

SP 23/10/81

NT 074/81

## Análise de Confiabilidade

**Ivan Kiyantza****Sérgio Mauro de S. S. Filho****José Otávio Proença Soares**

Objetivo

Sua aplicação diz respeito a componentes, equipamentos e sistemas.

Definir parâmetros quantitativos com o intuito de medir tempo médio entre falhas e tempo médio para reparo (dimensionar a equipe de manutenção) e aquilatar a qualidade mediante a medida de eficácia (probabilidade do componente, equipamento ou sistema estar operacional).

Taxa de Falha

De um componente

Durante um tempo  $t$  de observação foram anotadas  $m$  falhas de um determinado componente. Defini-se taxa de falha  $\lambda$  desse componente

Como:  $\lambda = \frac{m}{t}$

Evidentemente, para se determinar com segurança a taxa de falha, o tempo  $t$  deverá ser escolhido convenientemente e o teste deverá ser feito em um número razoável de componentes semelhantes. Obtemos desta forma, a taxa média de falha do componente em análise. Somente para utilização neste texto, denominaremos este parâmetro simplesmente por taxa de falha e representaremos por  $\lambda$ .

De um módulo

Entendemos por um módulo um agregado de componentes semelhantes.

Seja o módulo abaixo:

1
2
3
4
n - 1
n

Onde  $i = 1, 2, 3, 4, \dots, n - 1, n$  são componentes semelhantes com taxa de falha  $\lambda$  componente

A taxa de falha do módulo será:

$\lambda_{\text{módulo}} = n \cdot \lambda_{\text{componente}}$

De um equipamento

Entendemos por equipamento um agregado de módulos.

Seja o equipamento abaixo:

1	2	3	4	5		p - 1	p
---	---	---	---	---	--	-------	---

Onde j = 1,2,3,4,5,....., p - 1, p são os módulos (deferentes ou não) que compõem o equipamento.

Sejam as taxas de falhas dos módulos:

$\lambda_1$  para o módulo 1

$\lambda_2$  para o módulo 2

$\lambda_p$  para o módulo p

A taxa de falha do equipamento será:

$$\lambda_{\text{equipamento}} = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \dots + \lambda_p$$

ou seja,

$$\lambda_{\text{equipamento}} = \sum_{j=1}^p \lambda_j$$

Explicitando componentes e módulos:

| → módulos

		1	2	3	4	5		p
Compo nentes  ↓	1	1	1	1	1	1		1
	2	2	2	2	2	2		2
	3	3	3	3	3	3		3
	4	4	4	4	4	4		4
	n	n1	n2	n3	n4	n5		np

Onde:

Módulo 1 - n1 componentes com taxa de falha  $\lambda_{c1}$

Módulo 2 - n2 componentes com taxa de falha  $\lambda_{c2}$

Módulo 3 - n3 componentes com taxa de falha  $\lambda_{c3}$

Módulo 4 - n4 componentes com taxa de falha  $\lambda_{c4}$

Módulo p - np componentes com taxa de falha  $\lambda_{cp}$

A taxa de falha do equipamento será:

$$\lambda_{\text{equipamento}} = \sum_{j=1}^p n_j \lambda_{c_j}$$

De um sistema

Entendemos por sistema um agregado de equipamentos.  
De forma análoga ao tópico anterior, a taxa de falha será:

$$\lambda = \sum_{i=1}^k n_i \lambda_i$$

onde:

$i$  = tipo de equipamento do sistema

$n_i$  = número de equipamento tipo  $i$

$\lambda_i$  = taxa de falha dos equipamentos tipo  $i$

$\lambda$  = taxa de falha do sistema

MTBF (mean time between failures)

Entendemos por MTBF o tempo médio entre falhas definido por:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

onde  $\lambda$  é a taxa de falha

MTTR (mean time to repair)

Entendemos por MTTR o tempo médio de reparo de um componente, equipamento ou sistema.

De um componente

Durante um tempo  $t$  de observação foram detectadas  $m$  falhas de um determinado componente.

As falhas, em ordem seqüencial, requerem os tempos abaixo para serem sanadas:

Falha 1       $\beta_1$

Falha 2       $\beta_2$

Falha 3       $\beta_3$

Falha  $m$        $\beta_m$

Define-se como tempo médio de reparo desse componente a média aritmética dos tempos  $\beta_i$  de reparo:

$$\beta = (\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \dots + \beta_m) / m$$

ou seja,

$$\beta = \left( \sum_{i=1}^m \beta_i \right) / m$$

De um módulo

Muito embora a taxa de falha de um módulo aumente linearmente com o número de componentes (vide tópico 2.2) o tempo médio de reparo permanece inalterado, visto serem todos os componentes semelhantes.

$$\beta \text{ módulo} = \beta \text{ componente}$$

De um equipamento

O tempo médio de reparo de um equipamento é definido como uma média ponderada entre os tempos médios de reparo dos módulos que o compõe, tendo como fatores de ponderação as taxas dos diversos módulos.

