



## 15° Congresso de Iniciação Científica

### ESTUDO DO TESTE ACELERADO DE RELES COM CONTROLE INDIVIDUALIZADO DE TEMPERATURA

#### Autor(es)

---

MAIRA MORILLA CAMARGO

#### Orientador(es)

---

Álvaro José Abackerli

#### Apoio Financeiro

---

PIBIC

#### 1. Introdução

---

A confiabilidade dos produtos é questionada pelos consumidores, fazendo com que as empresas se preocupem mais com os estudos sobre o assunto. Contando que alguns produtos apresentam problemas de desempenho durante o prazo de garantia, é necessária avaliação da sua vida útil, com ferramentas eficazes para o desenvolvimento e otimização dos mesmos. Esses estudos podem ser realizados por meio da estimação de sua taxa de falha e vida útil esperada.

Por meio dos testes acelerados de vida obtêm tais estimativas. A aceleração dos testes de vida é obtida com alterações das condições em que os testes são realizados, apressando o aparecimento das falhas. A aceleração das falhas é feita usando sobrecargas, chamadas de estresse. Quando se submete um componente a estresse ele aumenta a solicitação sobre ele em uma ou mais variáveis que influenciam sua vida. Os níveis de estresse são maiores que as condições consideradas normais de uso e, conseqüentemente, interferem no seu tempo de vida.

Os resultados destes testes corretamente modelados e analisados, informam o rendimento, a vida do produto ou o seu desempenho em uso normal.

A realização do teste necessita de um planejamento, pois podem ocorrer erros no procedimento capazes de invalidar os testes e os resultados. Segundo Nelson (1990), este planejamento é determinado por meio de uma comparação dos valores da variância em diferentes tipos de planos de teste; identificando assim um plano que resulta em dados melhores.

#### 2. Objetivos

---

Objetivo deste trabalho é realizar ensaios em relés eletromagnéticos com estresse na temperatura, usando monitoramento individualizado de temperatura para cada relé.

### 3. Desenvolvimento

---

As características dos testes foram determinadas em função das condições nominais de uso do componente testado. O componente é um relé usado no comando de máquinas e equipamentos industriais. Sua aplicação vai desde os painéis clássicos de controle até as mais modernas interfaces entre os microprocessadores, contidos nos controladores lógicos programáveis (CLP), controles numéricos computadorizados (CNC), além de circuitos de potência.

Os ensaios acelerados foram executados em um banco de testes especialmente construído para simular o uso de forma acelerada do produto no campo (SASSERON, 2005). O banco consiste de duas partes, a primeira que contém a câmara onde se encontram os componentes necessários para a realização dos testes e a segunda que consiste de dois computadores com controladores específicos que comandam, controlam, registram e armazenam as informações geradas durante os testes.

A câmara dos componentes é dividida em duas partes; um primeiro compartimento que é revestido com lâmina cerâmica onde são encontrados os relés, sensores para monitoração individual de temperatura, o aquecedor que mantém a temperatura ambiente constante e um sensor monitorando o valor da temperatura. Na parte inferior da câmara, é localizada a fonte de alimentação de tensão, um relé de estado sólido que controla o aquecedor da câmara superior, os módulos do CLP (Controlador Lógico Programável) e as resistências de carga que se situam na parte traseira da câmara.

Nos testes é avaliada a vida dos relés sobre condições de estresse em temperatura, definindo-se para isso o uso da corrente e da tensão constante, nominalmente igual aos valores de 24 V e 5 A (OMRON, 1990). Os relés são submetidos a ciclos de liga-desliga até o aparecimento da falha – aberto/fechado – registrada pelos computadores. Mediante a falha de um relé são registrados o tipo de falha e o número de ciclos executados, seguindo-se a interrupção dos testes para eventual retirada do componente. Na realização de um ensaio acelerado, a especificação adequada de alguns elementos determinará o sucesso do experimento. Segundo Nelson (1990), o planejamento de teste permite avaliar a exatidão (erros padrões) dos planos e dá a orientação sobre como encontrar o plano mais adequado para os testes. Os mais utilizados são os planos tradicionais, planos ótimos e os planos de compromisso. Segundo os cálculos da variância realizados foi adotado o plano ótimo para esse teste, definindo a proporção de 16 relés para o nível mais baixo, de valor igual a 65°C, 8 relés para o nível intermediário de valor 75°C e 4 relés no nível alto de 85°C. Justificando essa escolha com os valores das variâncias que para este caso atinge o valor de 0,25. Os outros planos, como podem ser visto na Tabela 1, apresentam maior índice de variação nos resultados.

