

## **UM MODELO PARA GESTÃO DE ITENS SOBRESSALENTES REPARÁVEIS EM UM ALMOXARIFADO DE MANUTENÇÃO**

**Danilo Gonçalves Cavalcante**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFRN  
Avenida Senador Salgado Filho, 3000, Lagoa Nova, Natal-RN  
daniloeng@hotmail.com

**André Pedro Fernandes Neto**

Universidade Federal Rural do Semi - Árido, UFERSA  
Avenida Francisco Mota, 572, Costa e Silva, Mossoró-RN  
andrepedro@ufersa.edu.br

**Luciano Ferreira**

Escola de Ciências e Tecnologia, UFRN  
Avenida Senador Salgado Filho, 3000, Lagoa Nova, Natal-RN  
ferreira@ufrnet.br

### **RESUMO**

A gestão dos gastos produtivos (custos e investimentos) exerce influência direta nas decisões empresariais de curto e longo prazo. A busca pela otimização dos recursos afeta a competitividade organizacional e representa um desafio para a gestão. Este artigo objetiva aplicar, a partir de um estudo de caso, uma ferramenta para gestão de estoque sobressalente baseado na análise de confiabilidade industrial. A estratégia para o dimensionamento do estoque foi baseada na predição de intervalos probabilísticos para falha em equipamentos. O estudo faz uso de programas computacionais para manipulação dos parâmetros de confiabilidade (software ProConf) e para geração de eventos pseudo-aleatórios (software SCILAB), necessário a validação do modelo. A análise resultou em um conjunto de cenários que envolveram as variáveis: lucro cessante, intervalo de confiança e capital imobilizado, objetivando subsidiar a tomada de decisão. O artigo foi desenvolvido em uma empresa do ramo petrolífero que atua na cidade de Mossoró - RN.

**Palavras-chave: Estoque sobressalente, Confiabilidade industrial, Capital imobilizado**

### **ABSTRACT**

The management of production expenses (costs and investments) exerts direct influence on short and long term business decisions. The search for the optimization of resources affects organizational competitiveness and represents a challenge for management. This article aims to apply, from a case study, a tool for spare stock management based on analysis of industrial reliability. The strategy for the design of the stock was based on the probabilistic intervals prediction for failure on equipments. The study makes use of computer softwares for handling the reliability parameters (ProConf) and for generating pseudo-random events (SCILAB), necessary to validate the model. The analysis resulted in a set of scenarios involving the variables: profit, confidence interval and fixed assets, in order to support decision-making. The article was developed in an oil company that operates in the town of Mossoró - RN.

**Keywords: Spare parts stock, industrial reliability, fixed assets**

## 1 Introdução

O gerenciamento dos gastos produtivos (custos e investimentos) exerce influência direta nas decisões empresariais de curto e longo prazo. A busca pela otimização dos recursos, mediante a redução do capital imobilizado, afeta a competitividade organizacional e representa um desafio para a gestão. Conforme análise do gerenciamento de recursos aplicados ao processo produtivo, os inventários representam cerca de 1/3 (um terço) de todos os ativos de uma organização típica (DIAZ e FU, 1997). Segundo Ghodrati e Kumar (2005), as empresas trabalham com estoques de diferentes tipos que necessitam ser administrados, centralizados em um almoxarifado ou distribuídos por vários pontos da empresa.

Cada tipo de estoque possui um tratamento particular com relação às políticas de dimensionamento (natureza e quantidade) dos itens a serem mantidos. Os estoques de peças sobressalente representam um caso particular da gestão de inventários e desempenham importância estratégica para a indústria (LOUIT *et al.*, 2011), sendo um importante fator para o aumento da performance e a eficácia do processo produtivo (BARABADI *et al.*, 2014). Considerando o estoque de peças sobressalentes aplicado ao processo de manutenção, a definição das quantidades adequadas a serem imobilizadas influenciam diretamente três parâmetros: o custo para gestão do estoque, o capital imobilizado e o lucro Cessante.

A gestão de partes sobressalentes apresenta características importantes que devem ser consideradas durante o processo de quantificação: a demanda dos itens é estocástica, o investimento para aquisição das partes sobressalentes é elevado e o tempo de entrega é longo. Assim, baixos níveis de estoque podem conduzir a perda de economia de escala e altos custos de falta do produtos, em contrapartida, o excesso de itens representa custos operacionais e de capital imobilizado. Estudo em companhias de negócios aéreos dos EUA relatam que os estoques sobressalentes representam valores acima de US\$ 50 Bilhões (KILPI e VEPSÄLÄINEN, 2004). Segundo (Mehrotra *et al.*, 2001), o investimento em peças de reposição pode variar de 5% a 15% dos custos totais de funcionamento.

