

## Quantidade óptima económica de rotáveis

**Rui Assis**

**Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias**

**[rassis46@gmail.com](mailto:rassis46@gmail.com)**

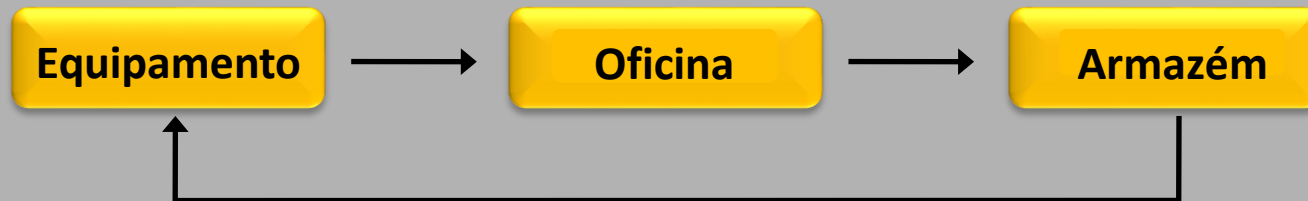
**[www.rassis.com](http://www.rassis.com)**

# Objectivos da apresentação

- Mostrar como determinar a quantidade ideal de **componentes** (ou **órgãos**) sobressalentes reparáveis (**rotáveis**), que deverão existir, de modo a evitar tempos de paragem dos equipamentos que integram aguardando a sua reparação após cada falha;
- Mostrar a utilidade da **técnica de simulação de Monte-Carlo** construído em EXCEL para modelar **casos complexos** dificilmente moduláveis ou impossíveis de modelar analiticamente;
- Proporcionar aos colegas a mesma **aplicação EXCEL** que demonstrarei seguidamente, para que possam usá-la tal qual, ou como **plataforma** para outros desenvolvimentos a seu contento.

# Componentes reparáveis ou rotáveis

Quando um componente admite várias reparações designa-se como **rotável** e segue o ciclo:



- **Exemplos:** Um pneu que é recauchutado, uma roda de comboio cujo rasto é rectificadado, o veio de uma bomba hidráulica que é cheio e rectificadado, as pastilhas gastas de um disco de embraiagem que são substituídas até que o disco também o seja,...);
- Qual deverá ser a regra de gestão de um componente **rotável** ?

# Manutibilidade dos componentes

- Muitas vezes os componentes em análise são todos do **mesmo fabricante e modelo** mas **comportam-se em falha** de forma diferente – dependendo das condições de **ambiente** e de **carga** a que estão sujeitos nos equipamentos que integram;
- Em consequência, a sua **manutibilidade** apresenta as seguintes particularidades:
  - O **número de reparações** que cada componente pode receber é limitado e específico;
  - Os seus **tempos de reparação** podem ser diferentes;
  - Os seus **Factores de Restauro (FR)** podem ser também diferentes.

# Regras de gestão de componentes não reparáveis

- Os componentes não reparáveis que falham por **modos de degradação** (maioritariamente **intrínsecos**) devem ser substituídos **preventiva e sistematicamente** com base no tempo de funcionamento decorrido desde novos, ou **preventiva e condicionalmente** quando evidenciam ter atingido limites de aceitação;
- Os componentes não reparáveis que falham por **modos casuais** (maioritariamente **extrínsecos**), têm de ser substituídos **correctivamente**;
- No primeiro caso, não se justifica manter componentes em armazém e estes devem ser adquiridos **just-in-time** nas datas calculadas pelo **algoritmo MRP** (*Materials Requirements Planning*);
- No segundo caso, deve existir uma **quantidade mínima** de sobressalentes permanentemente em armazém **just-in-case**, calculada pela distribuição de probabilidade discreta de **Poisson**.

# Apresentações minhas anteriores sobre rotáveis

## 1. Congresso de 2015:

**Quantidade ideal de componentes (ou órgãos) rotáveis a manter em *stock***

## 2. Congresso de 2017:

**Manutenção de oportunidade de um componente reparável**

## 3. Congresso de 2019:

**Análise da viabilidade económica de manter um sobressalente caro nas alternativas “reparável” e “não reparável”**

Estas comunicações encontram-se na minha *homepage* ([www.rassis.com](http://www.rassis.com)) em **Manutenção de Sistemas**

# E quantos rotáveis serão necessários?

Quando os componentes falham pelo modo predominante de **degradação** e esta pode ser revertida após uma **reparação** até um determinado **limite de vezes** e apresentando uma **duração progressivamente menor**, quantas unidades deverão existir em armazém?

- **Pelo menos 1**, pois logo que um componente falha, tem de ser substituído por um sobressalente. Entretanto, o componente falhado vai para a **oficina** para ser reparado, volta para **armazém** logo que pronto e fica a aguardar a próxima falha de um dos componentes em serviço para lhe tomar o lugar.
- Mas...e se, entretanto, um outro componente falha antes deste componente se encontrar reparado? Neste caso, uma única unidade não basta. Então, **quantas bastarão?**

# Critérios de decisão

- O **número adequado de rotáveis** de uma determinada referência que deve ser mantida em *stock* pode ser encontrado com base em **dois critérios** alternativos:
  - **Economia**, ponderando os custos de:
    - **oportunidade** em consequência da paragem de um ou mais equipamentos quando, na sequência de uma falha deste componente, um rotável não se encontra imediatamente disponível, encontrando-se ainda em reparação;
    - **posse** dos rotáveis em armazém (custo de **oportunidade** do \$ imobilizado + custo de **funcionamento e depreciação** de parte do edifício e dos equipamentos existentes).
  - **Nível de serviço**, probabilidade de dispor de um órgão rotável em qualquer momento em que este se torne necessário.