A censura adotada para esse plano foi determinada a partir do tempo disponível para os testes, definindo assim censura do tipo I. Executando o teste 8 horas por dia e que no mínimo os relés realizem 1 milhão de ciclos, para o teste será necessário 4, 2 e 1 mês para os lotes 1, 2 e 3 respectivamente. Assim a censura adotada terá esse tempo determinado, esperando que já tenha alcançado uma porcentagem de falhas considerável para realizar a análise de vida.

### 4. Resultados

---

A realização e a forma de análise dos tempos acelerados de falha podem ser verificadas na Figura 1. A partir deste procedimento são obtidos os resultados dos testes, ou seja, os tempos de falhas, em função de cada carga de estresse. Estes tempos são analisados segundo um roteiro elaborado, para facilitar os estudos, baseados em PAPA (2007), NELSON (1997) e FREITAS E COLOSIMO (1997). Estas etapas permitem conhecer o tempo médio de falha esperado do produto nas condições normais de uso, e, portanto a sua vida útil. Para a realização dos ensaios foi verificado o comportamento das temperaturas por meio de um pré-teste com uma amostra de relés, que foram submetidos inicialmente a temperatura de 65°C até os sensores registrarem um valor supostamente constante e depois os relés foram submetidos aos três níveis de estresse. O segundo teste foi realizado com 16 relés que foram colocados para funcionar num determinado tempo, de 100 ciclos, com cada valor do nível de estresse definido anteriormente. Os dados

obtidos no primeiro teste permitiram analisar a temperatura antecipadamente, estimando assim, o tempo de espera para atingir uma temperatura constante durante os testes. Como existe uma expectativa de variação nas temperaturas, foram feitas análises estatísticas de modo a caracterizar seus valores médios e as variabilidades observadas no decorrer dos testes. Os resultados mostram que as médias da temperatura em cada nível de estresse é estatisticamente diferente da outra, não se podendo utilizar um único valor para representá-las no modelo de relacionamento estudado anteriormente. Uma alternativa, muito simples perante a engenharia, é a utilização de um ventilador de pequeno porte dentro da câmara de teste, deixando assim uma temperatura interna uniforme. Como essa solução é simples, pode-se considerar que os reles se comportarão de uma forma semelhante. Por esse motivo, será considerado uma média das temperaturas dos reles para utilizar como temperatura de teste. A análise do ensaio acelerado é realizada por meio de amostras de componentes a serem testados, colocados em condições específicas de testes, chamadas de carga de estresse. Deste procedimento são obtidos os tempos acelerados de falhas para cada amostra, em função de cada carga de estresse. Estes tempos de falhas são modelados por uma mesma distribuição de probabilidade que usada em um modelo de relacionamento para extrapolar os tempos acelerados para as condições normais de uso por meio de uma regressão. Os dados do teste correspondem às informações do produto, no caso do rele eletromagnético, são obtidos as temperaturas de falha, quantos ciclos ele realizou e se o dado é censurado ou não. Os valores utilizados foram estimados para representar um conjunto de dados aleatórios que são considerados como as estimativas da vida do produto, e serão utilizados para simular uma análise do ensaio acelerado, obtendo resultados estimados da vida do produto caso estes dados fossem reais. Essa rotina foi elaborada com base nos resultados de Sasseron (2005), usando seus resultados e considerando a nossa expectativa de que dados com estresse em temperatura se modelam pela distribuição Weibull. Foi gerado um conjunto de dados com essa distribuição e com fator de extrapolação  $x=1,5$ , considerando que são dados não censurados, ou seja, considera que todos os elementos são dados de falhas de um relé. Os valores estimados para as temperaturas foram baseados nos testes feitos anteriormente para verificar seu comportamento durante os testes. Determinou-se a média das temperaturas de cada rele, obtendo-se um valor de temperatura para a falha. Estimou-se valores para 4 níveis de estresse, considerando o primeiro nível de 55°C para comparação com os demais níveis, já que esse não possui estresse. Os resultados estimados para 4 níveis de estresse, Tabela 2, serão utilizados para simular uma análise do ensaio acelerado, obtendo resultados estimados da vida do produto caso estes dados fossem reais.

