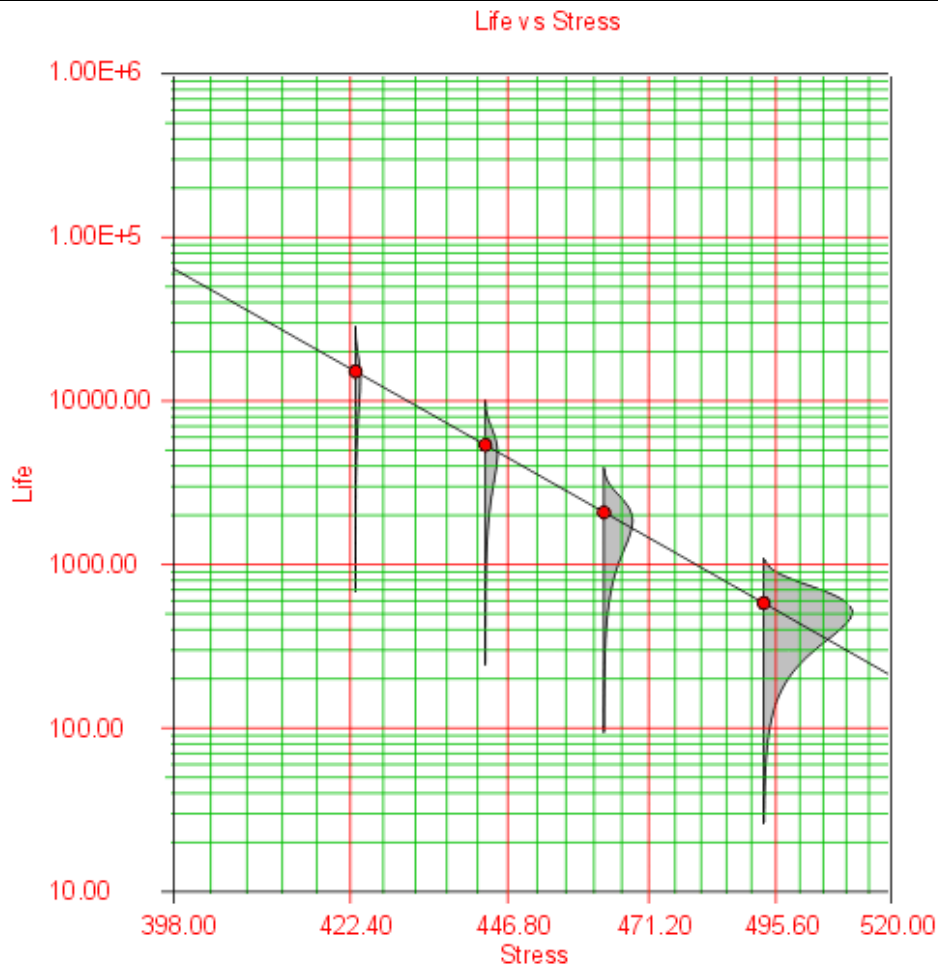


Fig. 29 – Modelo de Eyring com uma enorme dispersão de vida.

O modelo de Eyring inclui termos como factores de stress e interacções de temperatura, ou seja, o efeito de alterar a temperatura consoante os níveis de stress. A maior parte dos modelos comuns não inclui termos de interacção, o que implica que uma alteração nos factores de aceleração pode modificar os parâmetros.

Em modelos sem interacção é possível calcular factores de aceleração para cada nível de stress e para cada sistema (multiplicação de factores de stress).

Factor de Aceleração de Eyring:

$$FA = \frac{L_{USE}}{L_{Accelerated}} = \frac{\frac{1}{V_u} \cdot e^{-\left(A - \frac{B}{V_u}\right)}}{\frac{1}{V_A} \cdot e^{-\left(A - \frac{B}{V_A}\right)}} = \frac{V_A}{V_u} \cdot e^{B \cdot \left(\frac{1}{V_u} - \frac{1}{V_A}\right)}$$

Onde:

L_{USE} – O parâmetro de vida nas condições normais de utilização

$L_{Accelerated}$ – O parâmetro de vida nas condições de aceleração de vida

V_u – Nível de Temperatura em regime normal

V_A – Nível de Temperatura em regime acelerado

O Modelo Eyring apresenta inúmeras **vantagens**: Pode tratar de vários parâmetros; Pode ser utilizado para modelos de degradação, bem como para modelos de falha; O parâmetro E_A tem um significado físico e tem sido estudado e analisado por muitos mecanismos de falha conhecidos, assim como para diferentes materiais.

Este modelo apresenta alguns **inconvenientes** como:

1. Mesmo com apenas duas variáveis de stress, existem 5 parâmetros para avaliar. Cada factor de stress adicionado coloca 2 parâmetros desconhecidos, nos dados.

2. Muitos dos parâmetros, poderá apenas ter um efeito secundário. Por exemplo, o factor $\alpha = 0$, trabalha bem até ao valor de temperatura fixo pelo utilizador, para depois se comportar como se estivesse no Modelo de Arrhenius.

No Anexo 2 apresenta-se as várias distribuições utilizadas no Modelo de Eyring, que servem como base ao programa Alta 7.0 PRO.

De seguida é indicada uma actividade prática relativamente a uma das distribuições.

Relação de Eyring utilizando a Distribuição de Weibull

Exercício Prático

Uma determinada unidade de componentes electrónicos, realizou uma série de ensaios acelerados, com quatro níveis de temperatura diferentes. Este teste verificou 40 amostras, disposta por 4 níveis. Nas condições normais de funcionamento, a temperatura é de 393K. Nos ensaios utilizaram-se os seguintes: 423 K, 443 K, 463 K, 493 K. Além disso; os elementos foram censurados à direita.

Nível de Aceleração Temperatura (K)	423 K	443 K	463 K	493 K
Tempo de Falha (horas)	S	1764	408	408
	S	2772	1120	456
	S	3446	1344	504
	S	3542	1402	504
	S	3780	1440	504
	S	4680	S	S
	S	5196	S	S
	S	S	S	S
	S	S	S	S
	S	S	S	S
Nível de Aceleração Temperatura (K)	423 K	443 K	463 K	493 K
Tempo de Suspensão (horas)	6064	F	F	F
	6064	F	F	F
	6064	F	F	F
	6064	F	F	F
	6064	F	F	F
	6064	F	1680	528
	6064	F	1680	528
	6064	5448	1680	528
	6064	5448	1680	528
	6064	5448	1680	528

Tabela 06 – Tabela indicativa do tempo de falha e tempo de suspensão em horas do ensaio realizado.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

Como em qualquer exercício prático, existe o cuidado de seguir alguns pontos, tal como efectuado para a aplicação anterior.

Sendo assim, começa-se pela selecção das Relações e Distribuições, e colocação das condições iniciais de utilização. Neste exercício há que ter em conta a selecção de elementos censurados à direita, como se demonstra na imagem seguinte.



Figura 30 – Modelo e Distribuição escolhida, bem como o cuidado acrescido na selecção de elementos censurados, ao qual aparece assinalada com uma caixa vermelha.

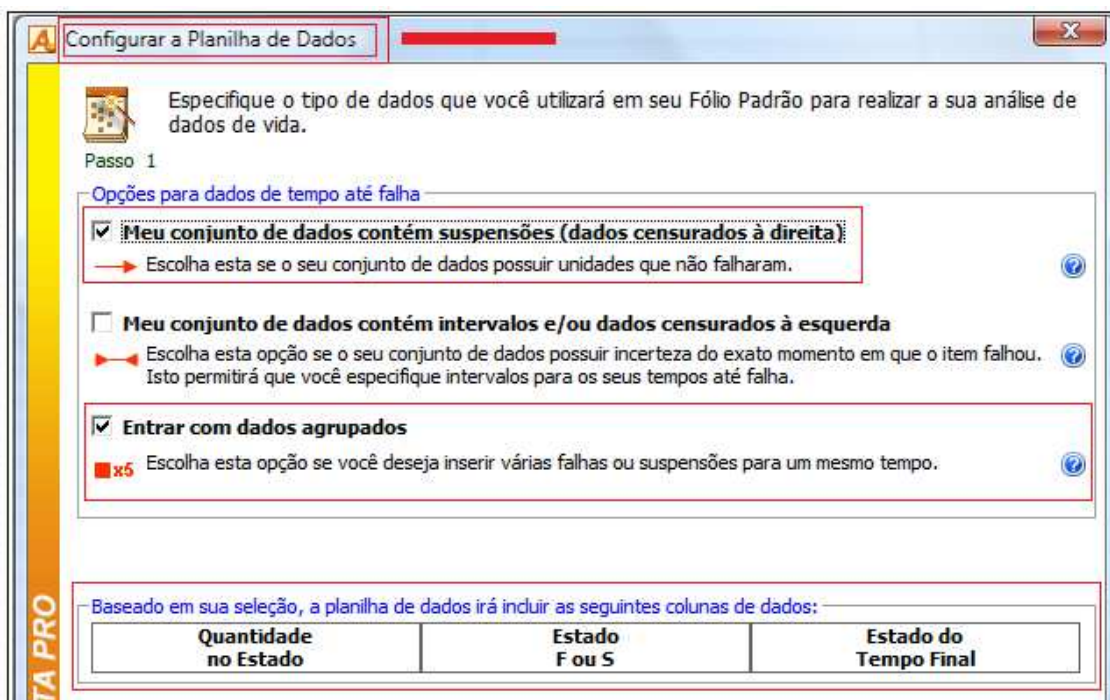


Figura 31 – Ilustração da opção seleccionada na imagem anterior. A introdução de dados agrupados serve apenas para resumir a tabela no programa que de outra forma não seria possível.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

Colocam-se as condições de utilização comuns e os valores iniciais no programa, conforme se demonstra nas figuras seguintes.



Fig. 32 – Condições normais de funcionamento.

	Quantidade no Estado	Estado F ou S	Estado do Tempo Final	Temperatura K	<input checked="" type="checkbox"/>
1	10	S	6064	423	
2	1	F	1764	443	
3	1	F	2772	443	
4	1	F	3446	443	
5	1	F	3542	443	
6	1	F	3780	443	
7	1	F	4680	443	
8	1	F	5196	443	
9	3	S	5448	443	
10	1	F	408	463	
11	1	F	1120	463	
12	1	F	1344	463	
13	1	F	1402	463	
14	1	F	1440	463	
15	5	S	1680	463	
16	1	F	408	493	
17	1	F	456	493	
18	3	F	504	493	
19	5	S	528	493	

Tabela 07 – Os dados obtidos pelo ensaio acelerado efectuado devidamente tratados no programa Alta 7.0 PRO.

Existe a possibilidade de retirar do programa inúmeros pontos importantes, como é evidenciado de seguida.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

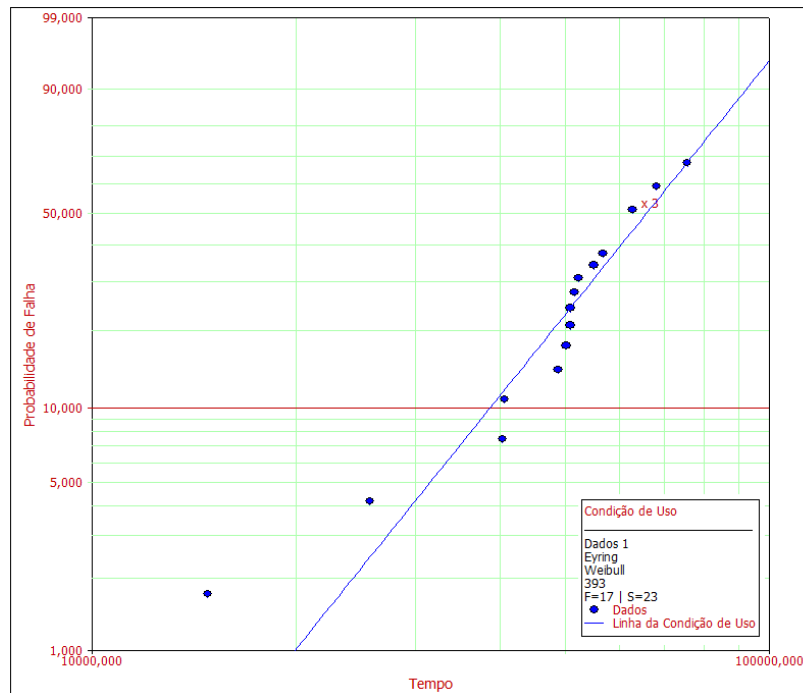


Figura 33 – O gráfico de probabilidade de Weibull.

Através da imagem anterior, pode-se retirar várias informações, pelo que é preferível utilizar uma ferramenta denominada por QCP para que os valores obtidos sejam os mais exactos possíveis.

Para níveis de confiança de 90%, afirma-se que para um nível de fiabilidade de 90% o tempo de garantia será de 38.717 horas de funcionamento.

Opções para Cálculos	
<input type="radio"/> Cálculos de Prob. Padrões	<input checked="" type="radio"/> Garantia (Tempo)
<input type="radio"/> Cálculos Condicionais	<input type="radio"/> BX
<input type="radio"/> Vida Média	<input type="radio"/> Fator de Aceleração
	<input type="radio"/> Taxa de Falha

Resultados	
Superior	6,1044E+4
Tempo	3,8717E+4
Inferior	2,4556E+4
Confiança	2S @ 0,9

Figura 34 – A tabela de cálculo - 'QCP' para uma fiabilidade de 90% e um nível de confiança de 90%.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

Se a fiabilidade pedida aumentar para os 95%, o tempo de garantia diminui para 31.593 horas, respectivamente.

Confiança Requerida	0,95
Resultados	
Superior	5,1267E+4
Tempo	3,1593E+4
Inferior	1,9469E+4
Confiança	2S @ 0,9

Figura 35 – O ‘QCP’ para uma fiabilidade de 95% e um nível de confiança de 90%.

Imaginemos que para este produto, o nível de confiança não ultrapassa os 50%. No entanto pretende-se fiabilidades acima dos 90%.

Aplicando o programa ALTA 7.0 PRO, chega-se aos seguintes resultados.

Tábua de Cálculo	
Cálculos Básicos Intervalos de Confiança Limites dos Parâmetros	
<input checked="" type="checkbox"/> Exibir Intervalo de Confiança	Nível de Confiança
<input checked="" type="radio"/> Bilateral	0,5
<input type="radio"/> Limite Superior Unilateral	
<input type="radio"/> Ambos Unilateral	
<input type="radio"/> Limite Inferior Unilateral	
Resultados	
Superior	4,6659E+4
Tempo	3,8717E+4
Inferior	3,2127E+4
Confiança	2S @ 0,5

Fig. 36 – O ‘QCP’ para uma fiabilidade de 90% mas com um nível de confiança de 50%.

O tempo de garantia manteve-se igual, apesar do intervalo de confiança ser afectado. A diferença entre um nível de confiança de 50% e um superior, resume-se ao intervalo de garantia. Este pode ser menor ou maior consoante o nível de confiança. Deste modo é normal que o intervalo que se estudou, seja mais baixo.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

Entretanto, analisando o gráfico de Fiabilidade em relação ao tempo, verifica-se que para as condições de serviço à temperatura de 393K, 23 unidades têm sucesso enquanto 17 não, isto num total de 40 amostras.

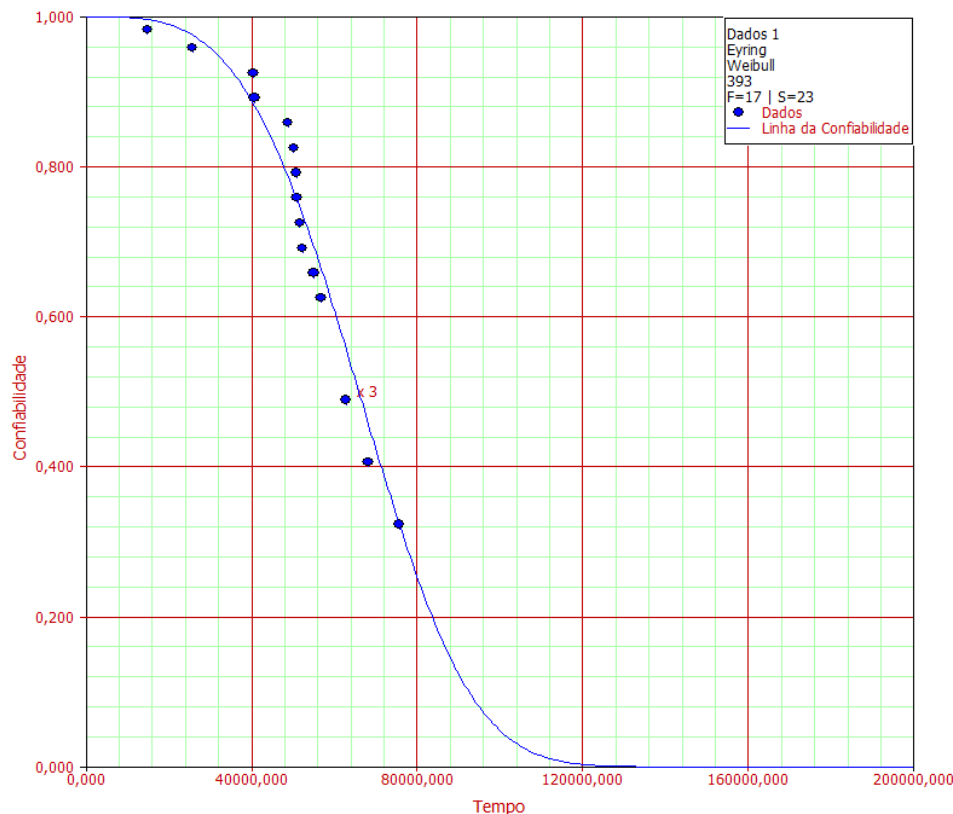


Fig. 37 – O gráfico da Fiabilidade com o Tempo nas condições normais de funcionamento.

Mais uma vez será mais acertado verificar os dados na Tabela de Cálculo, ou no ‘QCP’, em vez de retirar os valores directamente do gráfico.

3.6.2.1 Outros Modelos baseados no modelo de Eyring

Muitos modelos conhecidos são versões simplificadas do Modelo de Eyring com funções apropriadas de stress como S1 e S2. Muitos desses modelos são descritos de seguida. Além disso, de forma a compreender melhor o que segue, apresentam-se duas expressões baseadas no modelo de Eyring.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

Uma com o modelo de temperatura com uma variável de stress adicional, que assume a forma de:

$$L(V) = AT^\alpha \cdot \exp\left[\frac{E_A}{k.T} + \left(B + \frac{C}{T}\right) \cdot S_1\right]$$

Onde:

α
 E_A
B
C

Parâmetros que determinam a aceleração em condições de stress combinado.

A outra equação diz respeito à possibilidade de podermos adicionar uma variável de aceleração não térmica, ou seja,

$$L(V) = AT^\alpha \cdot \exp\left[\frac{E_A}{k.T} + \left(B + \frac{C}{T}\right) \cdot S_1 + \left(D + \frac{E}{T}\right) \cdot S_2\right]$$

“The Inverse Power Rule for Voltage”

Este modelo é utilizado para Condensadores, por exemplo. Tem como restrição o uso da variável Voltagem e toma a forma de,

$$L(V) = AV^{-\beta}$$

Relativamente à penúltima equação, os parâmetros α, E_A, C são nulos, $S = \ln(V)$ e $\beta = -B$.

“The Exponential Voltage Model”

Em alguns casos este modelo é o mais adequado do que o anterior.

$$t_f = A.e^{-B.V}$$

“Two Temperature/Voltage Models”

São modelos comuns na literatura. Têm a forma de,

$$t_f = A.e^{\frac{E_A}{k.T}}.V^{-\beta} \quad \text{ou} \quad t_f = A.e^{\frac{E_A}{k.T}}.e^{-B.V}$$

Mais uma vez são modelos simplificados do Modelo de Eyring, com uma selecção apropriada das constantes e das funções de tensão.

“The Electromigration Model”

Electromigração é um mecanismo de falha em semi-condutores que ocorre nas películas dos fios condutores devido ao movimento dos iões para o ânodo. Este movimento iónico é acelerado a altas temperaturas e a altas densidades. Este modelo de Eyring modificado toma a forma:

$$L(V) = A.J^n.e^{\frac{E_A}{k.T}}$$

O parâmetro ‘n’ normalmente é apresentado com o valor igual a 2. O simbolo ‘J’ representa a massa específica.

“Three Stress Models”

A humidade é uma variável importante em muitos mecanismos de falha. A sua forma é dada por:

$$L(V) = A.e^{\frac{E_A}{k.T}}.V^{-\beta}.(RH)^{-\gamma}$$

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

Este modelo de 3 variáveis tem 4 parâmetros desconhecidos e seria necessário obter ‘n’ amostras para que este modelo fosse aceite.