A literatura especializada da área tem apresentado alguns modelos para dimensionamento de estoques sobressalentes com uso de confiabilidade industrial, tais como: Barabadi *et al.* (2014) dimensionou o número de brocas para perfuração em jazida de bauxita, Louit *et al.* (2011) e Mijailovic (2013) determinaram o número de transformadores sobressalentes em uma empresa de eletricidade, Wang *et al.* (2009) definiu a quantidade de motores reservas para caminhões, Ghodrati e Kumar (2005) dimensionaram o estoque sobressalente para macacos hidráulicos em uma mina na Suécia.

Em serviço, as falhas em equipamentos ocorrem aleatoriamente (SHEIKH *et al.* 1991), sendo reflexo da sua taxa de falha (MOBLEY *et al.*, 2008). Nos modelos que envolvem análise de confiabilidade, a abordagem prevê o estudo das falhas dos equipamentos (dados de entrada) com o objetivo de determinar um padrão probabilístico de ocorrências dos eventos de interesse (saída). A análise da demanda para partes sobressalentes requer a previsão das falhas dos sistemas em estudo (Tracht *et al.*, 2013), visando a melhoria da produtividade, redução da inatividade dos equipamentos e otimização dos recursos (GHODRATI e KUMAR, 2005).

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo desenvolver um modelo para dimensionar o estoque de material sobressalente, de forma a minimizar os gastos organizacionais (investimentos, custos e lucros cessantes). Outrossim, visa integrar a gestão de inventários e análise de confiabilidade industrial. Como estudo de caso, o trabalho aplica o modelo proposto ao dimensionamento de motores elétricos (equipamentos reparáveis) em uma empresa do setor petrolífero.

O artigo está organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta a abordagem teórica sobre o tema proposto. A seção 3 descreve o método de pesquisa para condução do estudo. A seção 4 apresenta os resultados obtidos com o modelo proposto e, por fim, a seção 5 está reservada para as conclusões finais e trabalhos futuros.

## 2 Confiabilidade industrial

Os estudos relacionados a análise de confiabilidade tem apresentado destaque no cenário industrial. A confiabilidade relaciona-se a probabilidade de um equipamento desempenhar sua função requerida, conforme certas condições de uso e considerando seu ambiente de operação (MOBLEY *et al.*, 2008). As análises desenvolvidas em confiabilidade podem ter natureza qualitativa ou quantitativa. A Figura 1 exemplifica algumas das diversas ferramentas aplicadas no âmbito da confiabilidade industrial.

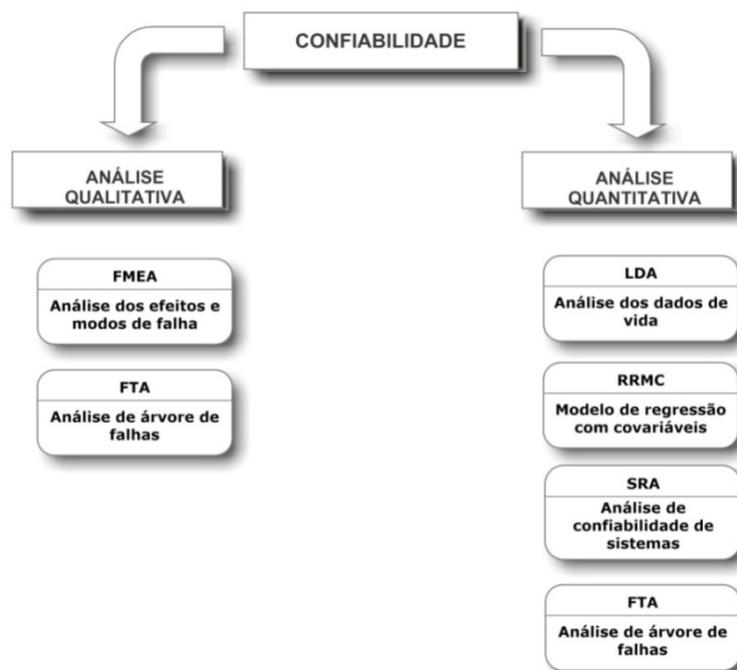


Figura 1 - Classificação dos estudos de confiabilidade

Fonte: Elaborada pelos autores

A análise de confiabilidade tem como objetivo estudar probabilisticamente as condições de um sistema (KUMAR e KLEFSJÖ, 1994). Em equipamentos mecânicos, a predição de falhas pode ser realizada de duas maneiras: (a) considerando o monitoramento de variáveis; (b) mediante a análise dos dados de falhas (GHODRATI e KUMAR, 2005). Segundo Meeker e Escobar (1998), a falha em equipamentos é o evento que marca o término da sua função requerida. As ferramentas estatísticas utilizadas nos estudos de confiabilidade são divididas em dois grupos de modelos: paramétricos e não paramétricos. Para Lawless (2003), várias famílias de modelos paramétricos são utilizadas na análise de falha. Em confiabilidade, quatro distribuições de probabilidade são frequentemente utilizadas para descrição do tempo até a falha de equipamentos: Exponencial, Weibull, Gama e Lognormal (LAWLESS, 2003).