A primeira fase da Figura 1 consiste na análise preliminar dos dados obtidos no ensaio acelerado. Seu objetivo é verificar a existência de eventuais problemas nos dados que possam ser observados graficamente. Para isso é construído um gráfico de dispersão com pontos que permitem a constatação de erros grosseiros ou a existência de dados com valores muito diferentes da grande maioria. A segunda etapa utiliza o estimador não paramétrico de Kaplan-Meier, para estimar a função de sobrevivência a partir dos dados amostrais. Este estimador permite a estimação da função de sobrevivência na presença de dados censurados, sendo, portanto, útil para ensaios acelerados. A terceira etapa consiste na construção de um gráfico da função de confiabilidade linearizada para cada uma das possíveis distribuições de probabilidade que eventualmente modelem os dados acelerados. (COLOSIMO e GIOLO, 2006) A quarta etapa define-se como o ajuste do modelo de regressão. Para isso, a parte probabilística do modelo é assumida como uma das distribuições de probabilidade identificadas acima e a parte determinística do modelo é dada pela relação estresse/resposta, que segundo Nelson (2004), deve ser a relação Arrhenius, quando a variável de estresse utilizada é a temperatura. Desta forma, entre os modelos disponíveis para este estudo estão o Arrhenius -exponencial, Arrhenius -Weibull e Arrhenius -log normal. A quinta etapa utilizou-se o método gráfico de análise dos resíduos para confirmação do resultado gráfico. Esta análise possui o mesmo procedimento para obter o gráfico de linearização das distribuições propostas, porém, considerando os resíduos e não os tempos de falha. A sexta etapa usa o modelo de regressão para obter os valores dos tempos médios de falha, medianas, percentis, entre outras estatísticas de interesse, para condições normais de uso. São obtidas as estimativas  $t_{90}$ , que representa o tempo em que 90% dos produtos não falharão; ou mediana, que representa o tempo para que 50% dos produtos ainda sobrevivam e  $t_{50}$ , que representa o tempo médio de falha dos produtos.

## 5. Considerações Finais

---

O estudo de ensaios acelerados consiste em procedimentos experimentais para encontrar os tempos de vida do produto, esses procedimentos experimentais envolvem medições, e necessitam de um planejamento aprimorado para a base de decisões perante os testes. O produto testado neste ensaio foi um relé eletromagnético, para o qual se considerou um modo de falha. Utilizou-se o modelo de regressão Arrhenius – Weibull. O teste de ensaio acelerado foi realizado com estresse de 85°C, em 4 reles, que foram colocados no banco de ensaios aleatoriamente, durou 26 semanas e não houve falhas dos reles neste período. Por não haver resultados suficientes, estimaram-se dados de falhas para os reles que permitiram concluir as etapas da análise de vida. Os dados simulados foram gerados por meio de um software estatístico R® e considerados reais para realizar as etapas convencionais de uma análise de vida. Essa análise foi dividida em 6 etapas que compreendem em uma análise preliminar dos dados por meio de um gráfico de dispersão, permitindo analisar os erros grosseiros dos resultados; na estimação da função de sobrevivência utilizando o estimador de Kaplan-Meier; na construção do gráfico da função de confiabilidade para cada distribuição de probabilidade modelando os resultados do teste acelerado; na construção de gráficos de confiabilidade para cada nível de estresse, que permitiu verificar a dispersão dos resultados; a utilização do gráfico de análise dos resíduos para a confirmação do resultado gráfico anterior; e por último foi encontrado as estimativas para a vida do relé eletromagnético. A análise correspondente deste trabalho pode ser utilizada para a análise de dados reais de teste de vida acelerado, que possuem estresse em temperatura e distribuição Arrhenius-Weibull. Quando utilizado outro tipo de estresse é necessário a utilização de modelos de relacionamento mais adequados e também podem apresentar outro tipo de distribuição de probabilidade.