The Coffin-Manson Mechanical crack-Growth Model”

Modelos para falha mecânica, fadiga de material ou deformação do material não são modelos de Eyring. Estes modelos estão relacionados com os ciclos de stress ou de frequência de utilização nas temperaturas.

Este modelo toma a forma de:

$$N_f = A.f^{-\alpha}.\Delta T^{-\beta}.G(T_{\max})$$

Onde:

N_f – Número de ciclos até ocorrer a falha.

f – Frequência

ΔT - Intervalo de Temperatura

Os parâmetros ‘ α ’ e ‘ β ’ tem valores aproximados a -1/3 e a 2.

A Energia de Activação’ E_A ’, para o parâmetro $G(T_{\max})$ equivale a 1.25.

3.6.3 – Modelo de Potência Inversa

É um modelo muito comum para regimes de stress acelerados não-térmicos. É dado por,

$$L(V) = \frac{1}{K.V^n}$$

$L(V)$ – representa a vida ou duração do bem

V – representa o nível de stress

n – parâmetro que é estabelecido pelo efeito que o nível de stress tem na vida do bem

K – parâmetro a determinar

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

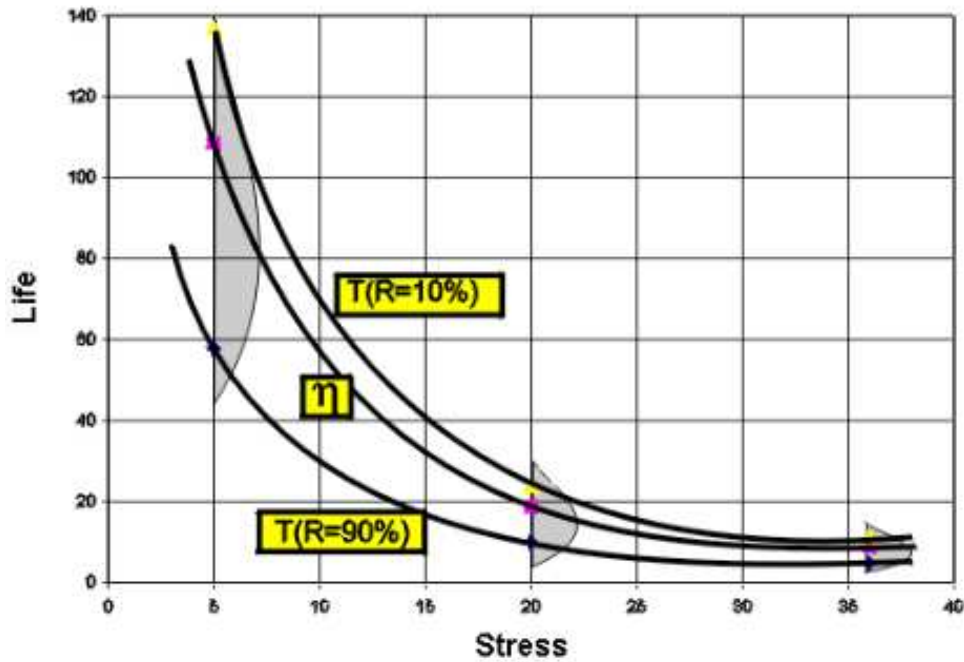


Fig. 38 – A distribuição da potência inversa numa escala linear com diferentes características de vida e com uma distribuição de Weibull.

A expressão deste modelo também pode ser dada por:

$$\ln(L) = -\ln(K) - n \cdot \ln(V)$$

Por vezes o método gráfico também é utilizado por fornecer uma boa estimativa dos parâmetros que se procuram.

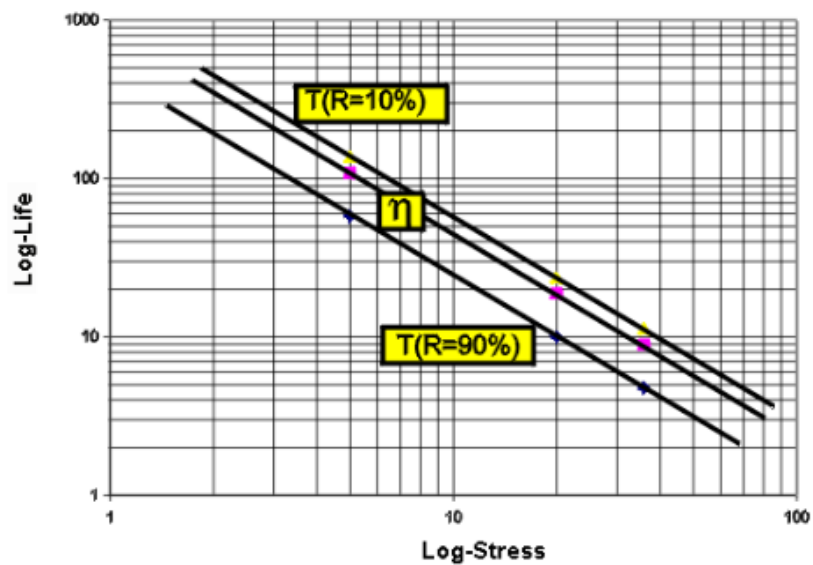


Fig. 39 – O método gráfico para a relação da potência inversa (escala logarítmica).

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

O parâmetro ‘n’, pode ser determinado recorrendo ao gráfico seguinte.

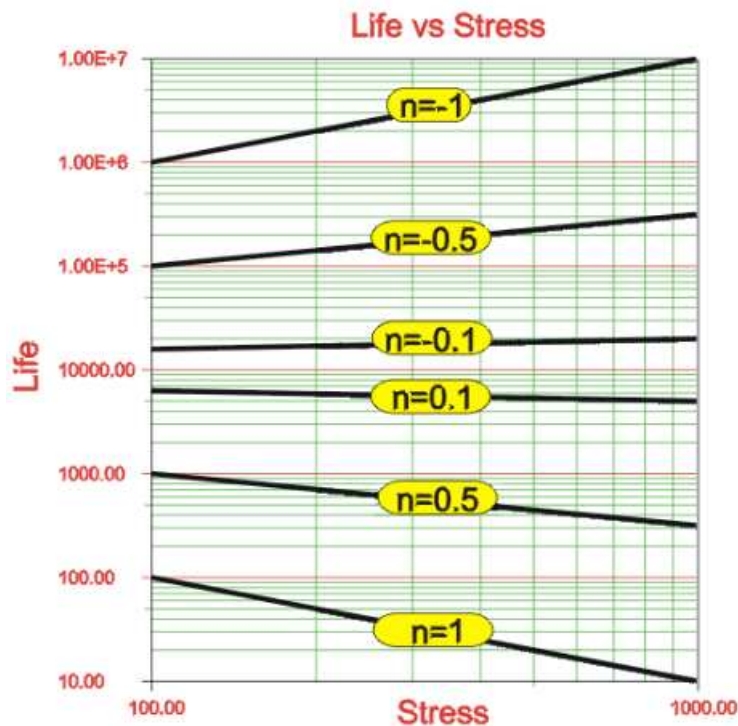


Fig. 40 - A Vida Útil com o nível de stress para diferentes valores de ‘n’.

O Factor de Aceleração da Potência Inversa é dado por:

$$FA = \frac{L_{USE}}{L_{Accelerated}} = \frac{\frac{1}{K.V_u^n}}{\frac{1}{K.V_A^n}} = \left(\frac{V_A}{V_u}\right)^n$$

Onde:

L_{USE} – O parâmetro de vida as condições normais de utilização

$L_{Accelerated}$ – O parâmetro de vida nas condições de aceleração de vida

V_u – Nível de Temperatura em regime normal

V_A – Nível de Temperatura em regime acelerado

No Anexo 3 disponibilizam-se várias distribuições utilizadas no Modelo de Potência Inversa, e que servem como base ao programa Alta 7.0 PRO.

De forma a entender o modelo de Potência Inversa, recorre-se a um exercício prático.

Relação de Potência Inversa utilizando a Distribuição de Lognormal

Exercício Prático

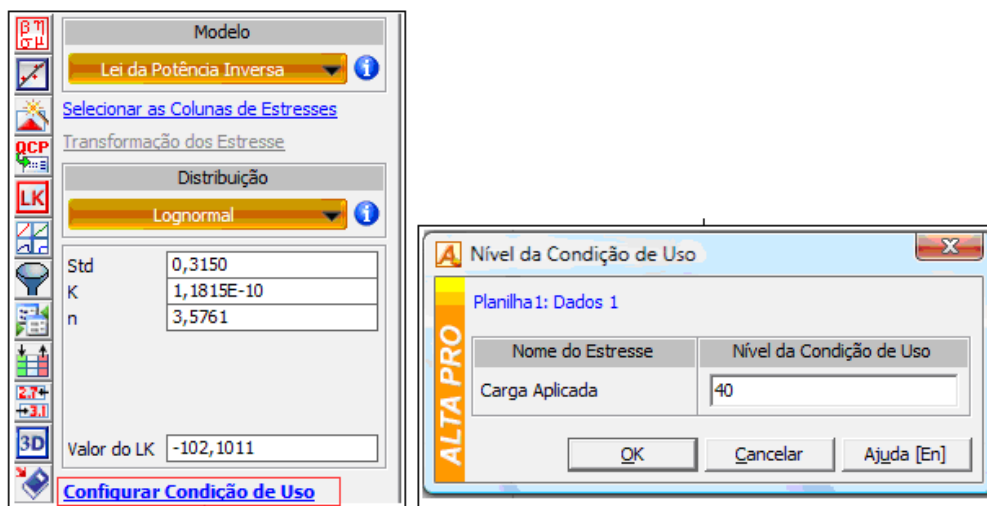
Um componente de um trem de aterragem do Airbus A320 necessita de ser submetido a um ensaio acelerado de forma a estimar o tempo de vida útil do componente para uma carga aplicada de 40 KN. Foram ensaiadas 15 unidades com três diferentes cargas de impacto, 73 KN, 98 KN e 123 KN.

O componente foi projectado para suportar os tais 40KN, mantendo uma fiabilidade de 90% para 10.000 aterragens. As aterragens executadas foram todas simuladas em laboratório.

	Número de Amostras	Falhas (em aterragens)	Carga Aplicada KN	<input checked="" type="checkbox"/>
1	1	1176	73	
2	3	1512	73	
3	1	3528	73	
4	3	624	98	
5	1	816	98	
6	1	1296	98	
7	1	204	123	
8	1	228	123	
9	1	252	123	
10	1	300	123	
11	1	324	123	

Tabela 08 – Imagem representativa dos dados obtidos pelo ensaio e sua colocação no programa ALTA 7.0 PRO.

Existiu o cuidado de introduzir o modelo e distribuição adequados, bem como as condições iniciais, como se pode verificar na figura abaixo.



METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

Figura 41 – As relações adequadas para o ensaio e as condições normais de funcionamento introduzidas no programa.

The screenshot shows the 'Cálculos Básicos' tab in the LTA PRO software. The 'Opções para Cálculos' section has 'Garantia (Tempo)' selected. The 'Opções de Resultados' section has 'Resultados de Confiabilidade' selected. The 'Entrada Requerida pelo Usuário' section shows 'Carga Aplicada' as 40 and 'Confiabilidade Requerida' as 0,9. The 'Resultados' table shows the following values:

Resultado	Valor
Superior	1,8766E+4
Tempo	1,0545E+4
Inferior	5925,2182
Confiança	2S @ 0,9

Figura 42 – O ‘QCP’ para uma fiabilidade de 90%.

Como se pode constatar na imagem anterior, para um nível de confiança de 90%, e para uma fiabilidade de 90%, o tempo de vida útil deste componente em estudo é de 10545 aterragens, superior às 10 mil iniciais.

The screenshot shows the 'Cálculos Básicos' tab in the LTA PRO software. The 'Opções para Cálculos' section has 'Vida Média' selected. The 'Opções de Resultados' section has 'Resultados de Confiabilidade' selected. The 'Entrada Requerida pelo Usuário' section shows 'Carga Aplicada' as 40. The 'Resultados' table shows the following values:

Resultado	Valor
Superior	2,9156E+4
Vida Média	1,6594E+4
Inferior	9442,5914
Confiança	2S @ 0,9

Figura 43 – A vida média calculada.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

Para uma carga aplicada de 40KN, o tempo de vida média é de 16.594 aterragens, com um nível de confiança de 90%, ou seja, 50% dos componentes têm uma periodo de vida até 16.594 aterragens. Caso o nível de confiança sofra alterações, os extremos superior e inferior sofrem alteração, como seria de esperar.

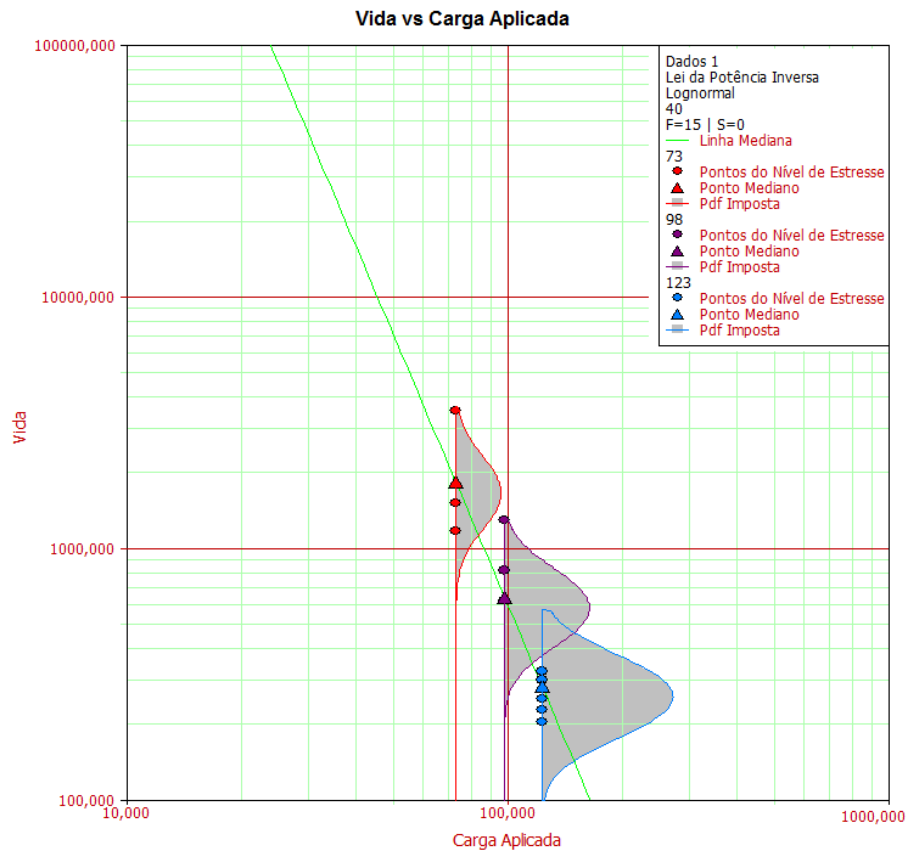


Figura 44 – O gráfico do Tempo de vida em função da variável de aceleração, a Carga Aplicada.

Com a imagem acima representada é possível analisar para outras cargas aplicadas qual será o tempo médio de vida esperado, reduzindo assim o tempo de consulta, que pode ser aplicado noutras áreas.

Imagine-se agora que com 6000 aterragens executadas a 40KN, o trem de aterragem estará sujeito a mais 1000 aterragens, mas agora com uma carga de impacto de 100KN. Qual será a probabilidade de falha do componente para um nível de confiança de apenas 50%?



Figura 45 – A probabilidade de falha para as novas condições.

Verifica-se que a probabilidade de falha é muito elevada para uma carga de 100KN e para um tempo adicional de 1000 horas. Uma das soluções para aumentar a fiabilidade será utilizar um componente ‘virgem’, com o tempo inicial de missão a zero, ou a utilização de outros materiais no desenvolvimento do componente.

3.6.4 – Modelo de Temperatura - Humidade

O modelo de “Temperature-Humidity” ou Temperatura-Humidade é baseado no Modelo de Eyring. Este modelo foi criado para estimar a vida útil às condições normais de utilização quando a temperatura e humidade são as variáveis de aceleração do ensaio. Sendo assim temos:

$$L(V, U) = A.e^{\left(\frac{\phi + b}{V + U}\right)}$$

Onde:

A – Constante empírica da Lei da Temperatura – Humidade

U – Humidade Relativa (em valor decimal ou em percentagem)

V – Temperatura (em Kelvin)

b – Conhecido como a Energia de Activação para a Humidade

ϕ – Parâmetro da Lei da Temperatura – Humidade a determinar

Este modelo pode ser linear e representado de uma forma linear. Para isso, a relação assume uma outra forma como:

$$\ln[L(V, U)] = \ln(A) + \frac{\phi}{V} + \frac{b}{U}$$

Neste modelo, os gráficos só podem ser obtidos mantendo uma das variáveis constantes e alterando a outra, como podemos verificar nos gráficos que se seguem.

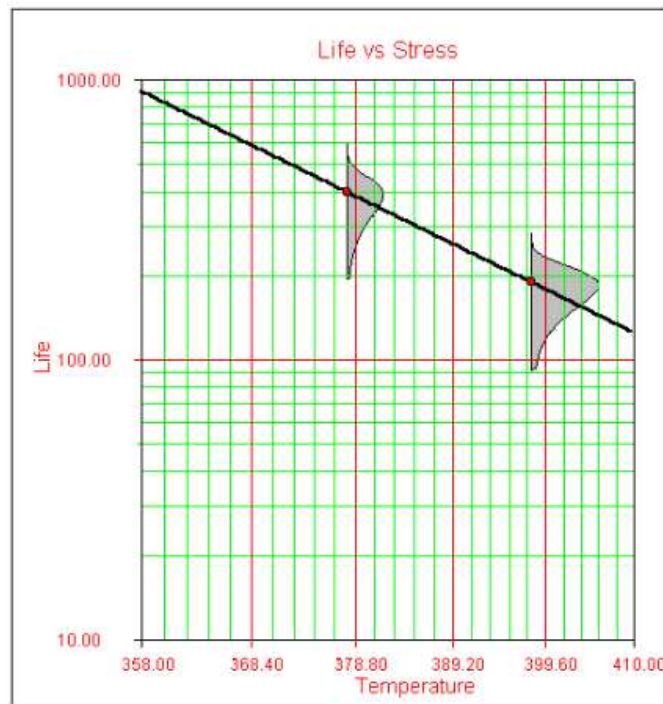


Fig. 46 – Gráfico de vida em função da Temperatura, mantendo a Humidade relativa constante.



Fig. 47 – Gráfico de vida em função da Humidade Relativa, fixando a Temperatura.

O factor de aceleração deste modelo é dado por.:

$$FA = \frac{L_{USE}}{L_{Accelerated}} = \frac{A.e^{\left(\frac{\phi}{V_u} + \frac{b}{U_u}\right)}}{A.e^{\left(\frac{\phi}{V_A} + \frac{b}{U_A}\right)}} \Leftrightarrow FA = e^{\phi \cdot \left(\frac{1}{V_u} - \frac{1}{V_A}\right)} \cdot e^{b \cdot \left(\frac{1}{U_u} - \frac{1}{U_A}\right)}$$

Onde:

L_{USE} – Parâmetro de vida as condições normais de utilização

$L_{Accelerated}$ – Parâmetro de vida nas condições de aceleração de vida

V_u – Nível de Temperatura em regime normal

V_A – Nível de Temperatura em regime acelerado

U_u – Nível de parâmetro não térmico em regime normal

U_A – Nível de parâmetro não térmico em regime acelerado

Pode-se verificar nos dois gráficos de baixo, em que num o factor de aceleração é fixo, enquanto no outro mantém-se a variável constante.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

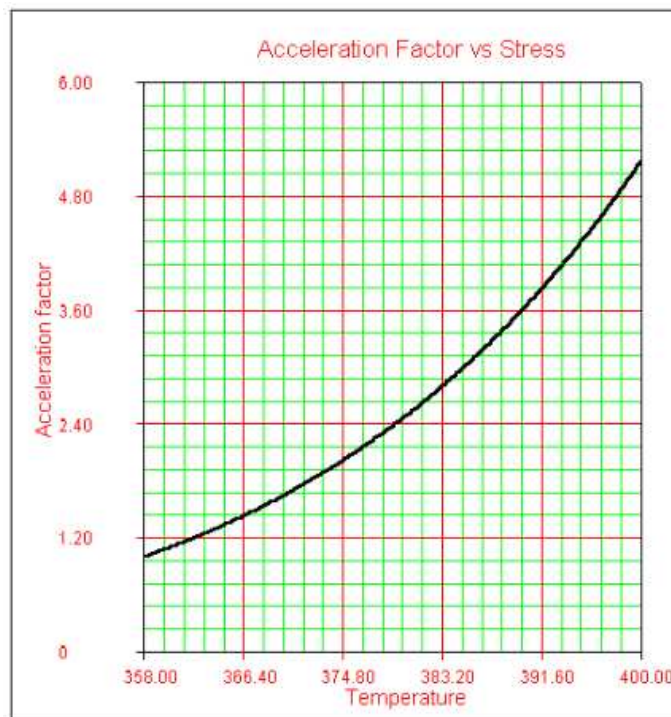


Fig. 48 – O Factor de Aceleração em função da Temperatura, fixando a Humidade Relativa.