Dentre as funções de probabilidade, a distribuição de Weibull destaca-se devido sua flexibilidade e capacidade de representar amostras de tempo até a falha com comportamentos distintos (GNEDENKO e USHAKOV, 1995). A distribuição de Weibull é apropriada para modelagem de tempo até falha apresentando funções de risco constante, estritamente crescente e estritamente decrescente (LAFRAIA, 2001). O Quadro 1 mostra as expressões matemáticas para obtenção das funções estatísticas.

Distribuição Estatística	Parâmetros		
	Função de Risco	Função densidade de Falhas	Função Confiabilidade
Exponencial	$h(t) = \lambda$	$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$	$R(t) = e^{-\lambda t}$
Lognormal	$h(t) = \frac{0,4343}{t\sigma} \frac{\varphi(z)}{1 - \Phi(z)}$	$f(t) = \frac{1}{t\sigma(2\pi)^{1/2}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma}\right)^2\right]$	$R(t) = \Phi\left[-\frac{\log(t) - \mu}{\sigma}\right]$
Gama	$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$	$f(t) = \frac{\lambda}{\Gamma(n)} (\lambda t)^{n-1} e^{-\lambda t}$ $\Gamma(n) = \int_0^{\infty} x^{n-1} e^{-x} dx$	$R(t) = 1 - \frac{1}{\Gamma(n)} \int_0^{\lambda t} x^{n-1} e^{-x} dx$
Weibull	$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^{\beta-1}$	$f(t) = \frac{\beta}{\eta^\beta} (t-t_0)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta\right]$	$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta\right]$

Quadro 1 - Distribuições estatísticas  
 Fonte: Elaborada pelos autores

Os estudos quantitativos em confiabilidade tem como requisito primário a existência de dados de falha. Os dados podem ser de dois tipo: tempo médio entre falhas (equipamento reparável) e o tempo médio para falha (equipamento não reparável). Segundo Barabadi *et al.* (2013), as informações resultantes em um modelo de confiabilidade podem ser utilizadas no cálculo do número de falhas em um período específico. Considerando que o número de falhas correspondem ao número de equipamentos que cessaram sua vida útil, os elementos sobressalentes podem ser dimensionados a partir desta premissa. A Figura 2 ilustra o comportamento típico da função taxa de falha ao longo do tempo, denominada de curva banheira.

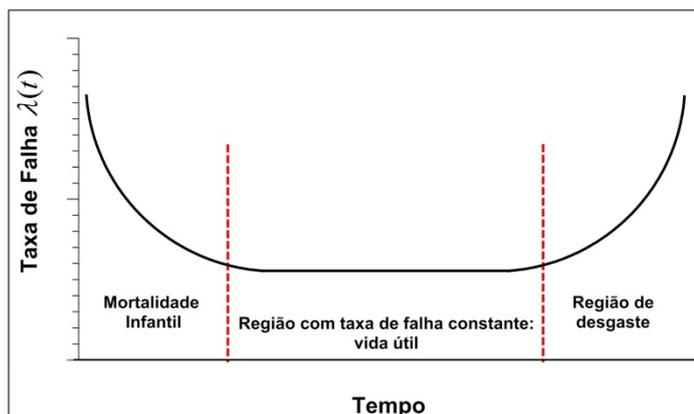


Figura 2 - Taxa de falha em função do tempo  
 Fonte: Elaborada pelos autores

A Figura 2 caracteriza três regiões distintas: mortalidade infantil, vida útil e desgaste. A primeira porção da curva banheira (mortalidade infantil) caracteriza-se por uma elevada taxa de falha, porém decrescente (PYZDEK, 2003). Na região central da curva banheira (vida útil) a taxa de falha é sensivelmente menor e relativamente constante com o tempo. Normalmente as falhas são de natureza aleatória, pouco podendo ser feito para evitá-las (LAFRAIA, 2001). A região final da curva (envelhecimento ou desgaste) é caracterizada pelo término da vida útil do equipamento, onde a taxa de falha cresce continuamente, proporcional ao tempo (PYZDEK, 2003).

Em análise de confiabilidade, a maioria dos sistemas de engenharia e manufatura são formados por diversos subsistemas (AMARI e PHAM, 2007), que podem ser representados usando redes ou diagramas de blocos de confiabilidade (KUO e PRASAD, 2000). O cálculo da confiabilidade resultante depende do arranjo dos componentes que forma o equipamento. Os sistemas são configurados em estruturas que podem ser do tipo: série, paralelo, série-paralelo e k-de-n (MOGHADDAM *et al.* 1993).

Segundo Wang *et al.* (2009), considerando o tempo de vida de um equipamento como uma variável aleatória, algumas decisões referentes as estratégias de manutenção

(gestão de inventários, periodicidade de preventivas, gestão de obsolescência) podem derivar das funções de densidade de falha e distribuição cumulativa de falha. Como fator competitivo, as organizações que adotam uma abordagem pró-ativa para a confiabilidade, buscando conhecer as condições de seus ativos, aumentam a previsibilidade para peças de reposição e reduzem o capital imobilizado (MOBLEY et al., 2008).