## Referências Bibliográficas

---

- SASSERON, P. L. **Estudo experimental do ensaio acelerado de vida de relés com estresse de corrente**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção – PPGEP/UNIMEP. Santa Bárbara d'Oeste – SP. Março 2005.
- OMRON Corporation, **Relay User's Guide**, Kyoto, Japan, 1990.
- NELSON, W. **Accelerated Testing: Statistical models, test plans and data analyses**. New York. Wiley. 1990.
- COLOSIMO, E. A; GIOLO, S.R, **Análise de sobrevivência aplicada**. São Paulo. Edgard Blucher, 2006.
- PAPA, Maria Célia de Oliveira Papa. **Estudo do efeito das incertezas na variável de estresse em modelos de relacionamento estresse/resposta**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste, 2006.
- FREITAS, M.F.; COLOSIMO, E.A., **Confiabilidade: Análise de Tempo de Falha e Testes de Vida Acelerados**. Belo Horizonte, Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, Serie Ferramentas da Qualidade, vol. 12, 1997.
- COLOSIMO, E. A; GIOLO, S.R, **Análise de sobrevivência aplicada**. São Paulo. Edgard Blucher, 2006.

## Anexos

---

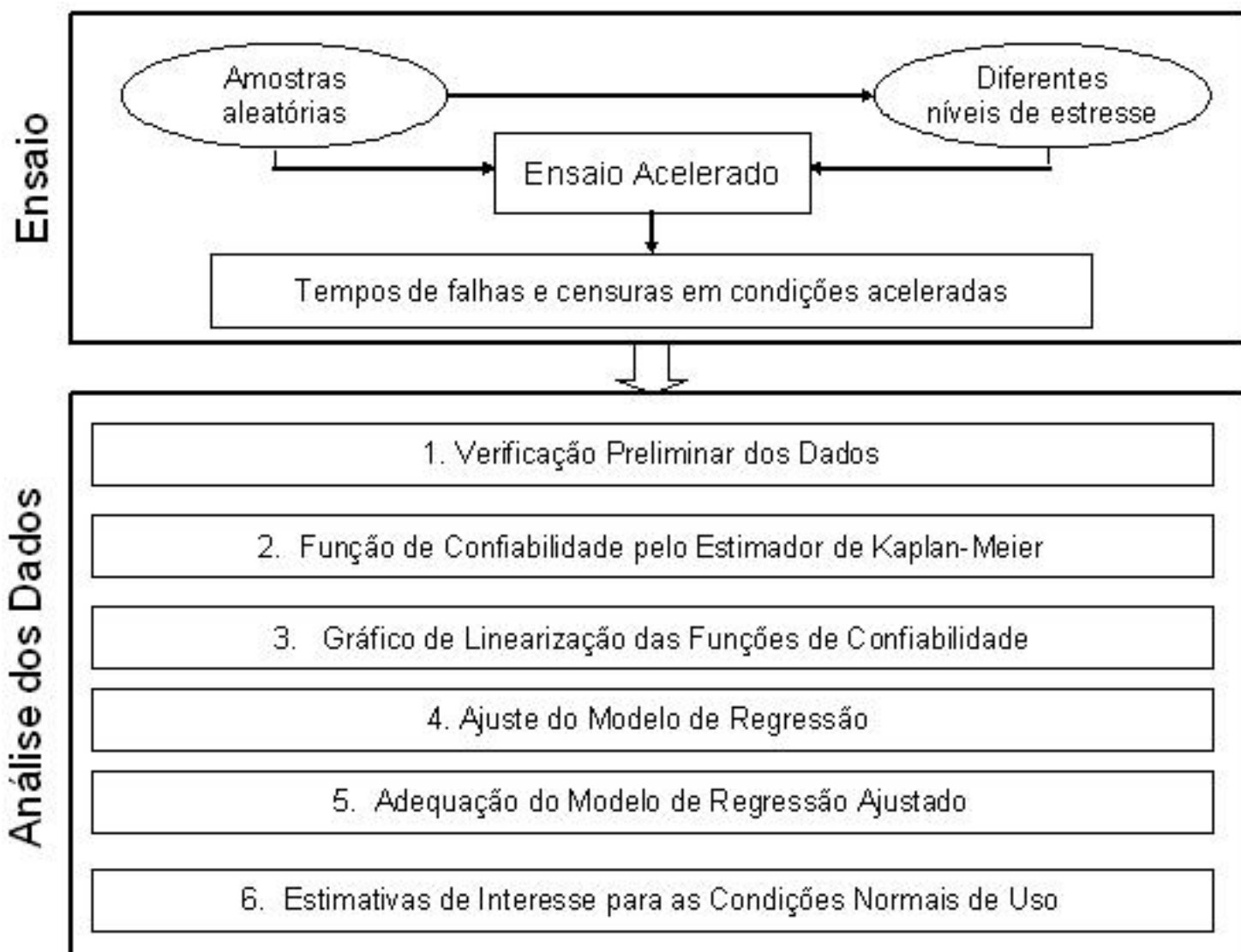


Figura 1: Visão geral de um ensaio acelerado.  
 Fonte: PAPA, (2007)