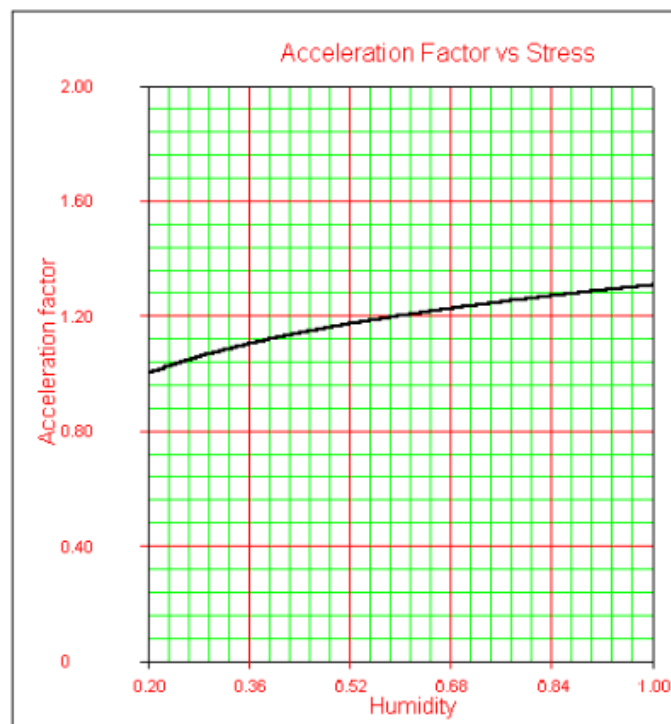


Fig. 49 – O Factor de Aceleração em função da Humidade Relativa, mantendo constante a Temperatura.

No Anexo 4 exibem-se várias distribuições utilizadas no Modelo de Temperatura-Humidade.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

De seguida é mostrado um exercício prático relativamente a uma das distribuições.

Relação Temperatura e Humidade utilizando a Distribuição de Weibull

Exercício Prático

Pretende-se estimar a vida útil de um dado componente electrónico de alta precisão para uma fiabilidade de 95%. Este componente nas suas condições normais de funcionamento, trabalha a uma temperatura de 318K e a uma humidade relativa de 60%. Foram testadas 20 amostras, com 4 diferentes níveis de aceleração, 280K, 343K e respectivamente 100% e 30% Humidade Relativa como demonstra a figura seguinte. Além disso, exige-se ao componente a uma temperatura de 318K um tempo de vida de 336h (corresponde a 2 semanas de uso contínuo).

	Tempo da Falha	Temperatura K <input checked="" type="checkbox"/>	Humidade Relativa % <input checked="" type="checkbox"/>
1	194	280	30
2	203	280	30
3	210	280	30
4	222	280	30
5	274	280	30
6	315	280	100
7	364	280	100
8	398	280	100
9	402	280	100
10	437	280	100
11	82	343	30
12	101	343	30
13	134	343	30
14	145	343	30
15	187	343	30
16	620	343	100
17	632	343	100
18	658	343	100
19	704	343	100
20	822	343	100

Tabela 09 – Os dados obtidos no ensaio acelerado.

Neste caso existem duas variáveis de aceleração, pelo que é necessário algum cuidado. Começa-se por introduzir os modelos seleccionados e as condições de utilização no seu estado normal.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

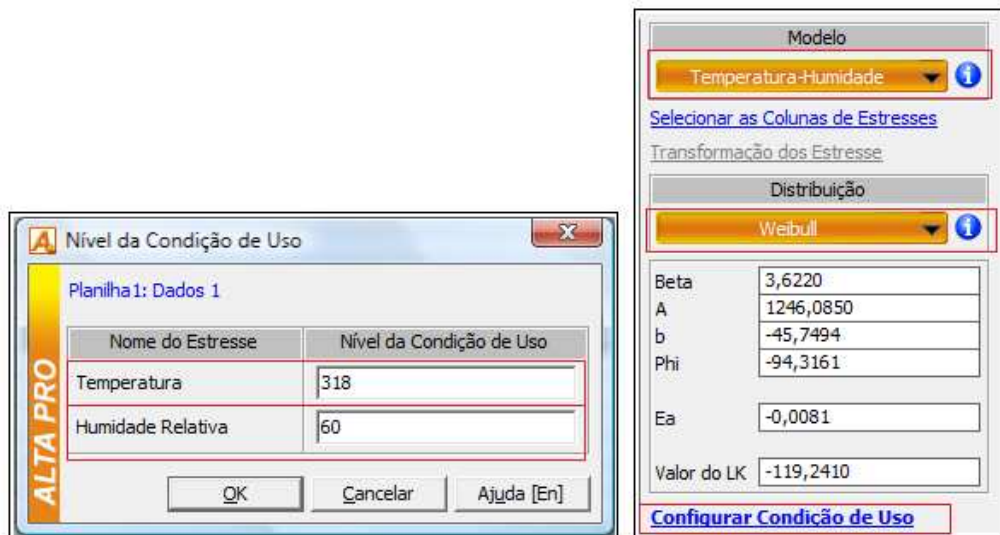


Figura 50 – Condições iniciais e o modelo e distribuição escolhidos.

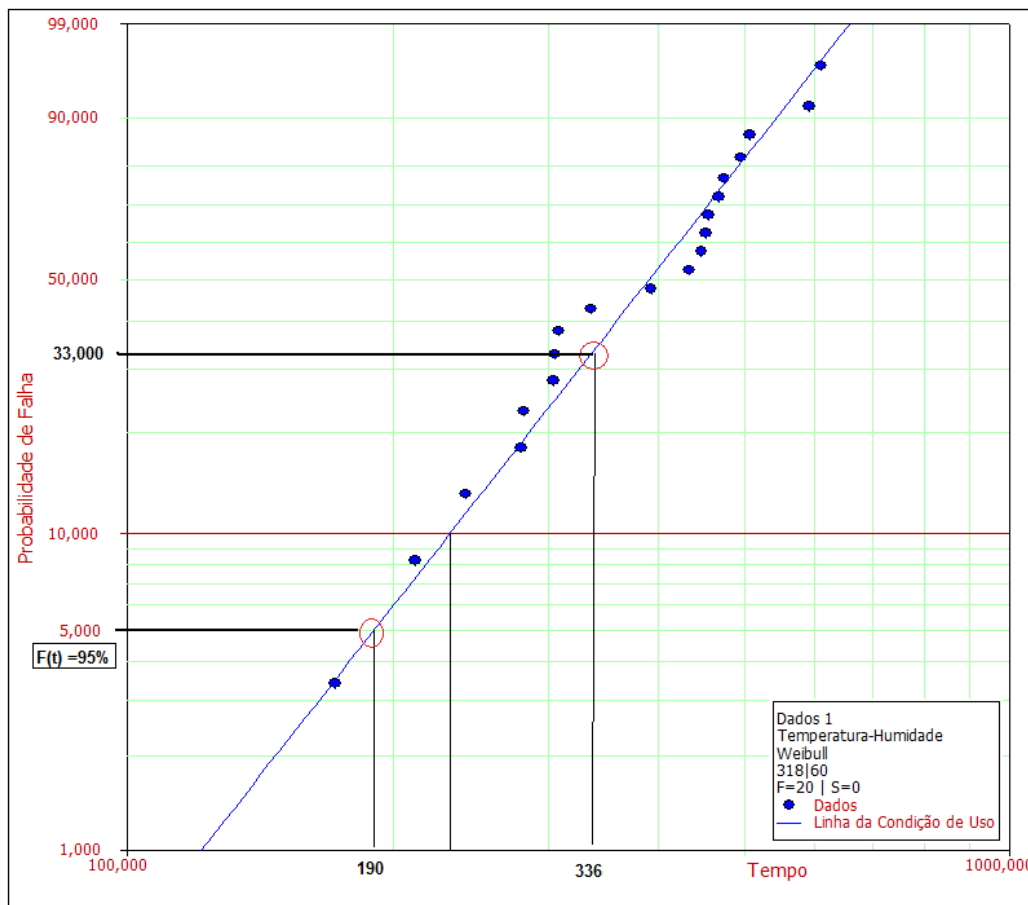


Figura 51 – A probabilidade de Weibull.

Verifica-se numa primeira fase que para uma probabilidade de falha de 5% nas condições iniciais, o tempo esperado não vai além das 190h quando se impõe um tempo de vida útil de 336h. Neste caso, a probabilidade de falha aumenta para cerca de 33%,

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

ou dito por outro modo, a fiabilidade decresce para 67%, um valor muito abaixo do exigido.

Qual é a solução para manter a fiabilidade nos 95%?

A solução passa por diversas alternativas, que se podem combinar, tais como as que se passa a descrever:

1. Alterar os materiais utilizados no componente electrónico.
2. Isolar o componente electrónico num ambiente controlado para que nas condições extremas o tempo esperado seja superior e desta forma a vida útil do componente nas condições normais de utilização aumente.
3. Alterar a geometria do componente de forma a melhorar a ventilação do mesmo em Altas e Baixas Temperaturas

Procedeu-se então ao isolamento do componente electrónico, utilizando para isso uma caixa 'blindada'. Os novos resultados estão descritos na tabela seguinte.

	Tempo da Falha	Temperatura K <input checked="" type="checkbox"/>	Humidade Relativa % <input checked="" type="checkbox"/>
1	586	280	45
2	600	280	45
3	643	280	45
4	672	280	45
5	688	280	45
6	699	280	60
7	864	280	60
8	879	280	60
9	913	280	60
10	926	280	60
11	699	343	45
12	722	343	45
13	756	343	45
14	759	343	45
15	803	343	45
16	728	343	60
17	758	343	60
18	807	343	60
19	843	343	60
20	869	343	60

Tabela 10 – Os dados obtidos no novo ensaio acelerado.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

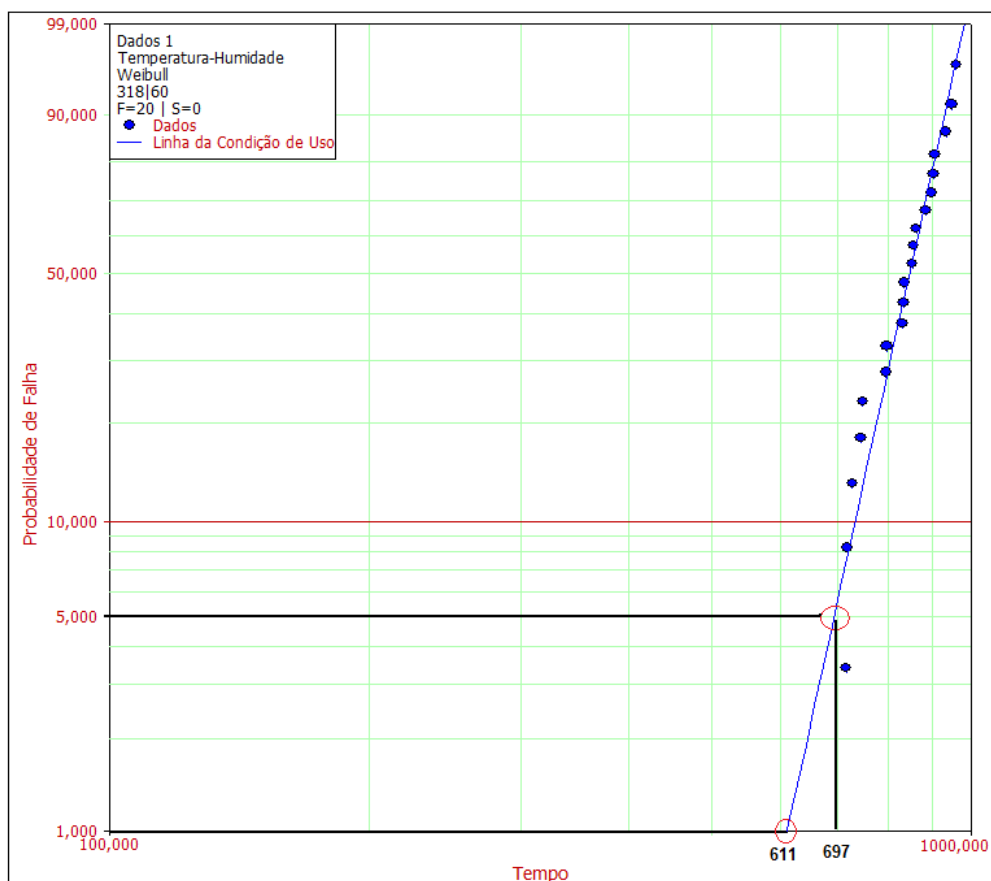


Fig. 52 – A nova probabilidade de Weibull.

Como se pode verificar, para uma fiabilidade de 95% o tempo de vida esperado é de 697h, e para uma fiabilidade de 99% o tempo de vida decresce para 611h. Mesmo assim muito superior às 336h exigidas.

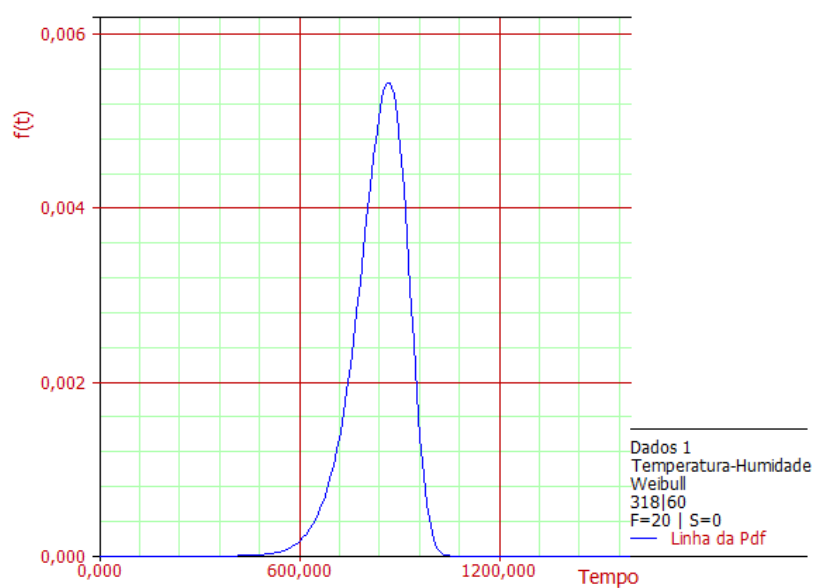


Fig. 53 – A função de densidade de probabilidade para o novo ensaio acelerado.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

Analisando a função densidade de probabilidade verifica-se que a fiabilidade é muito elevada, muito superior à requerida e por isso o nível de confiança também poderá ser elevado.

Mesmo para uma fiabilidade de 99% e para um mesmo nível de confiança, pode-se verificar pelo QCP que no período temporal analisado é superior às 336h.

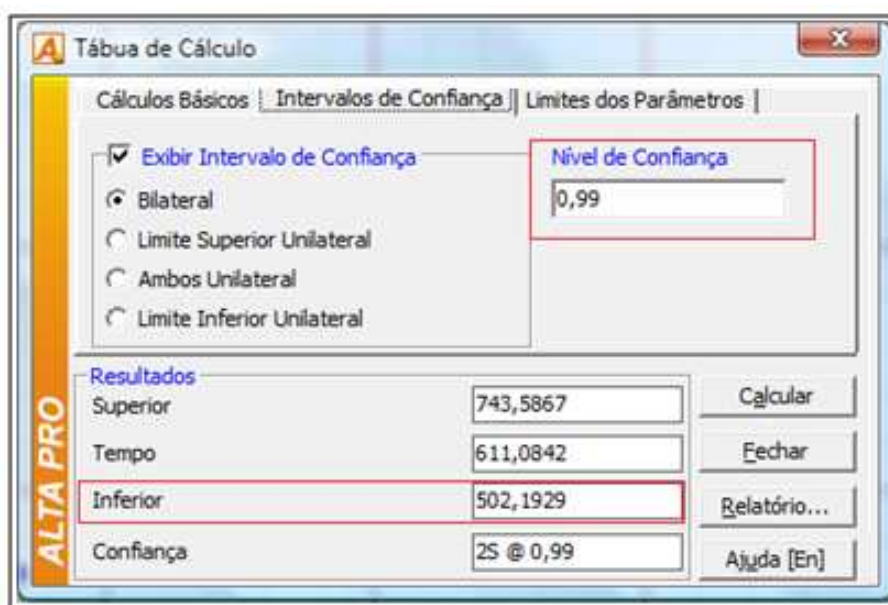


Figura 54 – Representa uma nova alteração realizada no intervalo de confiança para uma fiabilidade de 99%.

Provavelmente a nova alteração poderá não ser a mais acertada, porque ainda falta avaliar um outro factor, o custo real do componente, que sem outros dados é impossível determinar.

Tratando-se de uma aplicação no qual se estuda o comportamento de duas variáveis de aceleração, torna-se necessário estimar a sua curva a três dimensões e desta forma prever o seu comportamento, como se demonstra na imagem seguinte.

Probabilidade de Falha vs Superfície de Aceleração

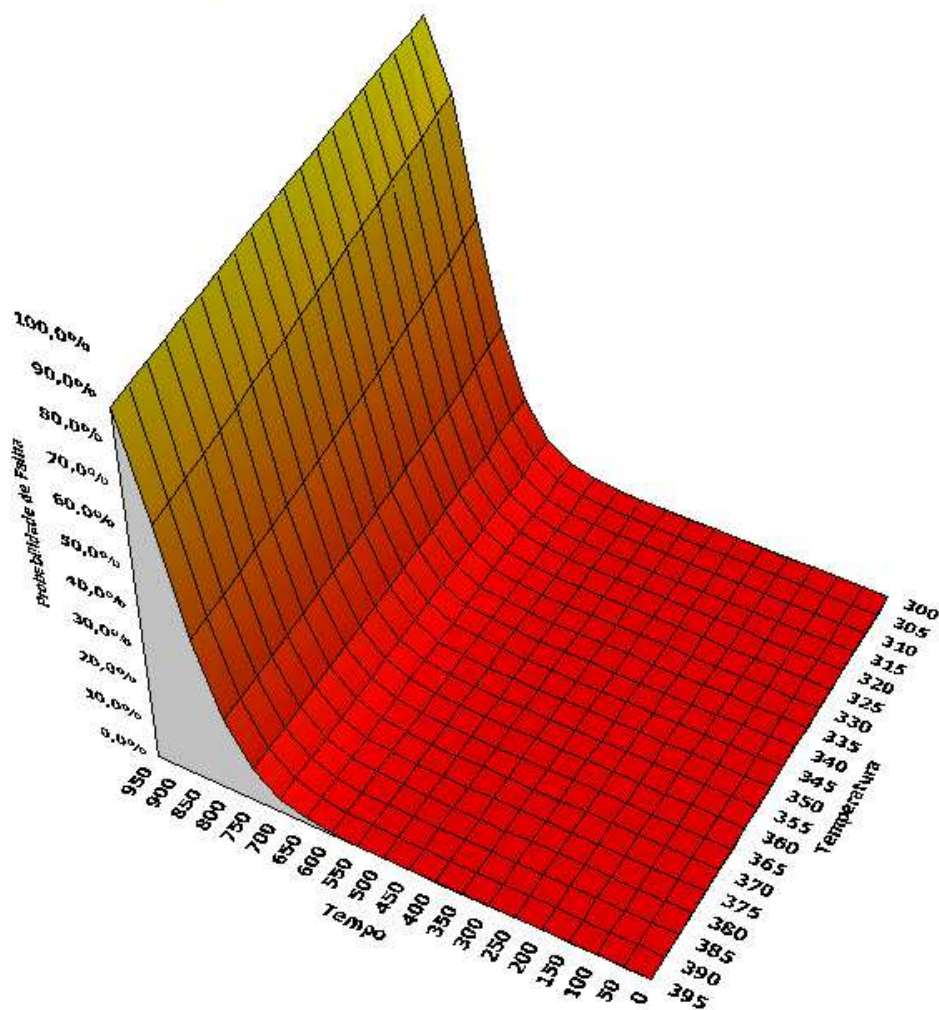


Figura 55 – A probabilidade de Falha pela Superfície de Aceleração.

CAPÍTULO 4 – APLICAÇÃO PRÁTICA

4.1 – Enquadramento da Aplicação

1. *“Obama quer agir depressa no combate às alterações climáticas”*, Dinis, (Nadia Filipa; 2009).