### 3 Descrição do caso pesquisado

O trabalho apresentado neste artigo foi realizado em uma empresa do setor petrolífero, com sede no Brasil, que atua em 25 países. A análise foi aplicada com o objetivo de dimensionar o estoque de motores elétricos para um sistema de bombeamento de fluido (óleo e água). Este equipamento foi selecionado considerando seu elevado valor de aquisição (R\$ 141.580,65) e a criticidade para o processo de produção. Os motores elétricos estudados são equipamentos reparáveis que movimentam bombas responsáveis pela transferência de petróleo e água resultantes da extração. Como os equipamentos são reparáveis, o tempo médio para conserto do item é cerca de 40 dias.

O sistema de bombeamento, no tocante as características dos equipamentos, possui 5 motores idênticos (objeto do estudo) e 2 motores com aspectos construtivos diferentes dos demais, o que os excluem da análise (motor 01 e 06). As falhas nos motores elétricos ocorrem (geralmente) em dois componentes: estator (responsável pela formação do campo magnético) e rolamento (responsável pela sustentação da parte girante). Este fato foi confirmado a partir dos registros de falhas.

O estudo foi conduzido mediante uma seqüência de etapas conforme ilustrado na Figura 3. Os dados de falha (sem censura) foram obtidos após consulta ao sistema integrado de gestão da empresa.

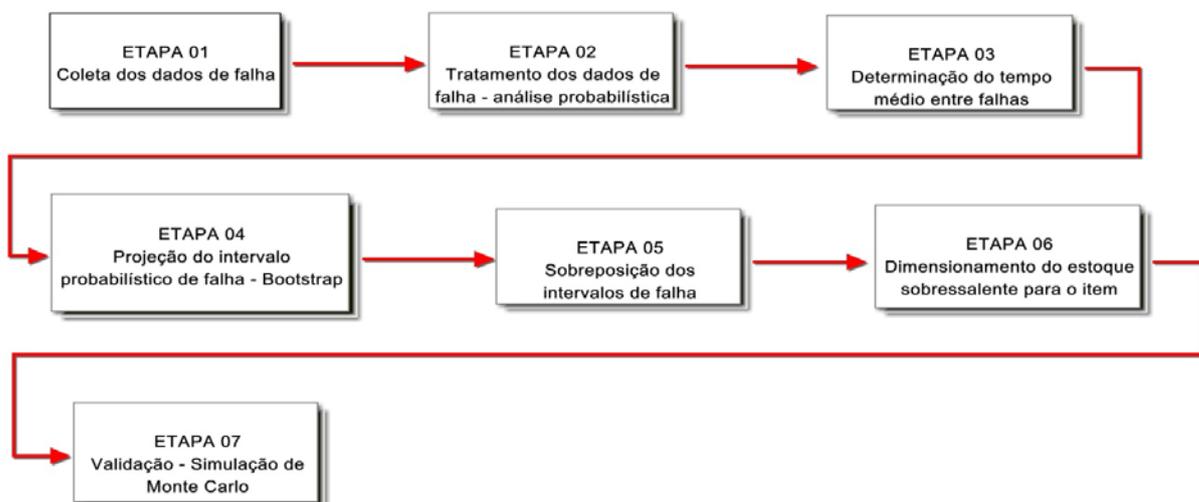


Figura 3 - Procedimento de pesquisa  
 Fonte: Elaborada pelos autores

#### 3.1 Coleta e tratamento dos dados

A pesquisa e coleta dos dados foi realizada no intervalo compreendido entre janeiro de 2005 e julho de 2012. Durante a análise dos dados foi possível quantificar o número de motores elétricos a serem imobilizados para um sistema de bombeio de fluido. Esta etapa consistiu em pesquisar as datas das últimas falhas (tempo médio entre falhas) dos motores e a causa básica do evento. O resultado gerou 15 dados completos. As falhas foram divididas em dois grupos: falhas no estator do motor (8 eventos) e falhas no rolamento (7 eventos).

A análise estatística foi realizada separadamente para cada parte que compõe o motor elétrico: estator e rolamento. Esta etapa objetivou encontrar a distribuição de probabilidade mais adequada para modelar os dados de falhas. As Tabelas 1 e 2 expõem os resultados estatísticos dos testes de aderência.