De posse das definições do tópico temos:

Módulo	Número de componentes	Taxa de falha do componente	Tempo médio de reparo	Taxa de falha do módulo
1	n1	$\lambda c1$	$\beta1$	$\lambda1$
2	n2	$\lambda c2$	$\beta2$	$\lambda2$
3	n3	$\lambda c3$	$\beta3$	$\lambda3$
4	n4	$\lambda c4$	$\beta4$	$\lambda4$
p	np	$\lambda cp$	$\beta p$	$\lambda p$

Logo, pela definição, temos:

$$\beta \text{ equipamentos} = \frac{n1 \lambda c1 \beta1 + n2 \lambda c2 \beta2 + \dots + np \lambda cp \beta p}{n1 \lambda c1 + n2 \lambda c2 + \dots + np \lambda cp}$$

baseado nos componentes,  
ou

$$\beta \text{ equipamento} = \frac{\lambda1 \beta1 + \lambda2 \beta2 + \dots + \lambda p \beta p}{\lambda1 + \lambda2 + \dots + \lambda p}$$

baseado nos módulos.

Formalmente, tem-se:

$$\beta \text{ equipamento} = \frac{\sum_{j=1}^p (nj \lambda cj \beta j)}{\sum_{j=1}^p (nj \lambda c1)} \quad \text{para os componentes}$$

ou

$$\beta_{\text{equipamento}} = \frac{\sum_{j=1}^p \lambda_j \beta_j}{\sum_{j=1}^p \lambda_j} \quad \text{para os módulos.}$$

De um sistema

De forma análoga ao tópico anterior, temos o tempo médio de reparo para um sistema expresso por:

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^k n_i \lambda_i \beta_i}{\sum_{i=1}^k n_i \lambda_i}$$

onde:

$i$  = tipo de equipamento do sistema

$n_i$  = número de equipamentos tipo  $i$

$\lambda_i$  = taxa de falha dos equipamentos tipo  $i$

$\beta_i$  = tempo médio de reparo dos equipamentos tipo  $i$

$\beta$  = tempo médio de reparo do sistema

Eficácia

Define-se eficácia como a disponibilidade operacional, no tempo, do componente, equipamento ou sistema.

Por exemplo, dizer que a eficácia de um equipamento é de 95% significa que, em média, o equipamento estará não operacional apenas 5% do seu tempo normal de operação.

Temos, então:

$$\pi = \frac{MTBF - MTTR}{MTBF}$$

Ou ainda,

$$\pi = 1 - \frac{MTTR}{MTBF}$$

Onde:

MTBF - tempo médio entre falhas

MTTR - tempo médio de reparo

Ilustração

Utilizaremos como sistema a sub-área 23 do projeto Semco composto de três diferentes tipos de equipamentos, a saber:

- MCL, módulo de controle local
- MDV, módulo de detecção de veículos
- UTR, unidade de transmissão remota

Definiremos que o sistema "sub-área 23" está em falha quando qualquer de seus equipamentos está em falha.

Este sistema contém:

Equipamento	Número de equipamentos	MTBF (horas)	MTTR (horas)
MCL	14	4.400	6.0
MDV	15	5.400	4.0
UTR	14	17.400	4.0

Vamos, então calcular o MTBF, MTTR e a eficácia desse sistema.

Podemos calcular as taxas de falhas por:

$$\lambda = \frac{1}{\text{MTBF}}$$

Ficamos com:

Equipamento	Número de reparos	MTBF (horas)	Taxa de falha - 6 - 1 (10 . horas )	MTTR (horas)
MCL	14	4.400	227.27	6.0
MDV	15	5.400	185.18	4.0
UTR	14	17.400	57.47	4.0

A taxa de falhas do sistema será:

$$\lambda = \sum_{i=1}^3 n_i \lambda_i$$

ou seja,

$$\lambda = n_1 \lambda_1 + n_2 \lambda_2 + n_3 \lambda_3$$

Numericamente fica:

$$\lambda = (14 \times 227.27 + 15 \times 185.18 + 14 \times 57.47) \times 10^{-6}$$

$$\lambda = 6764.19 \times 10^{-6} \text{ falhas/hora}$$

$$\text{MTBF} = 147.8 \text{ horas}$$

O MTTR será calculado por:

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^3 n_i \lambda_i \beta_i}{\sum_{i=1}^3 n_i \lambda_i}$$

ou seja,

$$MTTR = \frac{n_1 \lambda_1 \beta_1 + n_2 \lambda_2 \beta_2 + n_3 \lambda_3 \beta_3}{n_1 \lambda_1 + n_2 \lambda_2 + n_3 \lambda_3}$$

Numericamente, temos:

$$MTTR = \frac{(14 \times 227.27 \times 6.0 + 15 \times 185.18 \times 4.0 + 14 \times 57.47 \times 4.0) \times 10^{-6}}{(14 \times 227.27 + 15 \times 185.18 + 14 \times 57.47) \times 10^{-6}}$$

$$MTTR = 4.94 \text{ horas}$$

A eficácia será dada por:

$$\eta = \frac{MTBF - MTTR}{MTBF}$$

$$\eta = \frac{147.8 - 4.94}{147.8}$$

$$\eta = 96,6\%$$

-----  
Autores:

Eng.º Ivan Kiyantza - Analista Senior  
 Eng.º Sérgio Mauro de Souza Santos Filho - Analista Técnico Jr.  
 Eng.º José Otávio Proença Soares - Analista Técnico Jr.  
 Departamento Sistema de Controle