Obama propõe adoptar medidas que visam a redução de consumo de energia eléctrica. Uma delas passa pela introdução de lâmpadas mais eficientes, denominadas por lâmpadas de baixo consumo em todos os sectores. O Presidente dos Estados Unidos da América disse que é necessário começar a adoptar pequenas medidas como é o caso das lâmpadas economizadoras. Referiu que o consumo de energia em iluminação representa cerca de sete por cento do total da energia consumida pelos Estados Unidos. Concluiu ao dizer que ente 2012 e 2042, estas pequenas alterações resultarão em poupanças significativas em termos económicos e consequentemente em termos ambientais.

2. *“Pequim disponibiliza 10 milhões de lâmpadas económicas a preço baixo”*, (Agência de Notícias de Portugal, 2009)

A Comissão Municipal para o Desenvolvimento e Reforma em Pequim começou por disponibilizar lâmpadas de baixo consumo a baixo preço em 2005 e continuou com políticas de baixo preço nos anos seguintes. Cada lâmpada economizadora na altura custava um yuan (1yuan = 0,1023 euros) e este valor foi mantido nos anos seguintes.

O preço da lâmpada representa para o consumidor 10% do custo real do produto, sendo os restantes 90% sustentados pelo governo de forma a aumentar significativamente o consumo deste tipo de lâmpada ao invés das tradicionais lâmpadas incandescentes. Com este tipo de apoio em 2008 foram vendidas cerca de 3,7milhões de lâmpadas na China, o que representa qualquer coisa como 2,5% num universo de 150 milhões de lâmpadas.

3. **“Bairros de Sines recebem lâmpadas economizadoras” e “EDP distribui cerca de 50000 lâmpadas nos Bairros Sociais do Distrito de Setúbal”**, (Agência de Notícias de Portugal, 2009)

A EDP juntamente com as Câmaras Municipais, realizaram uma acção nos Bairros Sociais e Históricos de todo o País (Portugal Continental) no ‘combate’ aos excessos energéticos na área de iluminação. Distribuíram gratuitamente lâmpadas de baixo consumo nesses bairros (cerca de 450 mil lâmpadas), de forma a sensibilizarem as pessoas a diminuírem o seu consumo energético anual.

Para se ter uma ideia, a troca de 50000 lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes de baixo consumo, representa cerca de 60 mil toneladas de CO₂ a menos para a atmosfera e permite às famílias pouparem cerca de 18 milhões de euros em 6 anos, o que representa o tempo de vida útil das ditas lâmpadas.

As lâmpadas eficientes serão distribuídas a cada família, sendo que cada agregado familiar receberá no mínimo 4 lâmpadas a um máximo de 6 dependendo da sua dimensão. Além disso receberão alguns conselhos de eficiência energética. Esta é mais uma medida da EDP, através do Programa ECO (inserida no Plano de Promoção de Eficiência no Consumo (PPEC)) que tem como principal objectivo, promover a eficiência energética.

Digamos que de ‘pequenino é que se torçe o pepino’. É de louvar este tipo de iniciativas por parte das empresas e autarquias, mas mais interessante seria sensibilizar os mais pequenos para a eficiência energética, para que possam transmitir e ajudar a alterar os comportamentos dos seus familiares, como aconteceu com o Tabaco, através de acções de sensibilização nas escolas do 1º e 2º Ciclo de forma a alertar os mais pequenos para o perigo do tabaco na saúde.

4. **Canazio, Alexandre; “Labelo/PUCRS: Lâmpadas na vanguarda da eficiência energética”**, (Electrobrás, 2009)

O mercado de lâmpadas incandescentes no Brasil situa-se nos 300 milhões de unidades, segundo um estudo efectuado pela Associação Brasileira da Indústria de Iluminação (Abilux). Esse mercado apresenta-se neste momento em queda, com a adopção das lâmpadas fluorescentes compactas que reduzem em cerca de 80% de energia consumida. Só no ano 2008 houve um crescimento de 25% em relação ao ano

anterior. Além disso prevê-se que o aumento por este tipo de lâmpadas continue a crescer.

As lâmpadas economizadoras têm um custo inicial muito elevado face às lâmpadas incandescentes, o que leva boa parte dos fabricantes a deslocarem-se para países como a China a fim de reduzirem os custos. Além do valor real do produto, é importante que a qualidade aumente, ou seja, é necessário adoptar medidas que verifiquem a qualidade dos produtos através de ensaios, ensaios esses realizados em laboratórios especializados. No Brasil existem dois laboratórios credenciados para o efeito, o *Labelo/PUCRS* (Laboratórios Especializados em Electrotecânica, Calibração e Ensaios da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul) e a *Electrobrás* (Laboratórios para a área de eficiência energética).

Em entrevista ao Portal Procel Info, *Theisen* disse que o mercado de iluminação “vive um momento delicado”, ou seja, a qualidade dos produtos apresenta problemas de variabilidade.

Segundo *Theisen*, vice-presidente da *Labelo*, é necessário assegurar a qualidade a todos os produtos. *Theisen* disse ainda que quando se pensa há escala global e não a uma simples habitação, verifica-se o enorme impacto que a troca de lâmpadas terá. Por isso é importante que essas mesmas lâmpadas estejam certificadas de modo a oferecer garantias aos consumidores. *Theisen* finalizou a entrevista, dizendo que nos dias de hoje, o selo da Procel já é um factor de decisão no momento da compra.

4.2 – Introdução Teórica ao componente estudado

4.2.1 – Considerações Iniciais

Existe a necessidade de determinar a fiabilidade de uma unidade de componentes electrónicos. Sabe-se que para as condições normais de utilização, os componentes electrónicos, que neste caso são lâmpadas fluorescentes compactas, têm uma duração de vinte mil manobras. Pretende-se estimar a fiabilidade das lâmpadas realizando um ensaio acelerado com um determinado nível de aceleração. Para a execução dos ensaios promoveu-se um aumento do número de manobras, fazendo arranques de 10 em 10 minutos e de 15 em 15 minutos, o que prefaz 72 arranques por dia para o primeiro caso e 48 no segundo. Para este ensaio utilizaram-se 8 amostras, sendo aplicadas quatro lâmpadas por circuito.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

Existem dois tipos de lâmpadas, a lâmpada incandescente e a lâmpada fluorescente. A lâmpada é um dispositivo eléctrico que transforma uma forma de energia em outra forma de energia, ou seja, transforma a energia eléctrica em energia luminosa e calorífica.

Thomas Edison em 1879 concebeu a primeira lâmpada incandescente. Era constituída por uma haste muito fina de carvão que quando aquecida até a um valor próximo do seu ponto de fusão, emitia luz. Essa mesma haste era inserida numa ampola de vidro em vácuo. Na altura *Thomas Edison* enfrentava um enorme problema. A haste de carvão tinha pouca durabilidade o que o levou a realizar várias experiências com outro tipo de materiais, nomeadamente ligas metálicas. De todos os materiais testados, acabou por ser a haste de bambu carbonizado a oferecer uma durabilidade e rendimentos superiores. Acabou por ser substituída por um filamento de celulose e mais tarde, até aos dias de hoje por filamento de tungsténio. Hoje em dia a durabilidade destas lâmpadas chegam às 1000 horas com uma temperatura de operação na ordem dos 3000°C.

Actualmente o rendimento da lâmpada incandescente é elevado quando comparado com as de filamentos de celulose, mas quando comparado com as lâmpadas fluorescentes, apresenta um rendimento muito baixo. Da energia eléctrica que consome, 95% é transformada em energia térmica, enquanto os restantes 5% em energia de iluminação.

As lâmpadas fluorescentes surgiram em 1938 por intermédio de *Nikola Tesla*. Estas lâmpadas têm um funcionamento muito similar aos tubos de descarga de gás néon, apesar de não possuírem arrancador (não é mais do que um relé térmico bi-estável. Este dispositivo só funciona no início do arranque da lâmpada) e balastro (é uma bobina que gerar a tensão necessária no arranque, de forma a controlar a corrente consumida pela lâmpada). Estas lâmpadas possuem um par de electrodos em cada extremidade. O tubo de vidro é coberto com uma película de um material com base de fósforo e quando é excitado por radiação ultravioleta, dá-se uma ionização dos gases que acaba por produzir e emitir energia electromagnética em forma de luz.

Em termos de durabilidade, as lâmpadas fluorescente conforme os fabricantes, têm uma durabilidade de 8000 a 15000 horas e um rendimento muito superior ao das lâmpadas incandescentes.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

Felizmente um pouco por todo o Mundo, têm existido uma consciencialização para apostar nas lâmpadas fluorescentes ao invés das lâmpadas incandescentes.

Aliás basta dizer que a União Europeia pretende abolir as lâmpadas incandescentes a partir de 2012.

As lâmpadas de baixo consumo não são mais que lâmpadas fluorescentes adaptadas para o uso doméstico, ou seja, adaptadas por exemplo aos casquilhos existentes no mercado como E14 (casquilho fino) e E27 (casquilho grosso). Estas lâmpadas, como o próprio nome indica têm consumos baixíssimos quando comparado com as lâmpadas incandescentes como se pode verificar na tabela abaixo-

Lâmp. Incandescentes (em Watts)		Lâmp. Fluorescentes (em Watts)	Luminância (em lm)
25	→	5	250
40	→	7	400
60	→	9	600
75	→	11	900
100	→	18	1200
2x75	→	26	1800
150	→	32	2400
200	→	42	3200

Tabela 11 – Comparação da potência consumida pelas lâmpadas para a mesma energia de iluminação que emitem.

Existe porém uma desvantagem que a meu ver terá de ser alterada num futuro próximo. Enquanto as lâmpadas incandescentes têm uma mistura de gases inertes (Nitrogénio, Argónio ou Criptónio) no seu interior para não permitir os filamentos de entrarem em combustão, as lâmpadas fluorescentes possuem um gás (vapor de mercúrio) prejudicial ao meio ambiente. A longo prazo (superior a 10 anos) é necessário criar alternativas ao vapor de mercúrio enquanto a médio prazo (de 5 até 10 anos) dever-se-á criar locais próprios para a colocação destas lâmpadas quando se apresentam no seu fim de vida útil.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

Em qualquer espaço pretende-se que o ambiente seja o melhor possível para que o utilizador final o sinta e desta forma possa realizar as suas tarefas com total conforto ambiental.

4.2.2 - Selecção da Lâmpada Ensaaiada

A escolha da lâmpada passou primeiramente pela selecção de lâmpadas fluorescentes de baixo consumo ou denominadas por lâmpadas economizadoras ou ainda por lâmpadas fluorescentes compactas.

Através da consulta e contacto a inúmeros fabricantes de lâmpadas deste tipo como a, *PHILIPS*, *OSRAM*, *DIGILAMP*, *REEME*, *MEGAMAN* bem como os fornecedores como a *ITALUX*, *LEXOPAL*, *ITAIM*, e entidades de certificação como a *PROCEL*, *Labelo/PUCRS* e *CERTIF*.

Das empresas que nos contactaram apenas duas se propuseram ao dispôr, o que levou ao seleccionamento das lâmpadas da marca *OSRAM*. A *OSRAM* foi o único fabricante a fornecer informação técnica relevante para o estudo a nível experimental das lâmpadas.

A preferência das lâmpadas fluorescentes compactas passou por diversos critérios como: Potência da lâmpada, forma da lâmpada, preço de venda ao Público, cor emitida e eficiência energética.

Desta forma seleccionou-se a seguinte lâmpada:

<p style="text-align: center;">OSRAM DULUXSTAR 5W Warm White 250lm 220-240V E14 50/60 Hz Eficiência Energética Nível A</p>

Na figura abaixo representada é demonstrada a eficiência energética das lâmpadas presentes no mercado.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

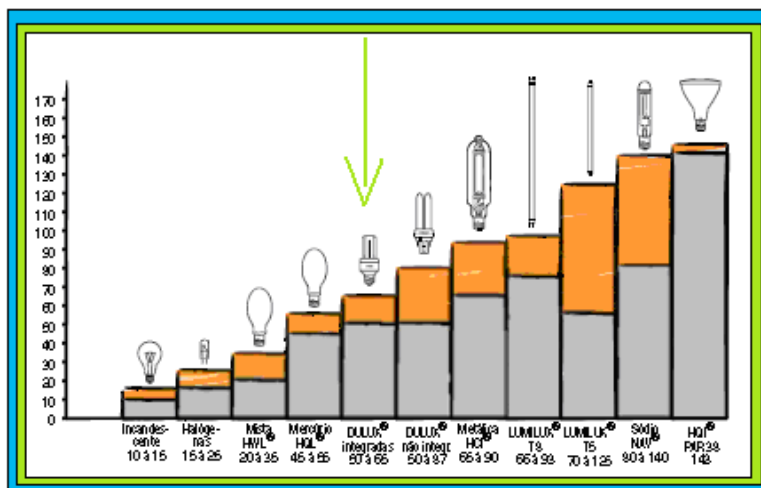


Fig. 56 – Revela a eficiência energética das diversas lâmpadas existentes no mercado Português.

A escolha das lâmpadas integradas ao invés das não integradas, deveu-se ao facto da procura por este tipo de lâmpadas ser muito superior, ou seja, lâmpadas integradas, luminárias com casquilho e de baioneta, representados na tabela seguinte.

Imagem	Tipo de Casquilho	Descrição	Diâmetro (mm)	os mais utilizados
	E 40	Casquilho de Rosca, utilizado em iluminação industrial sobretudo em lâmpadas de potência superior a 400W.	40	NÃO
	E 27	Casquilho de Rosca, utilizado em qualquer tipo de instalações. Este casquilho é um dos mais utilizados em Portugal.	27	SIM
	E 14	Casquilho de Rosca. Muito semelhante ao E27, diferindo apenas no diâmetro.	14	SIM
	B 22	Casquilho de Baioneta. Utilizado em comboios, barcos, entre outros.	22	SIM
	B 15	Casquilho de Baioneta. Muito utilizado na indústria automóvel.	15	NÃO

Tabela 12 – Tipo de Casquilhos

A lâmpada de casquilho de rosca é a mais utilizada nas nossas habitações e escritórios o que revela ser uma óptima escolha para o ensaio a realizar. Além disso a selecção pela de menor potência prende-se pelo facto de se querer que o consumo

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

eléctrico seja o mais baixo possível reflectindo-se mais tarde no preço final (na factura Eléctrica por exemplo). Pode não significar muito se estivermos a ‘pensar’ numa habitação, mas traduz-se numa poupança energética significativa quando imaginamos a sua utilização no mundo (qualquer coisa como 6.2 biliões de pessoas (números de 2002), o que representa cerca de 1,55 biliões de famílias (de 4 pessoas), ou seja, 1,55 biliões de potenciais consumidores.

A opção por este tipo de lâmpadas oferece-nos enormes reduções de custos, custos esses abordados nos artigos de revistas de especialidade anteriormente descritos e no exemplo seguinte.

Lampada	OSRAM DULUX T/E 18W	OSRAM DULUX T 18W	Lampada Incandescente de 100W
Potência da lâmpada (W)	18	18	100
CCG* perdas (W)	0	6	0
ECG* perdas (W)	2	0	0
Potência real da lâmpada (W)	20	24	100
Vida Útil (h)	10.000h	8.000h	1.000h
Horas consumidas	8.000h	8.000h	8.000h
Potência consumida	160 KW.h	192 KW.h	800 KW.h
Potência Contratada (KVA)	6,90 KVA o que representa uma adição de 10,85 €/mês pela tarifa simples e 15,37 €/mês pela tarifa bi-horária para uma família média.		
Tarifa Simples 0,1143 (€/KW.h)	€ 18,29	€ 21,95	€ 91,44
Poupança	€ 73,15	€ 69,49	_____

ECG	Significa 'Electronic Control Gear', ou seja, um Dispositivo de Controlo Electrónico. Estes dispositivos realizam um pré-aquecimento à lâmpada.
CCG	Denominado por 'Conventional Control Gear' ou Dispositivo de Controlo Convencional, ou seja, estes aparelhos necessitam de um dispositivo de ignição externo, o que leva a que a vida útil da lâmpada seja muito menor, quando comparado com o ECG.

Tabela 13 – Exemplo de um Comparativo entre lâmpadas fluorescentes compactas ECG, CCG e lâmpadas incandescentes fornecido pela OSRAM.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

Desta forma a opção por uma lâmpada fluorescente CCG (neste caso a DULUX T) acaba por ser a escolha acertada e a escolha económica.

As lâmpadas da OSRAM estão certificadas pela entidade EC – ‘*Certificate of Conformity*’ ou designado por Declaração de Conformidade, conforme Anexo 5.

4.3 - Construção do Protótipo

O desenvolvimento do projecto iniciou-se por um esboço como demonstra a figura no qual existiu inúmeros cuidados, como por exemplo respeitar a dimensão dos cabos, disponibilizar a mesma distância entre cabos mesmo sabendo que para comprimentos na ordem dos 20cm (desde o ponto A até às lâmpadas) as perdas são insignificantes senão mesmo muito próximos do valor zero.

Existiu o cuidado acrescido de efectuar o planeamento do projecto.

Planeamento:

	Componentes necessários para a execução do projecto
1	Aquisição de 2 Temporizadores Analógicos (um de 10 em 10 min e outro de 15 em 15 min)
2	8 Lâmpadas fluorescentes compactas de casquilho E14 ou E27
3	8 Casquilhos E14 ou E27
4	Cabos para iluminação (até 2,5mm ²)
5	2 Tipos de cabos (um de cor azul e outro de cor preta).
6	Conjunto de 3 ou mais Tomadas protegidas com fusível.
7	Tampas para derivação
8	Fita Isolante
9	Placa rectangular em madeira
10	1 Régua de Junção
11	Calha técnica

Tabela 14 – Referente aos componentes seleccionados na altura da concepção do projecto.

O Projecto:

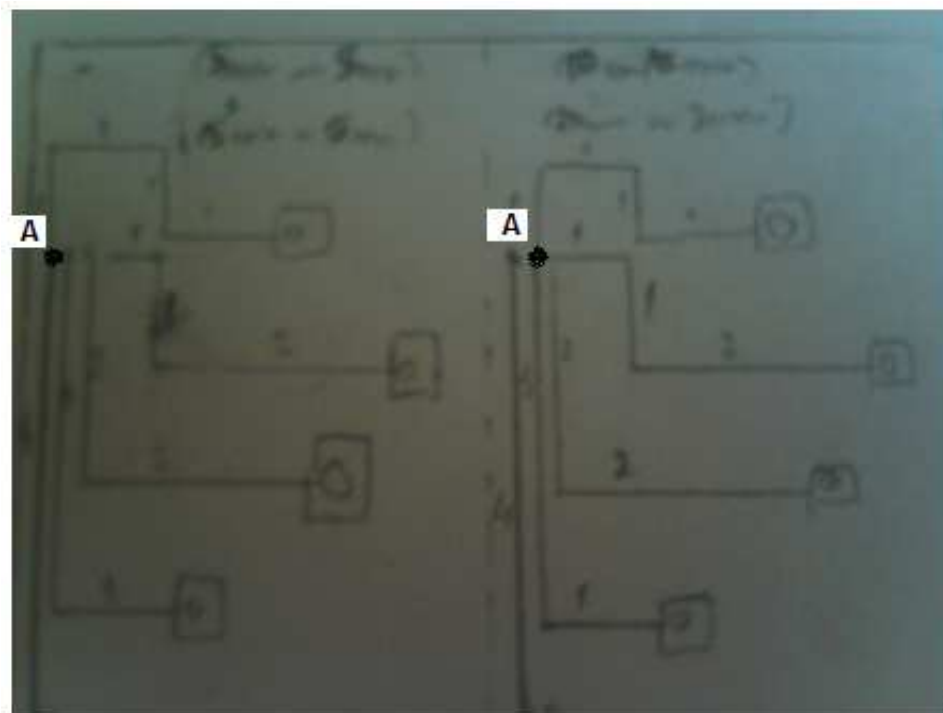


Fig. 57 – O esboço efectuado na altura da concepção do projecto. (Atenção - não obedece aos símbolos normativos)



Fig. 58 – Demonstra a colocação do casquilho num suporte de madeira que seria posteriormente fixado a uma placa de madeira.



Fig. 59 – Dá seguimento à imagem anterior, mostrando o aspecto que teria aquando da sua fixação na placa.