Distribuição	Teste $\chi^2$	Teste KS	Decisão
Exponencial	$\chi^2 = 15,20$	DN = 0,5385	Rejeitar
<b>Weibull</b>	<b><math>\chi^2 = 0,93</math></b>	<b>DN = 0,1179</b>	<b>Não rejeitar</b>
Lognormal	$\chi^2 = 0,30$	DN = 0,1231	Não rejeitar
Normal	$\chi^2 = 0,44$	DN = 0,1216	Não rejeitar

Tabela 1 - Resultado quantitativo teste de aderência: estator

Fonte: Elaborada pelos autores

Distribuição	Teste $\chi^2$	Teste KS	Decisão
Exponencial	$\chi^2 = 4,74$	DN = 0,4951	Rejeitar
<b>Weibull</b>	<b><math>\chi^2 = 1,19</math></b>	<b>DN = 0,16</b>	<b>Não rejeitar</b>
Gamma	$\chi^2 = 1,98$	DN = 0,163	Não rejeitar
Lognormal	$\chi^2 = 0,83$	DN = 0,1865	Não rejeitar
Normal	$\chi^2 = 0,74$	DN = 0,1623	Não rejeitar

Tabela 2 - Resultado quantitativo teste de aderência: rolamento

Fonte: Elaborada pelos autores

Como os itens analisados apresentaram poucos dados de falhas, decorrente da própria característica do equipamento, o teste de aderência indicado para escolha da distribuição de probabilidade foi Kolmogorov – Smirnov (KS). Dentre as distribuições de probabilidade analisadas, a função de Weibull apresentou melhor aderência aos dados, evidenciado pela análise quantitativa (Teste de KS) e qualitativa (papéis de probabilidade), conforme Figura 5. Dado a versatilidade do modelo Weibull, alguns estudos têm utilizado amplamente esta distribuição para análise de confiabilidade (LAWLESS, 2003), como exemplo: Reiche e Harris (1993) apresentaram um modelo para gestão de estoque sobressalente baseado na distribuição weibull.

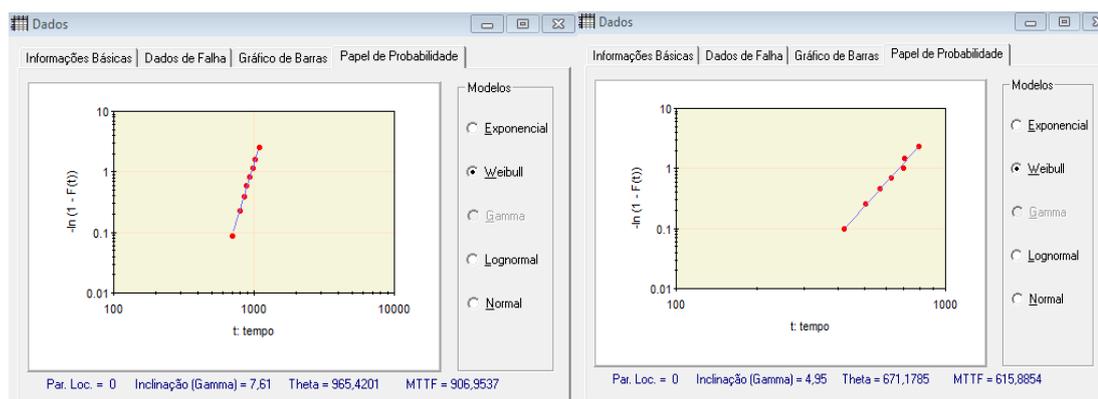


Figura 5 - Papel de probabilidade: estator e rolamento

Fonte: Elaborada pelos autores

### 3.2 Tempo médio entre falhas

A confiabilidade resultante foi calculada segundo a associação série dos componentes críticos que formam o motor elétrico (estator e rolamentos). A figura 6 ilustra a configuração do sistema.



Figura 6 - Configuração do sistema  
 Fonte: Elaborada pelos autores

Os termos  $R_1$  e  $R_2$  representam a confiabilidade do estator e rolamento. O cálculo da confiabilidade resultante é obtido a partir do produto das confiabilidades individuais, ou seja:

$$R_s = R_1 * R_2$$

A Figura 7 mostra a curva da função confiabilidade do sistema. Para análise do tempo médio entre falha, considerou-se uma confiabilidade de 52%, ou seja, um período de 596 dias (1,63 anos). O valor (confiabilidade percentual) foi fornecido pelo gestor da instalação e representa o histórico de falhas do sistema de bombeio de fluido (confiabilidade sistêmica). O percentual escolhido é corroborado pelos estudos de Ghodrati e Kumar (2005), que escolheram um percentual de 50% de confiabilidade para o dimensionamento de sobressalente.