Tabela 1: Resultado das variâncias com o uso do desvio padrão.

	$\sigma^2$	$\sigma$
$\text{Var}^*[\text{Log}(m(x_0))] =$	0,063	0,250097
$\text{Var}_2[\text{Log}(m(x_0))] =$	0,093	0,304723
$\text{Var}_3[\text{Log}(m(x_0))] =$	0,124	0,352321
$\text{Var}_4[\text{Log}(m(x_0))] =$	0,143	0,378014

Tabela 2: Estimativas de vida de um ensaio acelerado

<b>Nivel 1: Temp. 55°C</b>			
<b>N</b>	<b>Temp. falha</b>	<b>Falhas</b>	<b>Censuras</b>
1	48,90	9986373	1
2	48,94	2202392	1
3	49,83	3633433	1
4	50,06	2592633	1
5	50,09	2748572	1
6	50,23	4948240	1
7	50,92	1611950	1
8	51,12	8426279	1
9	52,02	5363631	1
10	52,61	1526427	1
11	53,03	31416342	1
12	54,17	7023288	1
13	54,52	5446529	1
14	57,32	6246485	1
15	59,55	5757026	1
16	62,43	5468529	1

<b>Nivel 1: Temp. 65°C</b>			
<b>N</b>	<b>Temp. falha</b>	<b>Falhas</b>	<b>Censuras</b>
1	65	210703	1
2	64	236338	1
3	61	242305	1
4	65	449846	1
5	64	464999	1
6	67	482693	1
7	72	635391	1
8	81	886194	1
9	85	892297	1
10	99	985261	1
11	91	1269897	1
12	85	1664473	1
13	78	1958630	1
14	70	2016333	1
15	65	2219737	1
16	71	2838461	1

<b>Nivel 2: Te</b>		
<b>N</b>	<b>Temp. falha</b>	<b>F</b>
1	72	5
2	68	1
3	71	1
4	79	1
5	92	1
6	97	2
7	84	2
8	72	3

<b>Nivel 3: Te</b>		
<b>N</b>	<b>Temp. falha</b>	<b>F</b>
1	70	5
2	88	1
3	94	1
4	82	1