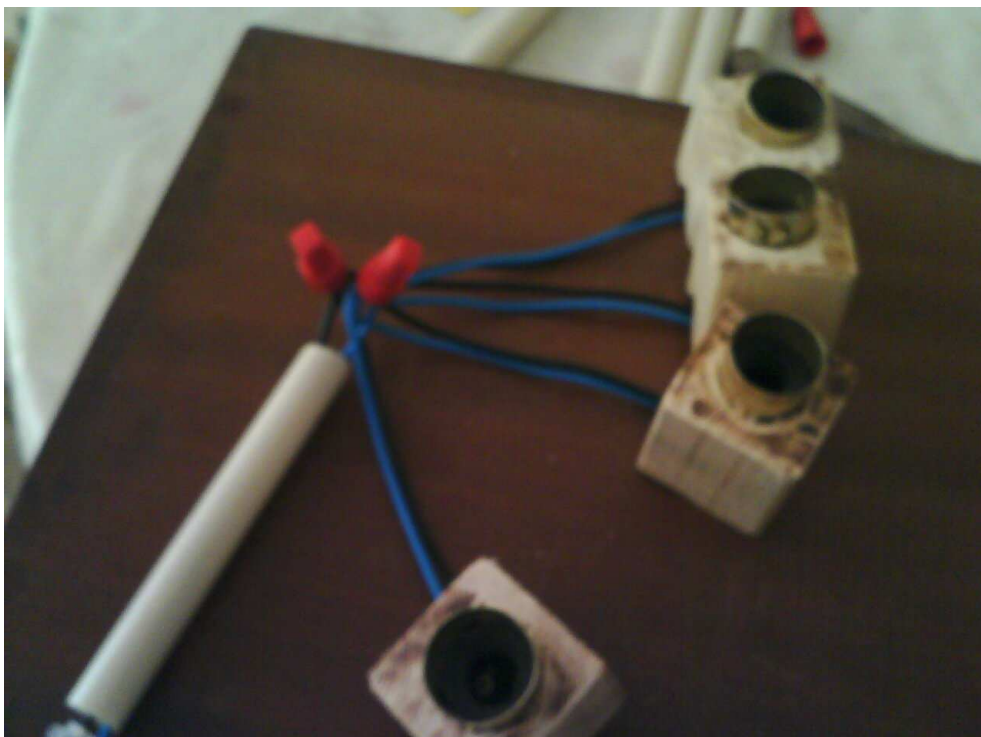


Fig. 60 – O aspecto final do primeiro projecto. Revelou-se moroso e inestético ao qual foi abandonado e optimizado.

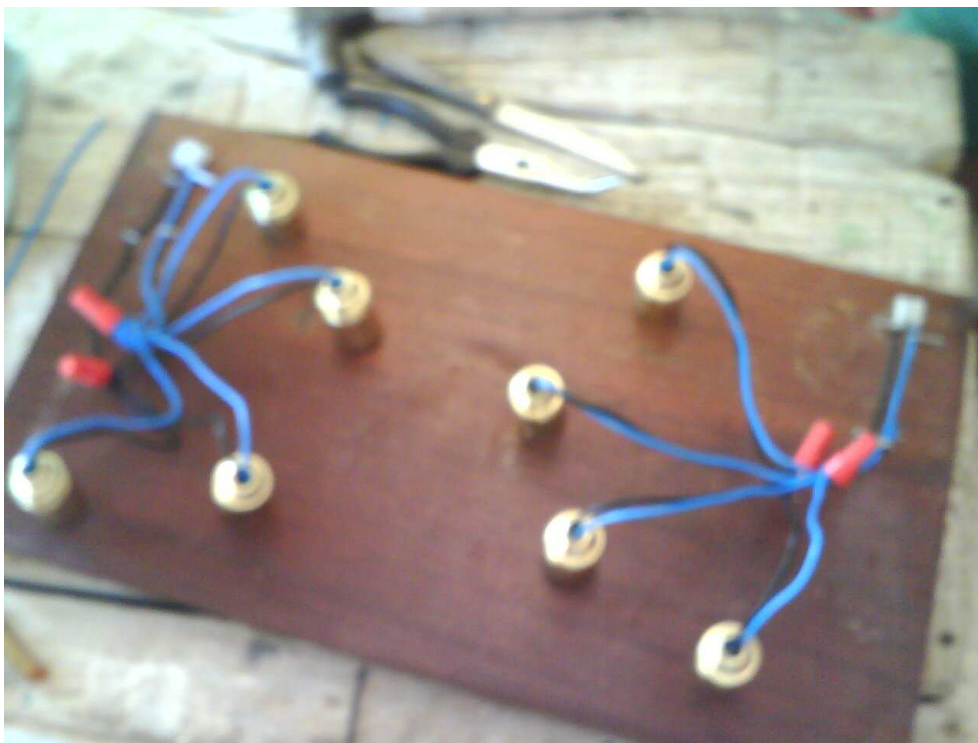


Fig. 61 – Com a optimização do primeiro estudo, achámos que a cabelagem deveria ficar escondida, ou seja, colocar por de baixo da placa, como acontece nos tectos falsos nas habitações e escritórios.



Fig. 62 – Esta figura indica-nos a posição dos furos, respeitando o comprimento da cabelagem e deixando um determinado espaço entre as luminárias, apesar das lâmpadas testadas emitirem uma quantidade calorífica muito inferior às lâmpadas normalmente utilizadas (as lâmpadas incandescentes).

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE



Fig. 63 – Semelhante à ilustração anterior, mas com a introdução dos dois circuitos nos seus respectivos lugares.



Fig. 64 – O temporizador (equipamento electrónico que controla o número de manobras) para o primeiro circuito (de 10 em 10 minutos).



Fig. 65 – O temporizador para o segundo circuito (de 15 em 15 minutos). Os dois equipamentos utilizados são analógicos, isto é, através de patilhas.

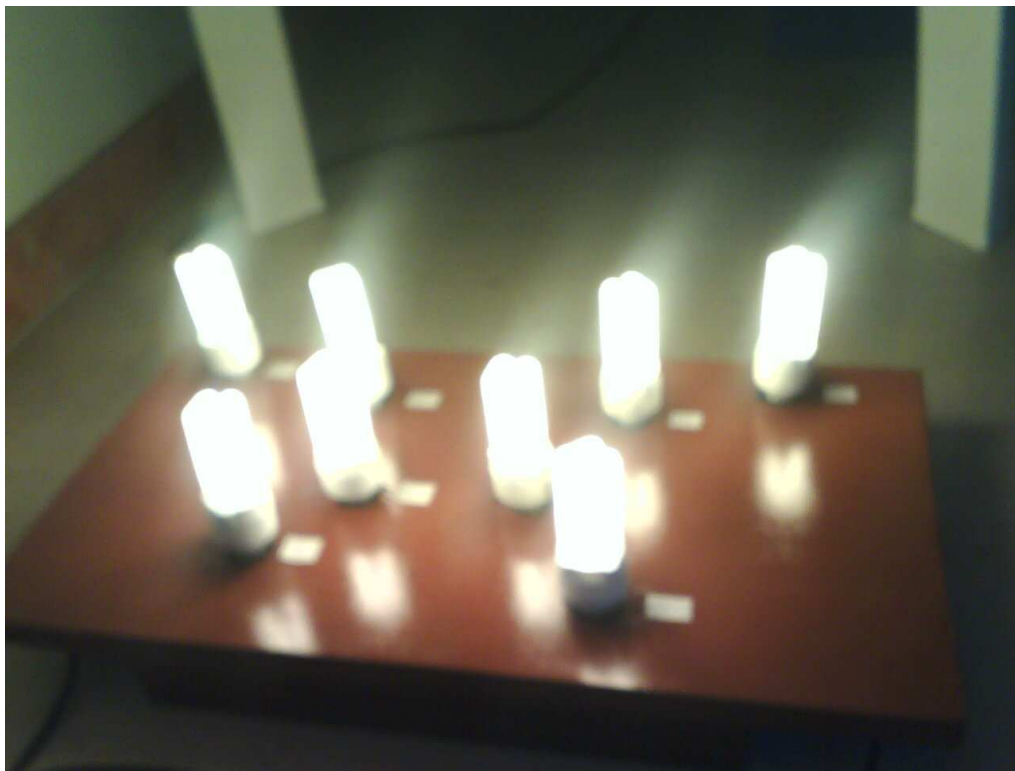


Fig. 66 – Aspecto final da mesa. Nesta ilustração, os circuitos encontram-se em funcionamento.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE



Fig. 67 – Semelhante há ilustração anterior mas apresentado noutra vista.

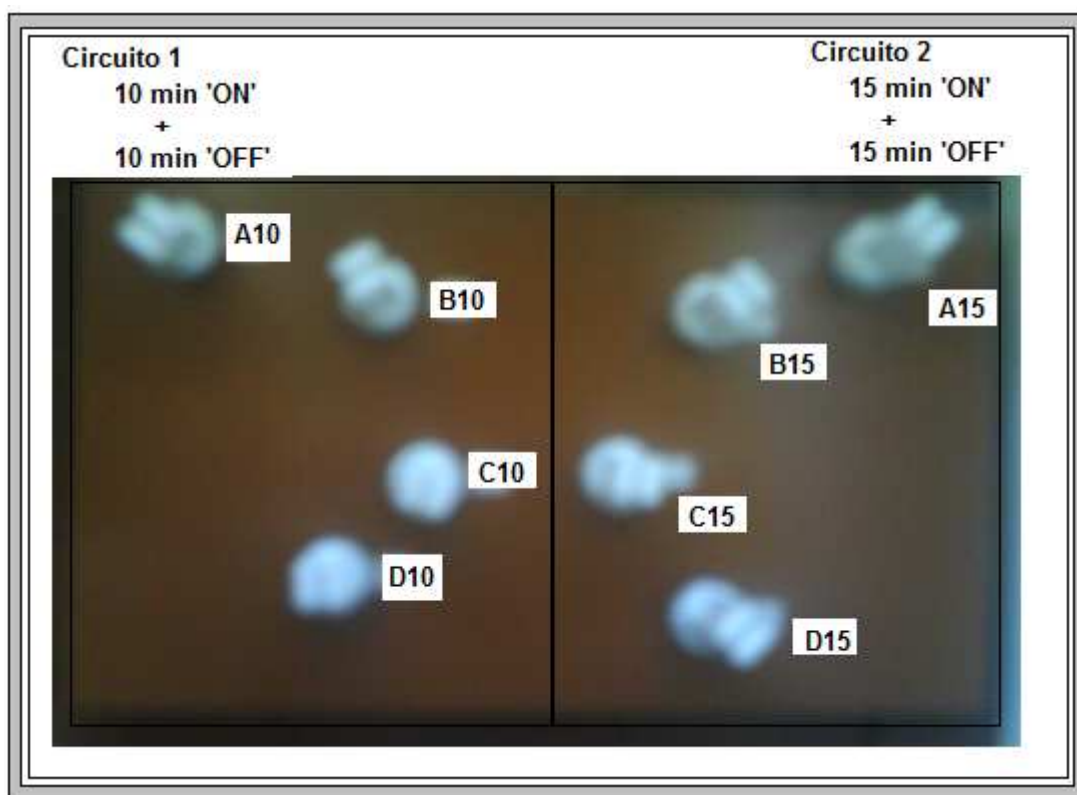


Fig. 68 – Imagem detalhada que nos indica qual o circuito correspondente bem como a indicação e disposição das lâmpadas.

4.4 – Procedimento Experimental

Com o projecto operacional, existiu a necessidade de consultar normas de forma a garantir o bom desempenho do ensaio a realizar. Das possíveis normas a verificar, consultou-se a IEC 60901 – “*Single-Capped Fluorescent Lamps*” ou em português Lâmpadas Fluorescentes de Casquilho Único no anexo 6 (fotocópia da capa da norma, fornecida pelo Instituto Português da Qualidade – IPQ), bem como as três revisões disponíveis no IPQ, a IEC 60901 Edição 1997-06, IEC 60901 Edição 2000-04 e a IEC 60901 2004-05.

Esta norma impõe ao utilizador inúmeras condições que passo a expor:

1. Tensão Eléctrica → entre 92% a 106%.

Em Portugal, o Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Eléctrica em Baixa Tensão estipula que as variações de tensão em qualquer ponto da rede de distribuição não deverão ser superiores a 8%.

O mesmo regulamento recomenda que em centros urbanos as variações de tensão em relação ao valor nominal não excedam $\pm 5\%$.

Ora não dispondo de equipamento apropriado para medir a tensão, não nos foi possível medir os valores de tensão, mas confiamos na entidade reguladora. Ora se para centros urbanos o valor nominal não pode exceder os 5%, ou seja entre 95% e 105%, obedeçemos há norma.

2. Temperatura Ambiente → no intervalo de 20 a 27°C com uma Humidade Relativa máxima de 65%.

Neste ponto existiu o cuidado de encontrar um local com bom arejamento, há sombra e com uma temperatura próxima dos 23°C. Durante o ensaio a Temperatura verificou-se relativamente constante na casa dos 24°C.

No ponto da Humidade Relativa (HR), não nos foi possível avaliar, mas sabendo há partida que para situações de conforto humano, a HR se situa nos 45%, pode-se dizer que na realização do ensaio, o equipamento experimental nunca ultrapassou os 65%, ou seja, nunca ultrapassou o limite do conforto humano.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

3. A norma diz que antes de se colocar o equipamento em funcionamento, é necessário colocar as lâmpadas num estado de operação desligado no seu local de trabalho durante 24 h nas condições iniciais.

Existiu o cuidado de cumprir com as 24h estabelecidas. Além disso aquando da mudança do equipamento para outro local, o equipamento esteve mais 24h desligado.

4. As lâmpadas necessitam de um periodo de 100 h nas condições normais. As condições normais dizem respeito a 90 min ligadas e 15 min desligadas.

Tratando-se de um ensaio experimental em condições acelerados, não se levou isso em conta. Além disso para que as lâmpadas atingissem o período de 100 h nas condições normais, levaria mais de 2 meses, o que poria em causa a análise do ensaio.

5. A norma diz que para as condições normais, o funcionamento das lâmpadas seria 90 min ligado e 15 min desligado.

Ora tratando-se de um ensaio acelerado, realizou-se dois ensaios. Um primeiro de 10 min ligado e 10 min desligado e outro de 15 min ligado e 15 min desligado.

6. O tempo de estabilização terá de no minimo cumprir 15min no estado desligado para que o mercúrio estabilize.

Cuidando-se de testes acelerados, ignorou-se esta medida para um dos ensaios de forma a perceber se a estabilização do mercúrio é importante para o bom funcionamento da lâmpada, em termos de período de vida útil e de radiação.

Durante o ensaio existiu a necessidade de criar uma tabela de controlo, utilizando para isso o software Microsoft Office Excel. A tabela é apresentada de seguida.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

Condições do Fabricante																					
Lâmpadas DULUXSTAR representam a gama mais baixa																					
Duração de 10.000 horas																					
20.000 manobras/arranques para ciclos de 90 min ON + 15 min OFF																					
Controlo da Aplicação Experimental em Lâmpadas DULUXSTAR																					
<div style="background-color: #FFFF00; text-align: center; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">15 min ON + 15 min OFF</div> <p style="margin: 0;">Funcionamento Temporizado diário = 48 ciclos por dia</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-bottom: 10px;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Lampada</th> <th style="width: 50%;">Manobras</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>A15</td><td style="background-color: #cccccc;"></td></tr> <tr><td>B15</td><td></td></tr> <tr><td>C15</td><td style="background-color: #cccccc;"></td></tr> <tr><td>D15</td><td></td></tr> </tbody> </table> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center; margin-bottom: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Controlo</div> <div style="background-color: #00AEEF; width: 20px; height: 15px; margin: 0 5px;"></div> (n.º de arranques por ciclo) </div>	Lampada	Manobras	A15		B15		C15		D15		<div style="background-color: #FFFF00; text-align: center; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">10 min ON + 10 min OFF</div> <p style="margin: 0;">Funcionamento Temporizado diário = 72 ciclos por dia</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-bottom: 10px;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Lampada</th> <th style="width: 50%;">Manobras</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>A10</td><td style="background-color: #cccccc;"></td></tr> <tr><td>B10</td><td></td></tr> <tr><td>C10</td><td style="background-color: #cccccc;"></td></tr> <tr><td>D10</td><td></td></tr> </tbody> </table> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center; margin-bottom: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Controlo</div> <div style="background-color: #00AEEF; width: 20px; height: 15px; margin: 0 5px;"></div> (n.º de arranques por ciclo) </div>	Lampada	Manobras	A10		B10		C10		D10	
Lampada	Manobras																				
A15																					
B15																					
C15																					
D15																					
Lampada	Manobras																				
A10																					
B10																					
C10																					
D10																					

Tabela 15 – Tabela de Controlo da aplicação experimental.

Os ensaios realizaram-se durante um período diário de ciclos contínuos, de 24 em 24 horas respeitando sempre os intervalos por circuito, controlados analogicamente por dois temporizadores preparados para o efeito (um temporizador por circuito).

4.5 – Aplicação Prática

4.5.1 – Análise de Dados

Sabendo que para uma utilização contínua de 90 min. ligado e 15 min. desligado (como diz a norma IEC 60901) e para 20 mil manobras ou arranques (informação fornecida pela OSRAM, Anexo 7), teríamos em média cerca de 1459 dias de uso, o que em anos, corresponde sensivelmente a 4 anos, isto para uma utilização contínua padrão.

No decorrer da aplicação verificou-se que, de acordo com os parâmetros de funcionamento seleccionados, o ensaio demoraria pelo menos 1 ano e meio, reduzindo em cerca de 60% o tempo normal até à falha.

Verificou-se que necessitaríamos de pelo menos de 1 ano para o Circuito 1 (de 10 min ligado e 10 min. desligado) e de pelo menos 1 ano e meio para o Circuito 2 (de 15 min ligado e 15 min. desligado), o que nos indicou que seria impossível obter resultados reais no tempo proposto para a realização da tese.

No entanto, decidimos continuar com os testes até a obtenção de dados reais, e assim determinar a fiabilidade usando os dados obtidos através da estimativa da vida média, com recurso ao programa ALTA 7.0 PRO.

Exercício Prático

Face à ausência de dados reais no ensaio realizado, se atribuíram tempos até à falha aleatórios para 6 das lâmpadas, havendo duas delas com tempos suspensos ou censurados às 1000 horas, tal como apresentado na Figura seguinte, apenas com o intuito de mostrar como os eventuais dados reais seriam tratados.

	Estado F ou S	Tempo da F ou S	Mecânico arr	<input checked="" type="checkbox"/>
1	F	450	48	
2	F	550	48	
3	F	645	48	
4	S	1000	48	
5	F	300	72	
6	F	392	72	
7	F	614	72	
8	S	1000	72	

Fig. 69 – Representa os dados fictícios tratados e colocados no programa.

Utilizou-se o modelo Potência Inversa por se tratar de um elemento mecânico, ou seja, vulnerável ao número de arranques. A distribuição escolhida é a Lognormal por existirem grandes diferenças nos valores apresentados.

Tal como referido anteriormente, e de acordo com a norma IEC 60901, para uma utilização de 20.000 manobras, com 90 min ligado e 15 min desligado, o número médio de arranques para estas condições é de cerca de 13,7 manobras por dia. Este é o valor que se introduz no ‘*software*’ como referência para uma utilização normal, para se estimar a fiabilidade do bem.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

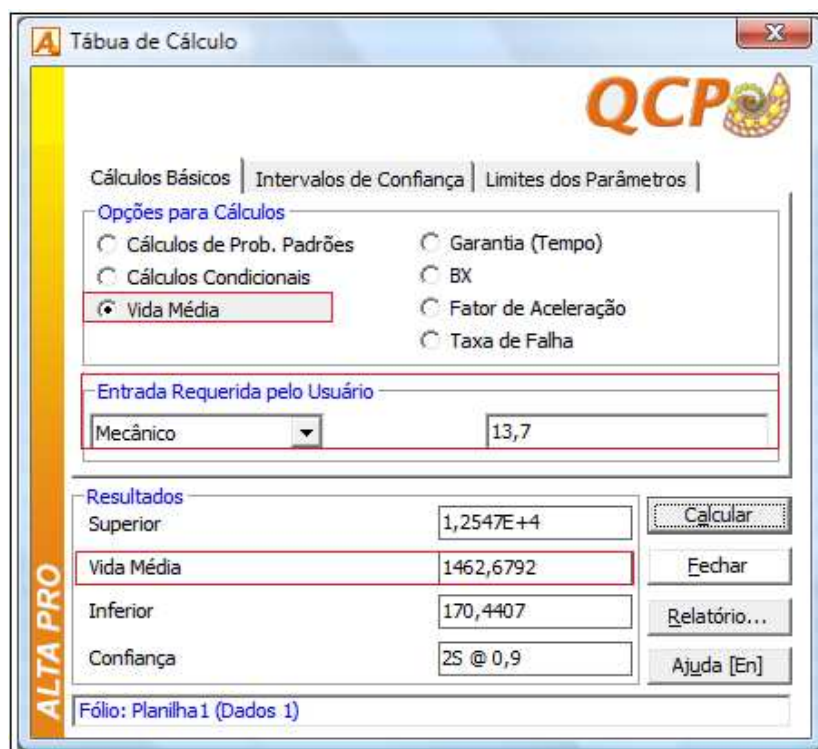


Fig. 70 – O tempo médio de vida nas condições iniciais.

Nas condições normais do fabricante obteve-se 1459 dias. Um valor muito próximo dos 1462 dias determinados anteriormente.

Com o recurso ao programa informático é então possível determinar algumas respostas. Por exemplo, para uma fiabilidade de 80, 90 e 95% temos os seguintes resultados, respectivamente:

Fiabilidade Requerida	Dias	Anos
80%	852,9	2 anos e 4 meses
90%	685,8	1 ano e 10 meses
95%	572,9	1 ano e 6 meses

Tabela 16 – A fiabilidade estimada para o caso A, ou seja para as condições de 13.7 manobras diárias.