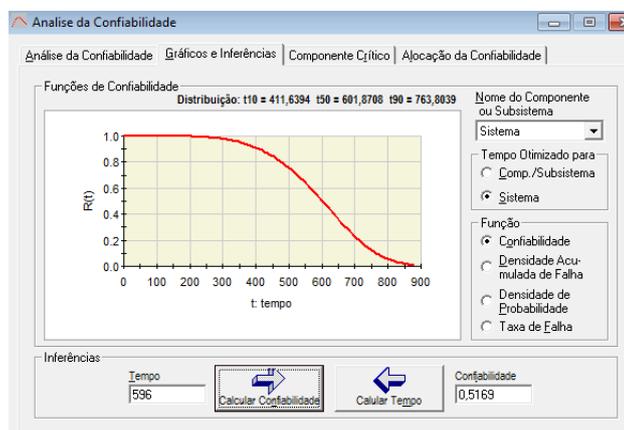


Figura 7 - Curva de confiabilidade resultante  
 Fonte: Elaborada pelos autores

### 3.3 Projeção do intervalo probabilístico de falha

O cálculo da estatística intervalar para o tempo médio entre falhas baseou-se na técnica Bootstrap. Desta forma, foram gerados 10000 números pseudo-aleatórios utilizando o software de computação numérica Scilab 5.3.3. Os números gerados foram referenciados a partir de uma semente com valor numérico igual a 37. A Tabela 3 mostra o intervalo Bootstrap obtido para um nível de confiança de 95%.

	Percentil	Posição	Valor
Inferior	97,5°	9750	247,0942
Superior	2,5°	250	-285,999

Tabela 3 – Intervalo de confiança Bootstrap

Fonte: Elaborada pelos autores

Portanto, conforme Montgomery *et al.* (2010), a quantificação dos limites será:

$$I = \theta_M - \text{percentil } 100(1 - \alpha/2) \text{ de } (\theta_M - \theta) = 349 \text{ dias}$$

$$S = \theta_M - \text{percentil } 100(\alpha/2) \text{ de } (\theta_M - \theta) = 882 \text{ dias}$$

### 3.4 Sobreposição dos intervalos de falhas

A sobreposição dos intervalos para falha objetiva quantificar a necessidade do sobressalente a serem immobilizados no estoque. Cada intervalo foi obtido considerando a data da última falha do motor, acrescido do tempo probabilístico para falha (596 dias) e o intervalo de confiança projetado. A Figura 8 detalha a formação do período, enquanto que a Figura 8 ilustra os intervalos definidos para os motores em estudo.

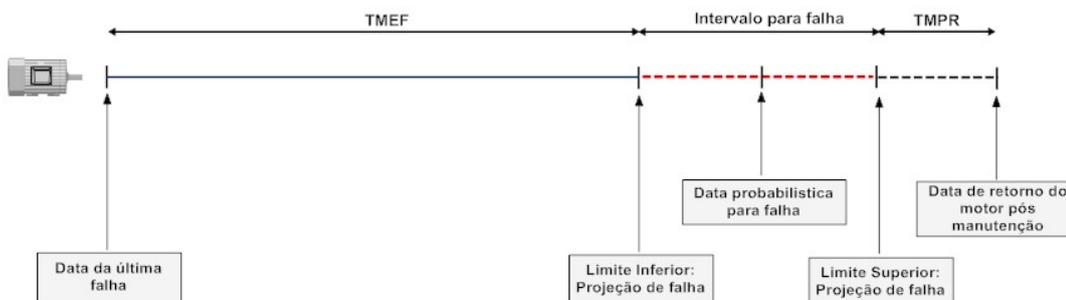


Figura 8 - Intervalo para falha  
 Fonte: Elaborada pelos autores

Conforme visualizado na Figura 9, o motor elétrico 7 apresenta como data da última falha o dia 16.04.2010. O intervalo probabilístico para sua próxima falha dar-se-á no período compreendido pelos dias 31.03.2011 a 14.09.2012. Os motores elétricos 03, 05 e 07 apresentam intervalos de falhas que se sobrepõem, indicando a necessidade de três motores em estoque. Para o caso dos motores 02 e 04, as falhas previstas para esses equipamentos serão contornadas pelo retorno dos motores 03 e 07 da manutenção.

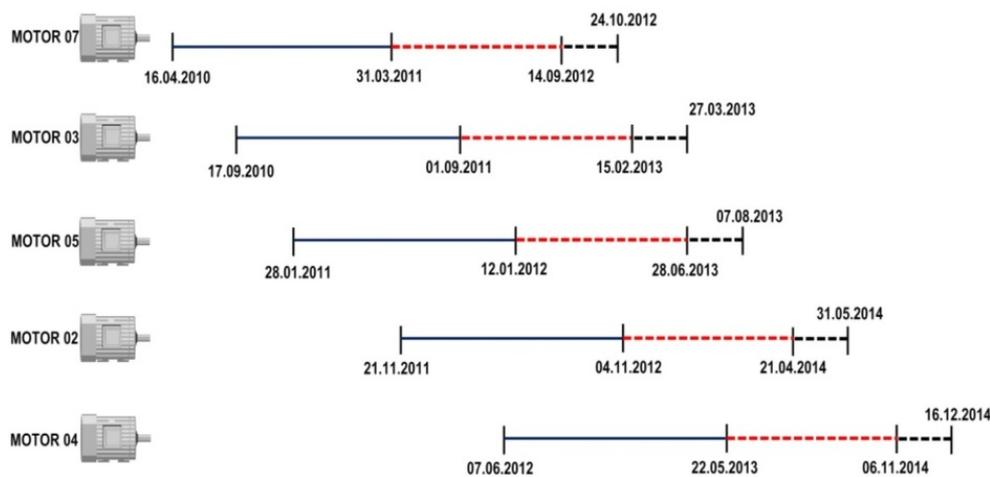


Figura 9 - Intervalo para falha: estudo de caso  
 Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.5 Dimensionamento do item sobressalente