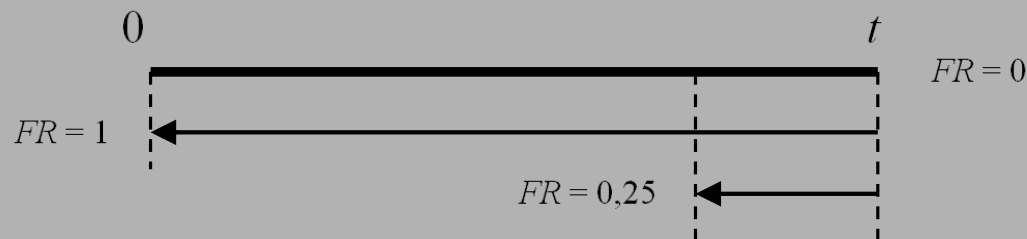
# Dados necessários para apoio à decisão

Para decidir, precisamos de conhecer de cada componente (ou órgão):

1. O seu **comportamento em falha** (frequentemente descrito pelos parâmetros de uma distribuição de probabilidade *Weibull*);
2. O **tempo de reparação** de uma falha (frequentemente descrito por uma distribuição de probabilidade LogNormal);
3. O seu **FR (Factor de Restauro)** e a respectiva (eventual) **Taxa de Progressão**.

# Factor de Restauro (Congresso de 2017)

- A existência de um **FR** traduz a progressiva diminuição da vida média útil do componente após cada reparação;
- Um **FR = 0**, significa que o componente ficou no estado em que se encontrava antes da reparação (*as bad as old*); ou seja, a sua vida recomeça com a mesma idade que tinha no momento da falha.
- Um **FR = 1**, significa que o componente voltou ao estado de novo após a reparação (ou foi substituído por outro novo) (*as good as new*); ou seja, a sua vida recomeça de zero.
- Realisticamente, o **FR** assume valores entre **0** e **1** ( $0 \leq FR \leq 1$ )



# Factor de Restauro (Congresso de 2017)

O **FR** pode ser constante após cada reparação, ou pode diminuir em **progressão geométrica** quando se lhe atribui uma **taxa de progressão (TP)**:

Exemplo

$$FR_{n+1} = FR_n \cdot (1 - TP)$$

Nº de reparações =	3
FR inicial =	0,5
Taxa progressão =	0,05

Após 1ª reparação	0,5
Após 2ª reparação	0,475
Após 3ª reparação	0,45125

A referência 2 do *slide 6* (**Congresso de Manutenção 2017**), descreve um exemplo de cálculo do **FR** e do **g**, presente na minha *homepage* ([www.rassis.com](http://www.rassis.com)) em **Manutenção de Sistemas**.

# Método de cálculo

- O cálculo da quantidade de rotáveis que deve existir permanentemente em *stock* é bastante **mais complexo** do que quando o componente (ou órgão) é **não-reparável**;
- Os métodos propostos para resolução desta natureza de problemas são na sua maioria **analíticos**, os quais pecam por serem limitados no que diz respeito à diversidade da natureza das variáveis consideradas e pelos pressupostos teóricos de que enfermam;
- O método de **simulação discreta de Monte-Carlo** constitui uma alternativa mais realista e confiável.

# Exemplo de aplicação

Num parque de máquinas existem **6 órgãos reparáveis** (C1 até C6) iguais, embora sujeitos a condições de **carga** e de **ambiente** um pouco diferentes. Pretendemos conhecer:

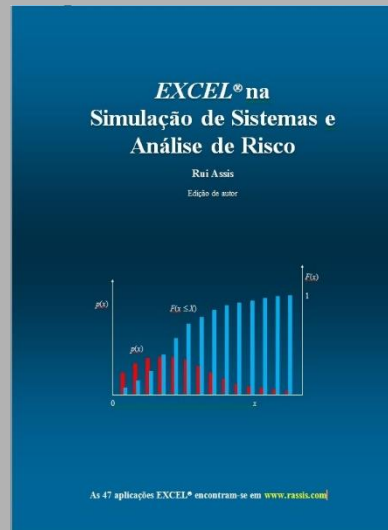
1. Para um determinado **Nível de Serviço**, qual o número adequado de rotáveis que deverão ser mantidos permanentemente em *stock*?
2. Na **perspectiva económica**, vale a pena manter unidades rotáveis? E se afirmativo, em que quantidade?
3. **Sensibilidade** das variáveis de saída (*outputs*) a variações de uma ou de várias variáveis de entrada (*inputs*).

EXCEL

# Conclusão

Mais uma vez se constata:

1. A necessidade de recorrer às **técnicas de simulação** em computador para conseguir **ultrapassar as limitações dos métodos analíticos** na modelação de problemas complexos, como os que se nos deparam em actividades da manutenção de equipamentos e instalações;
2. A excelência do **MS-EXCEL** para programar modelos de eventos discretos;
3. Livro “**EXCEL na Simulação de Sistemas e Análise de Risco**”, Rui Assis, AMAZON, 2018



# Jornadas de Manutenção - 2020

**Obrigado pela vossa atenção**

**Rui Assis**

**[rassis46@gmail.com](mailto:rassis46@gmail.com)**

**[www.rassis.com](http://www.rassis.com)**

O simulador aqui mostrado estará disponível no *site* **[www.rassis.com](http://www.rassis.com)**  
em **Manutenção de Sistemas** a partir de hoje