Verifica-se que para uma utilização contínua nas condições normais de utilização, o período diminui consideravelmente com o aumento da fiabilidade.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

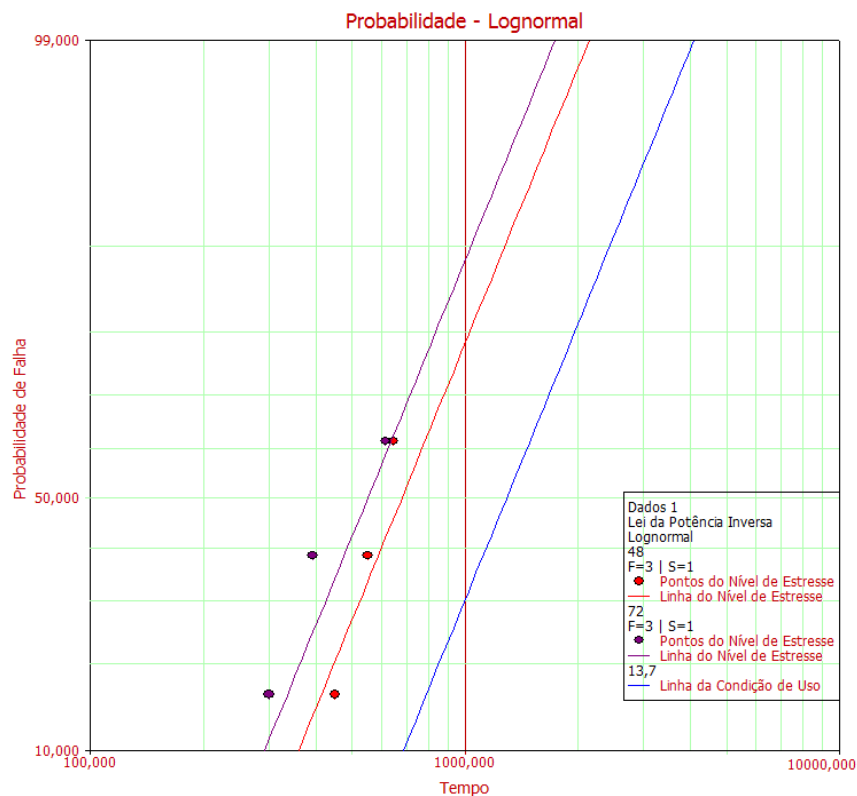


Fig. 71 – A probabilidade Lognormal do ensaio.

Como seria de esperar, para as condições normais de utilização, para as mesmas fiabilidades, o tempo de vida útil do componente é superior.

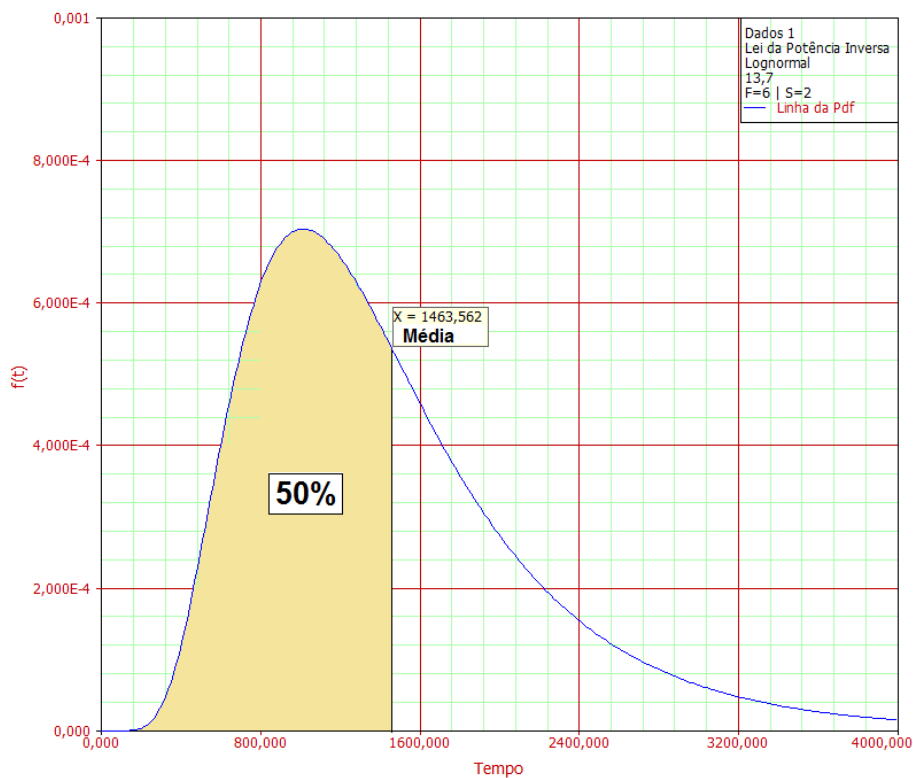


Fig. 72 – A função de densidade de probabilidade.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

Verificámos que para uma fiabilidade de 80% as lâmpadas têm uma durabilidade de 2 anos e 4 meses. Se analisarmos em profundidade, verificamos que em condições normais as lâmpadas não se encontram 24h sobre 24h acesas, ou seja, a sua utilização não é contínua.

Sendo assim, iremos alterar as nossas condições iniciais para metade, ou seja, em vez de 13.7 arranques por dia, vamos considerar apenas 6.9 manobras por dia, o correspondente a 12h de utilização diárias.



Fig. 73 – A nova vida média para um novo número de manobras diárias.

Com esta alteração, verificámos que a vida média corresponde a 2082 dias para uma utilização média, o que significa 5 anos e 8 meses, muito próximo dos 6 anos do fabricante.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

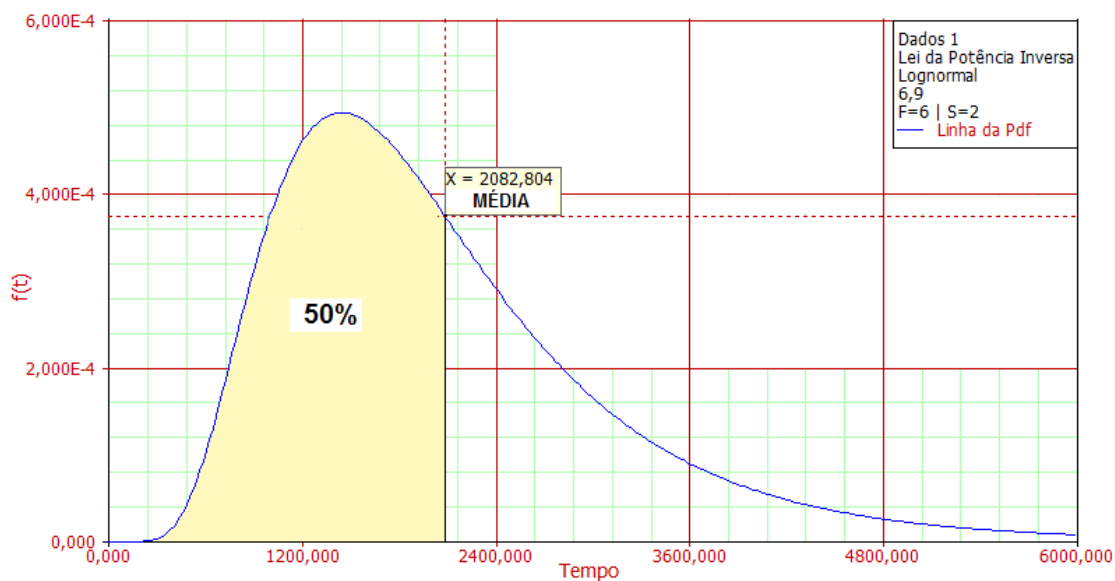


Fig. 74 – A nova função de densidade de probabilidade.

Analisando para fiabilidades de 80, 90 e 95% temos:

Fiabilidade Requerida	Dias	Anos
80%	1214,3	3 Anos e 4 meses
90%	976,4	2 Anos e 8 meses
95%	815,6	2 Anos e 3 meses

Tabela 17 – A fiabilidade estimada para o caso B, isto é para 6.3 arranques diários.

Comparando com a outra tabela:

Fiabilidade Requerida	Diferença de Dias	Percentualmente
80%	361,4	29,7%
90%	290,6	29,7%
95%	242,7	29,7%

Tabela 18 – Comparação de resultados entre o caso A e o caso B.

Pode-se dizer que ao alterar as condições de utilização para metade, houve um incremento de quase 30% de vida útil.

Decidiu-se alterar novamente as condições iniciais de forma a criar um intervalo de utilização mais real, ou seja, de um lado temos condições extremas de utilização, das outras condições passivas, ou seja, casos que se manobre as lâmpadas apenas duas vezes

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

por dia, caso esses em que queremos luzes de presença durante a noite, ou durante alguns períodos.



Fig. 75 – A nova vida média para o caso de 2 manobras diárias.

Voltando a calcular as fiabilidades de 80, 90 e 95%.

Fiabilidade Requerida	Dias	Anos
80%	2297,7	6 Anos e 3 meses
90%	1847,7	5 Anos
95%	1543,3	4 Anos e 2 meses

Tabela 19 – A fiabilidade estimada para o caso C, para as 2 manobras diárias nas condições de serviço.

Comparando as tabelas:

Fiabilidade Requerida	Diferença de Dias	Percentualmente
80%	1083,4	47,1%
90%	871,3	47,1%
95%	727,7	47,1%

Tabela 20 – Comparação de resultados entre o caso B e o caso C.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

Considerando que 6 anos (2190 dias) são um requisito imposto pelo fabricante, podemos dizer o seguinte:

Para utilizações passivas, de 2 arranques diários garante-se uma fiabilidade superior a 80%. Caso se passe a uma utilização regular (correspondente a 6,9 arranques diários), garantimos uma fiabilidade de 35%. Ao passar para uma utilização intensiva (correspondente a 13,7 manobras diárias), a fiabilidade será apenas de 14,5%.

Pode-se considerar que uma validade de 6 anos é exagerada, pelo que 4 anos serão a escolha acertada, isto se os eventuais dados se aproximarem dos valores reais. Sendo assim, repetindo o processo anterior, para o caso C temos uma fiabilidade ligeiramente superior a 95%, no caso B a fiabilidade desce para os 67% e no caso A, uma fiabilidade de 40%. Valores bem mais aceitáveis e que nos parece coerente.

Para Lâmpadas OSRAM Duluxstar estima-se para uma série de utilizações a 4 anos, fiabilidades de 40 a 95%, isto é, considerando que as condições de utilização mais lógicas correspondem a 6,9 arranques diários, enquanto as condições do fabricante manter-se-ão nos 13,7 arranques diários, conforme normas IEC 60901. Sendo assim, para 6.9 arranques diários, podem-se retirar novos dados.

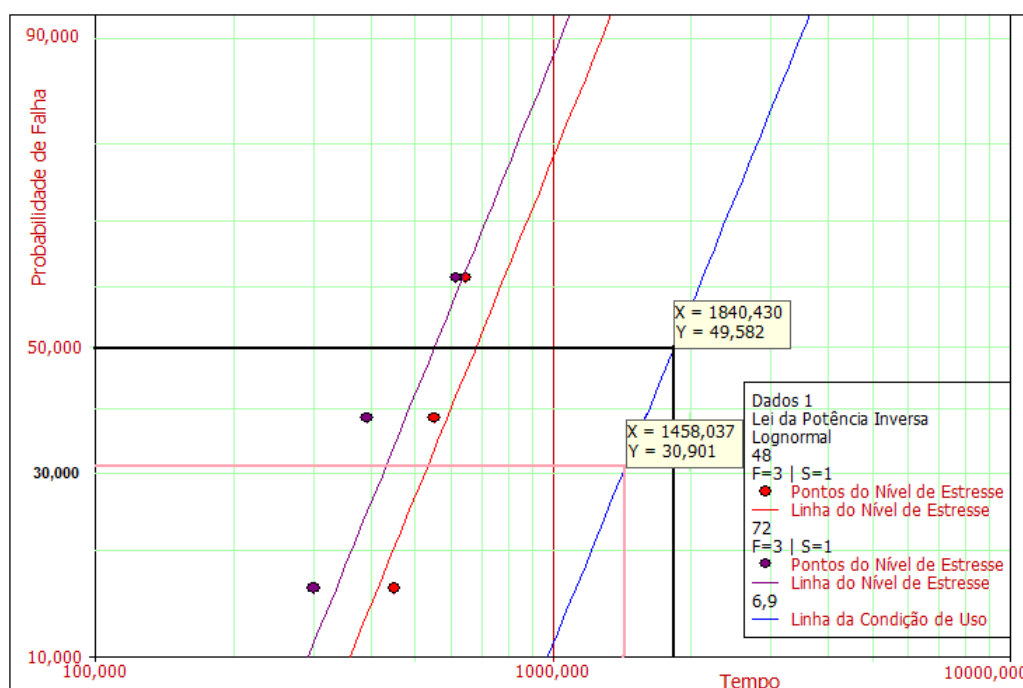


Fig. 76 – A probabilidade Lognormal para 6,9 arranques diários.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

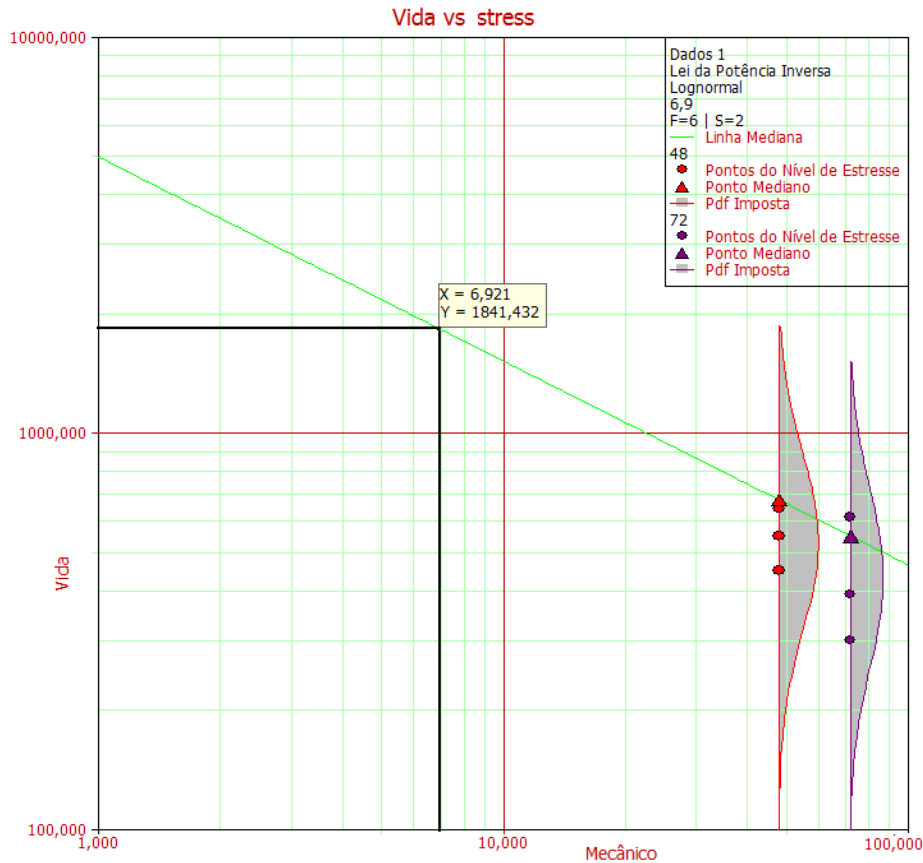


Fig. 77 – O Tempo de vida em relação ao nível de aceleração, que neste caso é mecânico.

Considerando que as condições normais de funcionamento são as 6,9 manobras por hora, podemos concluir que para uma fiabilidade de 50% estas lâmpadas terão uma duração média de 5 anos. Caso a fiabilidade suba para valores próximos de 70%, mais concretamente 67%, o tempo médio de vida cai para os 4 anos e assim sucessivamente.

Através dos ensaios acelerados é possível determinar num relativo curto espaço de tempo a probabilidade de ocorrerem falhas para as condições normais de utilização. Se bem que as condições iniciais, variam consoante o utilizador final. Além disso para este tipo de componentes, é de difícil exactidão determinar qual será a fiabilidade certa, logo pensamos que ao colocar um período de fiabilidade, é a escolha acertada.

Com a ilustração seguinte podemos determinar qual a fiabilidade que terá num certo ponto em relação ao número de manobras e ao tempo de vida ou variando um dos três parâmetros presentes, como por exemplo o nível de stress aplicado. Tendo um leque enorme de possíveis níveis de stress, este gráfico torna-se importante, na medida que é

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

possível deduzir resultados num tempo relativamente curto, sem que para isso seja necessário recorrer de novo ao programa.

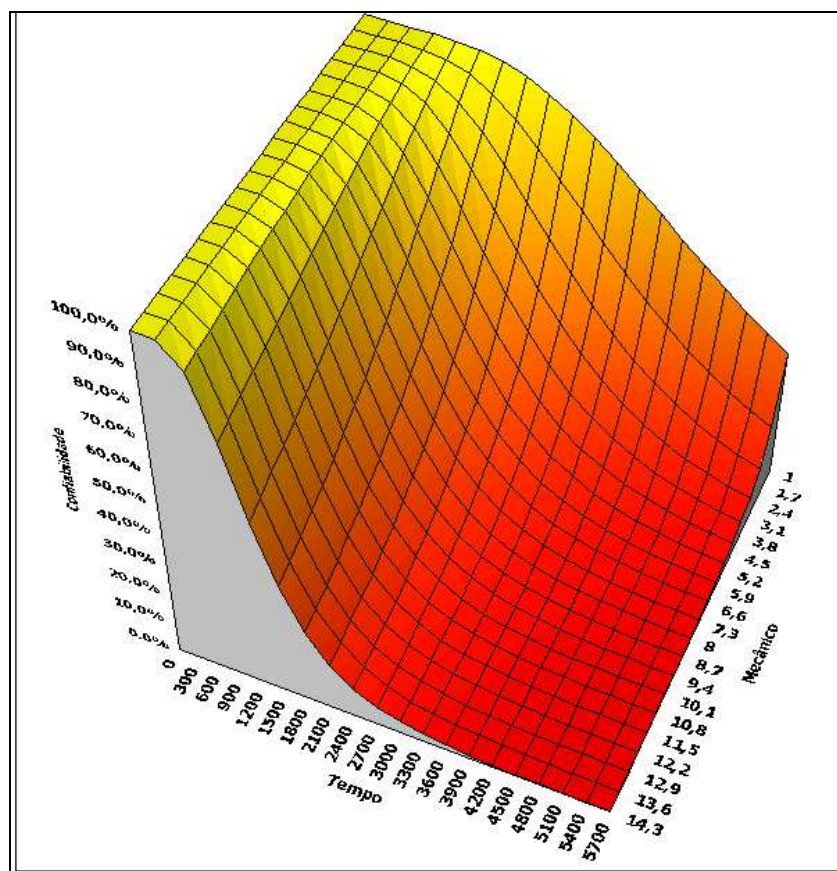


Fig.78 – A Fiabilidade em relação ao Tempo e ao nível de stress.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

5.1 – Conclusões

Os conceitos e metodologias apresentados neste trabalho revelam-se de grande importância no campo da análise da Fiabilidade dos bens. Nesta área, os ensaios acelerados de vida são uma ferramenta extremamente útil, permitindo o desenvolvimento de novos produtos, ou verificando o comportamento de componentes sob determinadas condições físicas de solicitação. No actual mercado do trabalho, devido à competitividade empresarial, esta redução do tempo para teste de protótipos permite ganhar vantagem, em tempo e dinheiro, resolvendo situações muitas vezes incomportáveis.

A metodologia empregue neste trabalho complementa várias áreas, incluindo no seu desenvolvimento modelos de fiabilidade, métodos de aceleração, tipos de ensaios, materiais, factores e níveis de aceleração ou modelos de ensaios de vida acelerados.

A utilização do programa informático ALTA 7.0 PRO, demonstrou ser muito útil para o tratamento dos dados resultantes dos ensaios acelerados, independentemente do modelo adoptado para análise das falhas resultantes de solicitações mais severas.

Embora sem grandes meios laboratoriais disponíveis para esta área, realizou-se uma aplicação prática baseada na teoria dos modelos de ensaios acelerados descrita ao longo do trabalho. Embora sem resultados reais de falha dos componentes sujeitos aos níveis de solicitação estabelecidos até ao presente momento, pretendeu-se mostrar na mesma como estes seriam tratados caso existissem. Desta forma, definiram-se vários cenários, tendo sido apresentadas as conclusões para cada um deles. Apesar destas simulações, o ensaio real do protótipo construído continua, esperando-se resultados reais deste ensaio acelerado para posteriormente serem tratados e comparados com a informação disponível por parte do fabricante dos mesmos.