A definição da estratégia para imobilização de materiais em estoque é baseada em dois aspectos importantes: o risco associado em definir uma quantidade que não representa a demanda do sistema e o elevado investimento a ser realizado com a escolha. Dependendo da criticidade do processo, ou seja, os impactos que a falha pode gerar (impacto ao meio ambiente, segurança operacional, lucro cessante), o gestor deverá escolher a melhor política para projeção de seus investimentos.

A partir da visualização das sobreposições dos intervalos para falha e considerando a condição de reparabilidade do equipamento, pode-se concluir que serão necessários 3 motores para compor o estoque sobressalente, a um nível de confiança de 95%. Nos estudos que envolvem a quantificação de sobressalentes, o percentual de 95% tem conferido maior segurança quanto a disponibilidade dos itens em estoque (SHEIKH *et al.*, 1991; GHODRATI e KUMAR, 2005). A Tabela 4 apresenta os diversos cenários considerados para o dimensionamento proposto.

Nível de confiança	Intervalo para falha (dias)	Dimensionamento (estoque)	Capital imobilizado do estoque	Lucro cessante: R\$/dia (Quebra do estoque)
95%	349 a 882	3 motores	R\$ 424.741,95	R\$ -
55%	489 a 696	2 motores	R\$ 283.161,30	R\$ 52.394,65
15%	563 a 614	1 motor	R\$ 141.580,65	R\$ 104.789,30

Tabela 4 – Simulação de cenário: dimensionamento  
Fonte: Elaborado pelo autor

A tabela 4 mostra a existência de uma relação direta entre o nível de confiança e a quantidade de motores a serem imobilizados. O nível de confiança reflete a probabilidade do estoque em responder as solicitações advindas do processo de manutenção. Segundo Amari e Pham (2007), os estudos de confiabilidade para dimensionamento de sobressalentes objetivam encontrar as quantidades ideais de peças, de forma a minimizar os custos e aumentar a disponibilidade do sistema. Para o estudo corrente, a disponibilidade do sistema é refletida pelo lucro cessante que a instalação incorrerá devido a falta do item em estoque.

### 3.6 Validação do modelo

A simulação de Monte Carlo foi utilizada para validar o modelo proposto, onde procurou-se reproduzir o sistema real a partir dos parâmetros estatísticos obtidos no estudo de caso. Com a utilização do programa computacional SCILAB 5.3.3, gerou-se 10.000 números aleatórios (uniformemente distribuídos) entre 0 e 1, tendo como semente o valor 97. De posse dos dados, o tempo médio entre falhas para cada número pseudo-aleatório foi calculado utilizando a distribuição de Weibull, cujos parâmetros foram:  $\beta$  (forma) = 4,993560 e  $\alpha$  (escala) = 647,5108.

Com o auxílio do programa computacional Microsoft Excel 2007, através da função PROCV, selecionou-se aleatoriamente 1000 valores correspondentes ao tempo médio entre falhas calculado, todos escolhidos com a mesma probabilidade de ocorrência. Os valores resultantes foram plotados em um gráfico com os seguintes pontos de controle: limite inferior de 349 e superior de 882 dias. Os limites de controle previstos correspondem ao intervalo de confiança para o tempo médio entre falhas a 95%. O resultado da simulação de Monte Carlo pode ser visto na Figura 10.

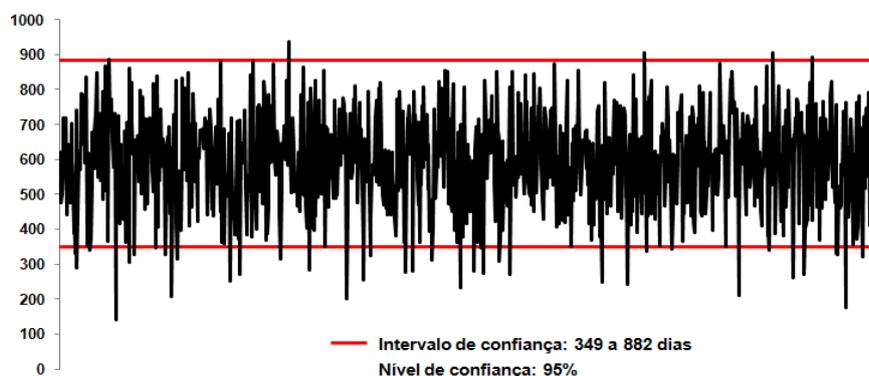


Figura 10 - Simulação de Monte Carlo: estudo de caso  
Fonte: Elaborado pelo autor

Considerando os 1000 valores escolhidos, 955 estão compreendidos pelos limites estabelecidos. Isso resulta em um percentual de 95,5% dos valores possíveis. Como existe uma equivalência entre o nível de confiança preconizado (95%) e o percentual dos valores compreendidos pelos limites (95,5%), pode-se concluir que o modelo elaborado é validado para o contexto do estudo de caso pesquisado.