A selecção deste tema revelou-se adequada ao tempo e acertada devido à sua importância em termos de optimização dos produtos e à redução do período temporal, fundamental para a competitividade das empresas. Com a pesquisa efectuada, este tema revelou-se de grande actualidade e interesse científico, levando actualmente muitos autores a debruçar-se sobre ensaios acelerados de vida.

5.2 – Trabalhos Futuros

Respeitando tudo o que já foi dito, existem alguns pontos que poderão ser explorados em trabalhos futuros, tais como:

1. Seleccionar um dos modelos estudados e analisá-lo em profundidade com recurso a experiências laboratoriais de forma a entender as possibilidades ou potenciais variantes do modelo.
2. Através de combinações de níveis de stress, compreender de que forma é que cada variável influencia os resultados
3. Com os dados reais da aplicação prática utilizar o modelo apropriado e verificar os parâmetros de fiabilidade do ensaio.
4. Num trabalho futuro e recorrendo por exemplo ao Modelo de Temperatura – Humidade, colocar um determinado bem numa atmosfera controlada, variando os seus padrões em condições extremas e tirar daí as devidas conclusões.
5. Desenvolver uma iniciativa entre o sector universitário e o sector industrial a fim de aplicar os ensaios acelerados de vida, através de estudos a protótipos.
6. Desenvolver ensaios acelerados que visem a optimização de componentes que constituem o ECOMARATHON e o FORMULA STUDENT de forma a melhorar o bem como um todo, minimizando o peso, optando por outros materiais com melhores desempenhos mecânicos, estudando materiais recicláveis, entre outros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARTIGOS CIENTÍFICOS CONSULTADOS

Abackerli A.J. & Sasseron P.L. & Cauchick Miguel P.A. & Papa M.C.O., (2007), *“Análise da Incerteza Experimental na Determinação da Vida, usando Ensaio Acelerado”*, Gestão & Produção, 69-81pp

Canazio, Alexandre; (2009), *“Labelo/PUCRS: Lâmpadas na vanguarda da eficiência energética”*, ELECTROBRÁS, 1-3pp,

Carlsson, BO & Palm, Magnus; (2002) *“New accelerated weathering tests including acid rain”*, Journal of Coatings Technology, Vol 74 Number 924, 69-74

Charruau S. & Guerin F. & Dominguez J.H. & Berhon J.; (2006), *“Reliability Estimation of Aeronautic Component by Accelerated Tests”*, Microelectronics Reliability, ELSEVIER, 1451-1457pp

Clifford Fung, (2005), *“Industry study on issues of MEMS reliability and accelerated lifetime testing”*, Microwave Journal, 1-2pp

Dave Rizzo, (2006) *“Accelerated Testing Raises the Bar”*, QualMark Magazine Article, 1-2pp

DeGaspari John, (2004) *“MEMS You Can Count On”*, Mechanical Engineering, 1-3pp

Dinis, Nadia Filipa; (2009), *“Obama quer agir depressa no combate às alterações climáticas”*, Agência de Notícias de Portugal, 2009.

Dodson, Bryan & Harry Schwab, (2006), *“Accelerated Testing: A Practitioner's Guide to Accelerated and Reliability Testing”*, SciTeck Books News, 76-79pp

Grundy P., (2006), **“Will your product survive in the field? HALT and HASS testing are not just for aerospace electronics anymore”**, Circuits Assembly, 1-4pp

Hahn, Gerald.J. & Meeker, William Q. & Doganaksoy, Necip; (2007), **”Reliability Assessment By Use-Rate Acceleration“**, Quality Progress

LuVALLE, M.J., (1999),**“An approximate kinetic theory for accelerated testing”**, Institute of Industrial Engineers Transactions, 1147-1156pp

McLean H., (2000), **“HALT, HASS and HASA explained: Accelerated reliability techniques”**, American Statistical Association Quality Press, 152pp

Meeker, W.Q. & Escobar, L.A.; (1993), **“A Review of Recent Research and Current Issues in Accelerated Testing”**, International Statistical Review, 1-2pp

Meeker W.Q. & Escobar L.A., (1998), **“Pitfalls of accelerated testing”**. IEEE transactions on reliability, vol.47 (N.º2), 114-118pp

Miyano, Yasushi & Nakada, Masayuki & Sekine, Naoyuki; (2004), **“Accelerated testing for long-term durability of GFRP laminates for marine use”**, Journal of Composite Materials, 497-502pp

Miyano, Yasuski & Tsai S.W. & Christensen R.M.& Kuraishi; (2001), **“Accelerated Testing for the Durability of Composite Materials and Structures” - Long Term Durability of Structural Materials”**, Elsevier, 265-276pp

Mohammadin, S. Hossein & Ait-Kadi, Daoud & Routhier, François; (2009), **“The superposition principle to develop the concept of accelerated degradation testing”**, Reliability, Risk and Safety: Theory and Applications; 1-4pp

Oliveira E.M., (2009), **“Evaluation of the atmospheric corrosion resistance of AISI A-36 steel painted with coatings based on epoxy and poly(urethane) resins using semi-accelerated testing”**, JCT Research

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

Papa M.C.O. & Abackerli A.J. & Cauchick Miguel P.A.; (2007), **“Análise dos efeitos das incertezas nas estimativas de tempos de falha de produtos via ensaios acelerados”**, Produção, Vol 17, 566-578pp

Romero P. & Stuart K., (1998), **“Evaluating Accelerated rut testers”**, Federal Highway Administration, Vol 62 (N.º1)

Sasseron P.L. & Abacherli A.J.; (2003), **“Accelerated Test Methods as an Alternative to the Catalogue Life Data”**, Revista Ciência & Tecnologia, Vol 11 (N.º22), 43-48pp

Sherman & Manolis, Lilli; (2008), **“Weather testing for the real world”**, Plastics Techonology, 1-6pp

Suhir Ephraim, (2005), **“Reliabilty and Accelerated Life Testing”**, Semiconductor Internacional, Vol 28 (N.º2)

Tan, Yuanyuan & Zhang, Chunhua & Chen, Xun & Wang, Yashun; (2009). **“Analysis of accelerated life testing under competing failure modes with initial failures”**, Reliability, Risk and Safety: Theory and Applications; 1-7pp

Valis D. & Vintr Z. & Koucky M.; (2009), **“Accelerated test used as a tool for manufacturing correctness check”**; Reliability, Risk and Safety: Theory and Applications; 1-6pp

William Lagattolla, (2005), **“HALT/HASS - THE NEXT GENERATION OF ENVIRONMENTAL TESTING”**, Manager and Shock & Vibration Testing, 1-8pp

Woods J. & Saadatmesh H.; (2006), **“Accelerated Testing for Evaluating the Reliability of FRP Bonded to Concrete and Steel Under Severe Environments”**, Iran Civil Center – ICC, 1-20pp

“Beijing disponibiliza 10 milhões de lâmpadas económicas a preço baixo”, Agência de Notícias de Portugal, 1-2pp, 2009

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

“Bairros de Sines recebem lâmpadas economizadoras” e “EDP distribui cerca de 50000 lâmpadas nos Bairros Sociais do Distrito de Setúbal”, Agência de Notícias de Portugal, 1-6pp, 2009

LIVROS ANALISADOS

ALVES, C.G.; (2008), **“Análise de Confiabilidade em Fadiga. Estudo de Caso: Braço de Controle de Suspensão Automotiva”**, Universidade Estadual de Campinas

ASSIS, R.; (1997), **“Manutenção Centrada na Fiabilidade - Economia das Decisões”**, Editora Lidel

CARINHAS, H.P.; (2006), **“Manual de Fiabilidade”**, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

COLMENERO, A.N. (1999), **“Ensaio Acelerados. Coleta e processamento de dados para estudos de Confiabilidade em casos de Mecanismo de falha simples”**, Universidade Estadual de Campinas

DENSON W.; (1998), **“The History of Reliability Prediction”**, IEEE Transaction on Reliability, Vol 47, 321-328pp

DODSON, B. & NOLAN D.; (2002), **“Reliability Engineering Handbook”**, Quality and Reliability/56

EBEL, G.H.; (1998), **“Reliability Physics in Electronic: A Historical View”**, IEEE Transaction on Reliability, Vol 47 Part 2, 379-389pp

ELSAYED A.; (2006), **“Handbook of Reliability Engineering”**, Springer London, 415-428pp

FELIX E. P.; (2007), **“Análise de Confiabilidade de Sistemas Eletrônicos Complexos Baseada em Ensaio Acelerados de Vida”**, Universidade Estadual de Campinas

GUIDO, C.A.; (1994), **“Ensaio Acelerados: Uma nova metodologia”**, Universidade Estadual de Campinas

JAWAID, S.; (2002), “**Reliability stress test method: impact on the new product introduction process, time to market, field reliability, impact and reliability assessment**”, Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium

LAFRAIA, J.R.B.; (2001) “**Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**”, Editora Qualitymark - Petrobrás

LEITCH, R.; (1995), “**Reliability Analysis for Engineering**”, Oxford Press,

LEWIS, E.E.; (1994), “**Introduction to Reliability Engineering**”, John Wiley & Sons,

MEEKER, Q.W. & ESCOBAR, L.A.; (1993), “**A Review of Recent Research and Current Issues in Accelerated Testing**”, Int’ Statistical Review, Vol 61, 147-168pp

MEEKER, W. Q. & ESCOBAR, L. A.; (2004), “**Reliability: The other dimension of quality**”, Quality Technology and Quantitative Management

MEEKER, Q.W. & HAHN, G.J.; (1985), “**How to plan and accelerated life test**”, The ASCQ Basic References in Quality Control, Statistical Techniques Vol 10

MEEKER, W.Q. & NELSON, W.; (1975), “**Optimum accelerated life tests for Weibull and extreme value distribution and censored data**”, IEEE Transaction on Reliability, Vol 24

METTAS, A. & VASSILIOU, P.; (2002), “**Modelling and analysis of time-dependent stress accelerated life data**”, Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium

MOURA E. C.; (1992), “**A Method to Estimate the Acceleration Factor for Subassemblies**”. IEEE Transactions on Reliability, Vol 41, N.º 3

NELSON, W.; (1990), “**Accelerated Testing: Statistical Models, Test Plans, Data Analyses**”, Editor Wiley

NELSON, W.A.; (2005), “**Bibliography of Accelerated Test Plans**”, IEEE Transaction on Reliability, Vol 54 Part 2

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

PERROW, C.; (1999), **“Normal Accidents: Living with High Risk Technologies”**, University Press

PORTER A.; (2004). **“Accelerated Testing and Validation – Testing, Engineering, and Management Tools for Lean Development”**, Editor ELSEVIER

RELIASOFT, (2007), **“Accelerated Life Testing Analysis Reference”**, RELIASOFT CORPORATION

RELIASOFT , (2008), **“ReliaSoft’s Alta 7.0 Training Guide”**, RELIASOFT CORPORATION

SALVADOR, I.L.; (2004), **“Notas del Curso de Confiabilidad”**, Universidad Simón Bolívar

SELLITTO M.A.; (2005), **“Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos”**, Produção

SILVERMAN, M.; (2002), **“Why HALT Cannot Produce a Meaningful MTBF Number and Why this Should Not Be a Concern”**, QualMark’s Santa Clara Accelerated Reliability Test Center

SMITH, D.J.; (2005), **“RELIABILITY MAINTAINABILITY AND RISK”**, ELSEVIER, Edition 7, 157-165pp

SOUZA, G. F. M.; (2003) **“Análise de Confiabilidade Aplicada ao Projecto de Sistemas Mecânicos”**

TANG, L.C. & YANG, G.; (2002) **“Planning multiple levels constant stress accelerated life tests”**, In: Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium

VASSILIOU, P. & METTAS, A.; (2002) **“Understanding accelerated life-testing analysis”**, In: Tutorial Notes of the Annual Reliability and Maintainability Symposium

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

REFERÊNCIAS VIA-WEB

1. <http://www.weibull.com/acceltestwebcontents.htm>
2. <http://www.reliasoft.com/alta/examples/index.htm>
3. http://pt.wikipedia.org/wiki/P%C3%A1gina_principal
4. <http://www.freepatentsonline.com/>
5. <http://www.springerlink.com/content/>
6. <http://findarticles.com/>
7. <http://www.accessmylibrary.com/>
8. <http://www.tracelabs.com/library.aspx>
9. <http://libdigi.unicamp.br/>
10. <http://www.encyclopedia.com/>
11. <http://www.ipq.pt/custompage.aspx?modid=0&pagid=8>
12. <http://www.certif.pt/laboratorios.asp>
13. <http://www.erse.pt/>
14. <http://www.otcjournal.com/Newsletter/ALLCOMPS/af/archives/>
15. <http://www.iec.ch/>
16. <http://www.iep.pt/iep/home.asp>
17. <http://www.ieeexplore.ieee.org>
18. <http://www.highbeam.com>
19. <http://www.electroiq.com>
20. <http://www.ptonline.com>



ANEXOS

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

Anexo	Descrição	Pág.
1	Modelo de Arrhenius aplicado às distribuições de Weibull, Lognormal e Exponencial.	124
2	Modelo de Eyring aplicado às distribuições de Weibull, Lognormal e Exponencial.	129
3	Modelo de Potência Inversa aplicado às distribuições de Weibull, Lognormal e Exponencial.	132
4	Modelo de Temperatura-Humidade aplicado às distribuições de Weibull, Lognormal e Exponencial.	134
5	Declaração de Conformidade OSRAM	136
6	Capa da Norma IEC 60901 – ‘‘Single-Capped Fluorescent Lamps’’	139
7	Informação técnica fornecida pela empresa OSRAM (apenas a capa e o sumário. Em formato electrónico é fornecido na integra o documento).	141

Anexo 1 – Modelo de Arrhenius aplicado às distribuições de Weibull, Lognormal e Exponencial.

a) **Modelo de Arrhenius utilizando a Distribuição Exponencial**

A **função de densidade de probabilidade** do primeiro parametro da Distribuição Exponencial é dado por:

$$f(t) = \lambda.e^{-\lambda.t} \quad e \quad \lambda = \frac{1}{m}$$

Podemos dizer: $f(t) = \frac{1}{m}.e^{-\frac{t}{m}}$

E sabendo que ‘m’ é: $m = L(V) = C.e^{\frac{B}{V}}$

Substituindo o ‘m’, ficamos com uma expressão em função do tempo e da variável:

$$f(t, V) = \frac{1}{C.e^{\frac{B}{V}}} . e^{-\frac{1}{C.e^{\frac{B}{V}}}.t}$$

A expressão de **Fiabilidade da Exponencial de Arrhenius** é:

$$R(T, V) = e^{-\frac{T}{C.e^{\frac{B}{V}}}}$$

A fórmula em cima é o complemento da **função de distribuição acumulativa** da Exponencial de Arrhenius, ou seja,

$$R(T, V) = 1 - Q(T, V) = 1 - \int_0^T f(T, V).dT \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow R(T, V) = 1 - \int_0^T \frac{1}{C \cdot e^{\frac{B}{V}}} \cdot e^{-\frac{T}{C \cdot e^{\frac{B}{V}}}} \cdot dT = e^{-\frac{T}{C \cdot e^{\frac{B}{V}}}}$$

b) Modelo de Arrhenius utilizando a Distribuição de Weibull

O modelo de Arrhenius-Weibull pode então ser obtido por: $\eta = L(V)$, ou seja,

$$\eta = L(V) = C \cdot e^{\frac{B}{V}}$$

E substituindo ‘ η ’ na equação de Weibull

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

Temos que:

$$f(t, V) = \frac{\beta}{C \cdot e^{\frac{B}{V}}} \cdot \left(\frac{t}{C \cdot e^{\frac{B}{V}}}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{C \cdot e^{\frac{B}{V}}}\right)^\beta}$$

Uma imagem representando diferentes níveis de variáveis é-nos mostrada de seguida.

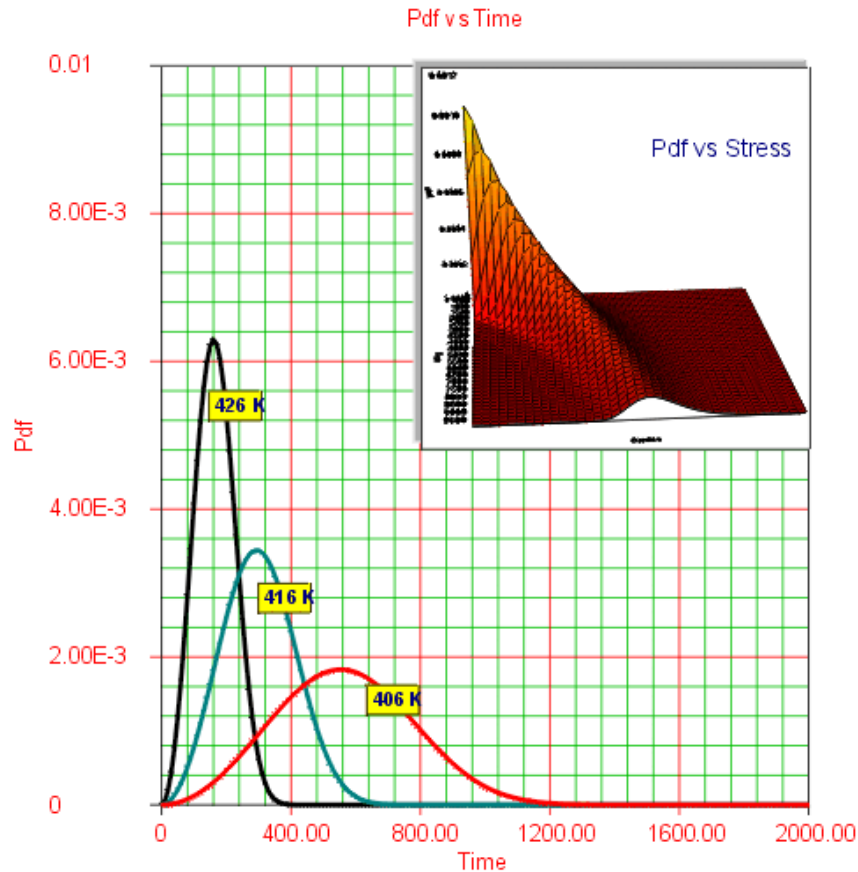


Fig. 79 – Comportamento da função de densidade em diferentes níveis de stress, mantendo os parametros constantes.

Como esperado, a função densidade de probabilidade nos níveis baixos de stress apresenta-se com uma predominância para o seu lado direito, como se estivesse esticado para esse lado.

Nos níveis elevados de stress, a forma mantém-se muito semelhante em relação aos outros níveis apesar de se revelar menos esticado.

Uma das vantagens de utilizar a Distribuição de Weibull como uma distribuição de vida é a sua flexibilidade para diferentes formas.

A expressão de **Fiabilidade da Weibull de Arrhenius** é:

$$R(T, V) = e^{-\left(\frac{T}{C \cdot e^{\frac{B}{V}}}\right)^{\beta}}$$

Caso o parâmetro ‘ β ’ seja positivo, a fiabilidade aumenta ao invés do nível de aceleração, que diminui.

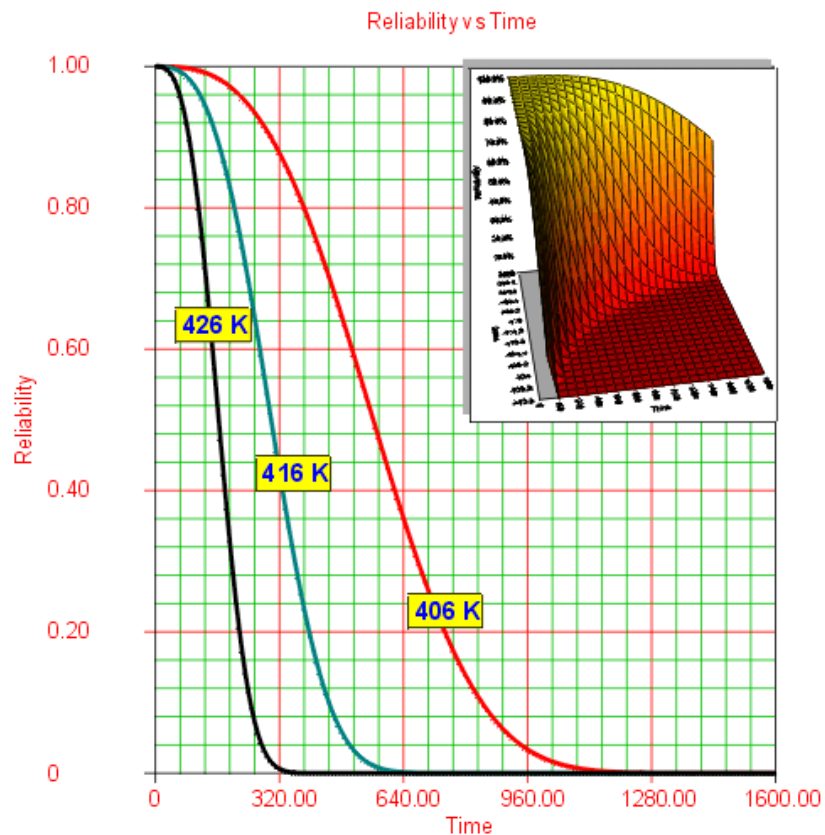


Fig. 80 – Comportamento da função de fiabilidade em diferentes níveis de stress com parâmetros constantes.

Além disso no modelo de Arrhenius-Weibull a fiabilidade é uma função das variáveis de aceleração. Para isso, torna-se necessário recorrer a um gráfico a 3D para demonstrar os efeitos dos níveis de stress e da variável ‘ β ’.

c) Modelo de Arrhenius utilizando a Distribuição Lognormal

A **função densidade de probabilidade** da distribuição lognormal é dada por:

$$f(T) = \frac{1}{T \cdot \sigma_{T'} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left\{-\frac{\left(\frac{T' - \bar{T}'}{\sigma_{T'}}\right)^2}{2}\right\}$$

Onde,

$$T' = \ln(T)$$

O modelo lognormal de Arrhenius pode ser obtido por:

$$\bar{T} = L(V) = C \cdot e^{\frac{B}{V}} = e^{\bar{T}'}$$

Logo: $\bar{T}' = \ln(C) + \frac{B}{V}$

Substituindo T' na expressão de função de densidade de probabilidade fica:

$$f(T, V) = \frac{1}{T \cdot \sigma_{T'} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{T' - \ln(C) - \frac{B}{V}}{\sigma_{T'}} \right)^2 \right]$$

Isto, assumindo que o desvio padrão é independente do stress, o que quer dizer que a forma da distribuição não se altera com o stress.

Função de **Fiabilidade da Lognormal de Arrhenius** é:

$$R(T, V) = \int_T^{\infty} f(t, V) \cdot dt$$

ou

$$R(T, V) = \int_T^{\infty} \frac{1}{t \cdot \sigma_{T'} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{t - \ln(C) - \frac{B}{V}}{\sigma_{T'}} \right)^2 \right] dt$$

Anexo 2 – Modelo de Eyring aplicado às distribuições de Weibull, Lognormal e Exponencial.

a) **Modelo de Eyring utilizando a Distribuição Exponencial**

A **função densidade de probabilidade** de falha é dada por:

$$f(t) = \lambda.e^{-\lambda.t}$$

o que corresponde ao primeiro parâmetro da distribuição exponencial.

É relativamente fácil, demonstrar que o tempo médio de vida para o primeiro parâmetro é:

$$\lambda = \frac{1}{m}$$

Substituindo no anterior temos, $f(t) = \frac{1}{m}.e^{-\frac{t}{m}}$

Sendo assim o modelo da Exponencial de Eyring pode ser obtido por:

$$m = L(V) = \frac{1}{V}.e^{-\left(\frac{A-B}{V}\right)}$$

Substituindo ‘m’ na equação anterior:

$$f(t, V) = V.e^{\left(\frac{A-B}{V}\right)}.e^{-\left(\frac{A-B}{V}\right).t}$$

A Função de **Fiabilidade Exponencial de Eyring** corresponde a:

$$R(T, V) = e^{-T.V.e^{\left(\frac{A-B}{V}\right)}}$$

b) **Modelo de Eyring utilizando a Distribuição de Weibull**

A **função de densidade de probabilidade** de falha para o segundo parâmetro da distribuição de Weibull é dado:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

O simbolo ‘ η ’ é um parâmetro de escala ou uma característica de vida da Distribuição de Weibull.

Deste modo ‘ η ’ é:

$$\eta = L(V) = \frac{1}{V} \cdot e^{-\left(\frac{A-B}{V}\right)} \Leftrightarrow \frac{1}{\eta} = V \cdot e^{\left(\frac{A-B}{V}\right)}$$

Substituindo ‘ η ’ na **função de densidade de probabilidade** de falha ficamos com,

$$f(t, V) = \beta \cdot V \cdot e^{\left(\frac{A-B}{V}\right)} \cdot \left(t \cdot V \cdot e^{\left(\frac{A-B}{V}\right)}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(t \cdot V \cdot e^{\left(\frac{A-B}{V}\right)}\right)^\beta}$$

A função de **fiabilidade de Weibull de Eyring** tem a relação de,

$$R(T, V) = e^{-\left(V \cdot T \cdot e^{\left(\frac{A-B}{V}\right)}\right)^\beta}$$

c) **Modelo de Eyring utilizando a Distribuição Lognormal**

A **função de densidade de probabilidade** de falha da Distribuição Lognormal é dado por:

$$f(T) = \frac{1}{T \cdot \sigma_{T'} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{T' - \bar{T}'}{\sigma_{T'}} \right)^2 \right]$$

O Modelo lognormal de Eyring pode então ser obtido, se considerarmos $\overset{\cup}{T} = L(V)$.

$$\text{Deste modo, } \overset{\cup}{T} = L(V) = \frac{1}{V} \cdot e^{-\left(A - \frac{B}{V}\right)}$$

$$\text{Ou } e^{\bar{T}'} = \frac{1}{V} \cdot e^{-\left(A - \frac{B}{V}\right)}$$

$$\text{Assim, } \bar{T}' = -\ln(V) - A + \frac{B}{V}$$

Substituindo a relação anterior na equação da função de distribuição de falha, temos:

$$f(T, V) = \frac{1}{T \cdot \sigma_{T'} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{T' + \ln(V) + A - \frac{B}{V}}{\sigma_{T'}} \right)^2 \right]$$

Logo a Função de **Fiabilidade da Lognormal de Eyring** será:

$$R(T, V) = \int_T^{\infty} f(t, V) dt$$

Anexo 3 – Modelo de Potência Inversa aplicado às distribuições de Weibull, Lognormal e Exponencial.

a) Modelo de Potência Inversa utilizando a Distribuição Exponencial

Este modelo pode ser derivado se tivermos em conta $m = L(V)$.

A **função da densidade de probabilidade** de falha é dada por:

$$f(t, V) = K.V^n . e^{-K.V^n .t}$$

A Função de **Fiabilidade da Exponencial da Potência Inversa** é dada por:

$$R(T, V) = e^{-T.K.V^n} \Leftrightarrow \ln[R(t_R, V)] = -K.V^n .t_R$$

b) Modelo de Potência Inversa utilizando a Distribuição de Weibull

Pode ser derivada através de $\eta = L(V)$.

Assim a **função de densidade de probabilidade** de falha é:

$$f(t, V) = \beta.K.V^n .(K.V^n .t)^{\beta-1} .e^{-(K.V^n .t)^\beta}$$

É um modelo com três parâmetros. Desta forma é mais flexível que os outros, apesar de necessitar de mais cuidados na estimativa dos parâmetros.

A Função de **Fiabilidade de Weibull da Potência Inversa** é dada por:

$$R(T, V) = e^{-(K.V^n .t)^\beta}$$

c) **Modelo de Potência Inversa utilizando a Distribuição Lognormal**

A distribuição da **função de densidade de probabilidade** de falha é dada por:

$$f(T) = \frac{1}{T \cdot \sigma_{T'} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{T' - \bar{T}'}{\sigma_{T'}} \right)^2 \right]$$

A função de **fiabilidade Lognormal da Potência Inversa** é dada por:

$$R(T, V) = \int_T^{\infty} f(t, V) \cdot dt$$

que substituindo com a relação de cima fica,

$$R(T, V) = \int_T^{\infty} \frac{1}{\sigma_{T'} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{t + \ln(K) + n \cdot \ln(V)}{\sigma_{T'}} \right)^2 \right] dt$$

Anexo 4 – Modelo de Temperatura-Humidade aplicado às distribuições de Weibull, Lognormal e Exponencial.

a) **Modelo de Temperatura e Humidade utilizando a Distribuição Exponencial**

A função densidade de probabilidade de falha é dada por,

$$f(t, V, U) = \frac{1}{A} \cdot e^{-\left(\frac{\phi}{V} + \frac{b}{U}\right)} \cdot e^{-\frac{t}{A} \cdot e^{-\left(\frac{\phi}{V} + \frac{b}{U}\right)}}$$

A função de fiabilidade exponencial do Modelo de Temperatura e Humidade será:

$$R(T, V, U) = \exp\left[-\frac{T}{A} \cdot e^{-\left(\frac{\phi}{V} + \frac{b}{U}\right)}\right]$$

b) **Modelo de Temperatura e Humidade utilizando a Distribuição de Weibull**

A função de densidade de probabilidade de falha deste modelo é:

$$f(t, V, U) = \frac{\beta}{A} \cdot e^{-\left(\frac{\phi}{V} + \frac{b}{U}\right)} \cdot \left(\frac{t}{A} \cdot e^{-\left(\frac{\phi}{V} + \frac{b}{U}\right)}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{A} \cdot e^{-\left(\frac{\phi}{V} + \frac{b}{U}\right)}\right)^\beta}$$

A função de **Fiabilidade de Weibull do Modelo de Temperatura e Humidade**:

$$R(T, V, U) = e^{-\left(\frac{t}{A} \cdot e^{-\left(\frac{\phi}{V} + \frac{b}{U}\right)}\right)^\beta}$$

c) Modelo de Temperatura e Humidade utilizando a Distribuição Lognormal

A **função de densidade de probabilidade** de falha do Modelo de T-H utilizando a Distribuição Lognormal é:

$$f(t) = \frac{1}{T \cdot \sigma_{T'} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{T' - \bar{T}'}{\sigma_{T'}}\right)^2\right]$$

Se for em função da Temperatura, da Humidade e de ‘TTF’ a relação será dada por:

$$f(T, V, U) = \frac{1}{T \cdot \sigma_{T'} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{T' - \ln(A) - \frac{\phi}{V} - \frac{b}{U}}{\sigma_{T'}}\right)^2\right]$$

A função de **fiabilidade Lognormal do Modelo de Temperatura e Humidade** é:

$$R(T, V, U) = \int_T^\infty f(t, V, U) dt \Leftrightarrow$$

$$R(T, V, U) = \int_{T'}^\infty \frac{1}{T \cdot \sigma_{T'} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{T' - \ln(A) - \frac{\phi}{V} - \frac{b}{U}}{\sigma_{T'}}\right)^2\right] dt$$

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

Anexo 5 – Declaração de Conformidade OSRAM

EC-Declaration of Conformity



Document-No.: 307/2008 1/4
Month/Year: Juli 2008
Manufacturer: OSRAM GmbH Representative:
Address: Hellabrunner Str. 1, D-81543 München
Product designation: DULUXSTAR 5,8,11,14,17,21,24W
 see attached list

The designated product(s) is (are) in conformity with the provisions of the following European Directives.

- 2006/95/EC** and amendments **Directive of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 on the harmonisation of the laws of Member States relating to electrical equipment designed for use within certain voltage limits**
- 2004/108/EC** and amendments **Directive of the European Parliament and of the Council of 15 September 2004 on the approximation of the laws of the Member States relating to electromagnetic compatibility**
- 2000/55/EC** and amendments **Directive of the European Parliament and of the Council of 18 September 2000 on energy efficiency requirements for ballasts for fluorescent lighting**
-

Further information regarding compliance with these Directives is given in the **annex** which constitutes a part of this declaration.

Place / Date: München, den 23. Juni 2008

Signatures:  
Vice President CL EU&LAMEA Hr. Haas Senior Director Marketing Hr. Schmidt

This declaration certifies compliance with the indicated Directives, but implies no warranty of properties.

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

EC-Declaration of Conformity Annex

Document-No.: 307/2008

Month/Year: Juli 2008

The conformity of the designated product(s) with the provisions of the European Directive **2006/95/EC** is given by the compliance with the following European Standard(s).

- EN 60155:** 1995+A1:1995+A2:2007 Glow-starters for fluorescent lamps
- EN 60432-1:** 2000+A1:2005 Incandescent lamps – Safety specifications – Part 1: Tungsten filament lamps for domestic and similar general lighting purposes
- EN 60432-2:** 2000+A1:2005 Incandescent lamps – Safety specifications – Part 2: Tungsten filament lamps for domestic and similar general lighting purposes
- EN 60432-3:** 2003+A1:2005 Incandescent lamps – Safety specifications – Part 3: Tungsten halogen lamps (non-vehicle)
- EN 60968:** 1990+A1:1993+A2:1999 Self-ballasted lamps for general lighting services – Safety requirements
- EN 61195:** 1999 Double-capped fluorescent lamps – Safety specifications
- EN 61199:** 1999 Single-capped fluorescent lamps – Safety specifications
- EN 61549:** 2003+A1:2005 Miscellaneous lamps
- EN 62035:** 2000+A1:2003 Discharge lamps (excluding fluorescent lamps) – Safety specifications
- IEC 62471:** 2006-07 Photobiological safety of lamps and lamp systems
- EN 60598-1:** 2004 Luminaires – Part 1 : General requirements and tests
- EN 61347-1:** 2001 Lamp controlgear – Part 1: General and safety requirements
- EN 61347-2-2:** 2001+A1:2006+A2:2006 Lamp controlgear – Part 2-2: Particular requirements for d.c. or a.c. supplied electronic step-down convertors for filament lamps
- EN 61347-2-3:** 2001+A1:2004+A2:2006 Lamp controlgear – Part 2-3: Particular requirements for a.c. supplied electronic ballasts for fluorescent lamps
- EN 61347-2-12:** 2005 Lamp controlgear – Part 2-12: Particular requirements for d.c. or a.c. supplied electronic ballasts for discharge lamps (excluding fluorescent lamps)
- EN 61347-2-13:** 2007 Lamp controlgear – Part 2-13: Particular requirements for d.c. or a.c. supplied electronic controlgear for LED modules
-
-

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

The conformity of the designated product(s) with the provisions of the European Directive **2004/108/EC** is given by the compliance with the following European Standard(s).

- EN 55015: 2006** Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of electrical lighting and similar equipment
- EN 61000-3-2: 2006** Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase)
- EN 61000-3-3: 1995+A1:2001+ A2:2005** Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-3: Limits - Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low voltage supply systems, for equipment with rated current ≤ 16 A per phase and not subjected to conditional connection
- EN 61547: 1995+A1:2000** Equipment for general lighting purposes - EMC immunity requirements
-

The conformity of the designated product(s) with the provisions of the European Directive **2000/55/EC** is given by the compliance with the following European Standard(s):

- EN 50294: 1998** Measurement method of total input power of ballast-lamp circuits

EC-Declaration of Conformity Attached list

Document-No.:

Month/Year:

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC

60901

AMENDEMENT 3
AMENDMENT 3

2004-05

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Amendement 3

**Lampes à fluorescence à culot unique –
Prescriptions de performances**

Amendment 3

**Single-capped fluorescent lamps –
Performance specifications**

*Les feuilles de cet amendement sont à insérer dans la
Publication 60901 (2001)*

*The sheets contained in this amendment are to be
inserted in Publication 60901 (2001)*

© CEI 2004 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

International Electrotechnical Commission 3, rue de Varembe Geneva, Switzerland
Telefax: +41 22 919 0300 e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE **XB**

*Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue*

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC
901

Lampes à fluorescence à culot unique –
Prescriptions de performances

Single-capped fluorescent lamps –
Performance specifications



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 901

METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

Anexo 7 – Informação técnica fornecida pela empresa OSRAM (apenas a capa e o sumário)



METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

Economical long-life light sources with plug-in bases.
Compact Fluorescent Lamps OSRAM DULUX®
Technical Guide

Contents

1	General	3
1.1	Introduction	3
1.2	The OSRAM DULUX® range	4
1.3	Economy	8
1.4	Technical design and operation	9
1.4.1	Radio interference suppression	10
1.5	What accessories are needed for OSRAM DULUX® lamps?	11
2	Lamp data	12
2.1	Geometric data	12
2.1.1	OSRAM DULUX® S	12
2.1.2	OSRAM DULUX® S/E	12
2.1.3	OSRAM DULUX® D	13
2.1.4	OSRAM DULUX® D/E	13
2.1.5	OSRAM DULUX® T	14
2.1.6	OSRAM DULUX® T/E	14
2.1.7	OSRAM DULUX® T IN	15
2.1.8	OSRAM DULUX® T/E IN	15
2.1.9	OSRAM DULUX® L	16
2.1.10	OSRAM DULUX® L SP	16
2.1.11	OSRAM DULUX® F	17
2.2	Operating modes and electrical data	18
2.2.1	Electronic operation	18
2.2.2	Inductive operation – Single lamp circuit	19
2.2.3	Inductive operation – Series circuit	20
2.2.4	Inductive operation – Lead-leg circuit	20
2.3	Photometric data	21
2.3.1	Light colours	21
2.3.2	Colour specifications	22
2.3.3	Chromaticity coordinates tolerance fields	22
2.3.4	OSRAM DULUX® - light colours	23
2.3.5	Factors affecting colour consistency	24
2.3.6	Spectral distribution	25
2.3.7	Radiation components in the ultra-violet range	25
2.3.8	Radiation components in the infra-red range	27
2.3.9	Luminous intensity distribution curves	28
2.3.10	Luminance of OSRAM DULUX® lamps	30
2.4	Lamp life and loss of luminous flux	31
2.4.1	Definitions	31
2.4.2	Maintenance, loss of luminous flux for OSRAM DULUX® lamps	32
2.4.3	Mortality curves of OSRAM DULUX® lamps	33
2.4.4	Effect of switching operations on lamp life	34
3	Circuits	35
3.1	Operation with electronic control gear (ECG)	35
3.2	Operation with conventional control gear (CCG)	35
3.2.1	Permissible lamp/CCG combinations and system data	36
3.2.2	Compensation	37
3.2.3	Operation of OSRAM DULUX® S/E, D/E und T/E with external starter and CCG	38
3.3	Operating on dc sources	39
3.3.1	Suitable OSRAM ECGs for dc operation	39
3.4	Operation with motion detectors and light sensors	40
3.5	Dimensioning of automatic circuit breakers	40
4	Operating characteristics	41
4.1	Start-up characteristics	41
4.1.1	Single circuit, inductive operation	41
4.1.2	Series circuit, inductive operation	41
4.2	Starting at low temperatures	42
4.3	Run-up behaviour	43
4.4	Operating values of the lamps as a function of mains voltage	45



METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE

Economical long-life light sources with plug-in bases.
Compact Fluorescent Lamps OSRAM DULUX®
Technical Guide

Contents

4.5	Operating values of the lamps as a function of ambient temperature	46
4.6	Luminous flux as a function of temperature and burning position	47
4.6.1	Luminous flux/temperature curves for OSRAM DULUX® lamps in general	47
4.6.2	Luminous flux/temperature curves for OSRAM DULUX® IN lamps for indoor lighting	48
4.6.3	Luminous flux/temperature curves for OSRAM DULUX® L SP for outdoor lighting	48
4.6.4	Operation at high temperatures	49
4.6.5	Operation at low temperature	49
4.7	Dimming	50
4.7.1	Dimming of OSRAM DULUX® .../E IN amalgam lamps	50
4.8	Lamp temperature and limit values	51
4.8.1	Maximal temperatures for OSRAM DULUX® lamps	52
5	Data for control gear manufacturers	53
5.1	Electronic operation	53
5.1.1	Preheating (ECG operation)	53
5.1.1	Preheating (ECG operation) continued	54
5.1.2	Starting (ECG operation)	55
5.1.3	Operating data for undimmed lamps	56
5.1.4	Dimming	57
5.2	Conventional operation	60
5.2.1	Conventional operation 220 V, 230 V and 240 V/50 Hz	60
5.3	Electrical data for the filaments	61
6	Accessories	62
6.1	Bases and lampholders	62
6.2	Lamp supports	63
6.3	Starters	64
7	Measuring OSRAM DULUX® compact fluorescent lamps	65
7.1	Burning in the lamps	65
7.2	Burning position	65
7.3	Constant photometric value	66
7.4	Electrical measurements	66
7.5	Temperature measurements	66
7.5.1	Ambient temperature	67
7.5.2	Cold spot temperature for amalgam-free lamps	67
7.5.3	Measuring amalgam lamps	67
7.6	Reference lamps	67
8	OSRAM DULUX® and the environment	68
8.1	Contents	68
8.2	Waste disposal	68
9	European and international standards	69
9.1	Relevant standards	69
9.1.1	Lamps and caps	69
9.1.2	Accessories	69
9.1.3	Luminaire	70
9.1.4	Miscellaneous	72
9.1.5	Sources	72
9.2	Declaration of Conformity	73
9.3	CE labelling	74
9.4	Energy Efficiency Index	74
10	Manufacturers of accessories	75
10.1	Manufacturers of lampholders	75
10.2	Manufacturers of control gear	75
10.3	ECG manufacturers DC/emergency operation	78



METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS E EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA NA ÁREA DE FIABILIDADE