#### **4 Conclusões e trabalhos futuros**

O dimensionamento de sobressalentes envolve conflitos de interesses que podem conduzir o gestor a decisões incompatíveis com a realidade. A análise teve como objetivo desenvolver um modelo para dimensionamento de sobressalentes baseado em confiabilidade industrial. A concepção do modelo foi fundamentada na estreita relação entre incidência de falhas em equipamentos e a quantificação de itens em estoque, de forma a minimizar o custo do capital imobilizado e o lucro cessante.

O estudo apresentou, a partir da análise dos cenários, a aplicabilidade do modelo ao processo decisório envolvendo itens sobressalentes. A consolidação dos cenários integrou o dimensionamento proposto e a perspectiva financeira referente a escolha. Na situação atual, a organização imobiliza em seu estoque duas unidades do equipamento motor elétrico. A análise mostrou que a empresa incorrerá em um risco de 45% das falhas não serem contempladas pelo intervalo proposto, representando um possível lucro cessante de R\$ 52.394,65 por dia. Desta forma, a ferramenta desenvolvida e aplicada tem por objetivo valorar os riscos e priorizar os investimentos organizacionais.

Como forma de validar a estruturação do modelo proposto, aplicou-se a simulação de Monte Carlo. A validação objetivou verificar a correspondência entre os dados de saída do modelo e o sistema real, cuja simulação foi realizada com o auxílio da plataforma para computação numérica Scilab 5.3.3. A validação consistiu em reproduzir o ambiente de falha dos motores elétricos considerando a aleatoriedade do processo. A equivalência entre o intervalo de confiança estabelecido e o nível de confiança adotado foi o indicador para aceitação do modelo.

Visando complementar o modelo e torná-lo mais robusto, uma análise multicritério pode ser utilizada envolvendo questões como segurança industrial, aspectos de meio ambiente e criticidade operacional, para o contexto de falha em equipamento. Dessa forma, segundo a simulação dos cenários propostos, o decisor pode fazer uma análise integrada visando considerar um nível de confiança mais alto para os processos prioritários.

Por fim, a partir do estudo pode-se concluir que otimizar o estoque sobressalente não significa reduzir drasticamente o volume de materiais imobilizados, sem técnicas específicas, mas é necessário ter quantidades que representem o processo em termos de confiabilidade.

## Referencias bibliográficas

Amari, Suprasad V.; Pham, Hoang. A novel approach for optimal cost effective design of complex repairable systems. **IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics - Part A: Systems and humans** 2007; 37 (3): 406-415.

Barabadi, A., Barabady, J., Markeset T. Application of reliability models with covariates in spare part prediction and optimization – A case study. **Reliability Engineering and System Safety** 2014; 123: 1-7.

Díaz, A., Fu, M. Models for multi-echelon repairable item inventory systems with limited repair capacity. **European Journal of Operational Research** 1997; 97(3):480–492.

Fogliatto, F. S. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

Ghodrati, B., Kumar, U. Operating environment-based spare parts forecasting and logistics: a case study. **International Journal of Logistics: Research and Applications** 2005; 8 (2): 95-105.

Ghodrati, B., Kumar, U. Reliability and operating environment-based spare parts estimation approach: a case study in Kiruna Mine, Sweden. **Journal of Quality in Maintenance Engineering** 2005; 11 (2): 169-184.

Gnedenko, Boris; Ushakov, Igor. **Probabilistic Reliability Engineering**. New York: John Wiley & Sons, 1995.

Kilpi, J., Vepsäläinen, A. Pooling of spare components between airlines. **Journal of Air Transport Management** 2004; 10(2): 137–46.

Kumar, D.; Klefsjö, B. Proportional hazards model: a review. **Reliability Engineering and System Safety** 1994; 44 (2): 177-188.

Kuo W.; Prasad V. R. An annotated overview of system - reliability optimization. **IEEE Trans. Rel;** vol. 49, no. 2, pp. 176–187, Jun. 2000.

LAFRAIA, J. R. B. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras, 2001.

Lawless, J.F. **Statistical Models and Methods for Lifetime Data**. New York: John Wiley and Sons Inc, 2003.

Louit, D., Pascual, R., Banjevic D. Optimization models for critical spare parts inventories - a reliability approach. **Journal of the Operational Research Society** 2011; 62: 992-1004.

Mehrotra, A., Natraj, N. R., Trick, M. A. Consolidating maintenance spares. **Computational Optimization and Applications** 2001; 18: 251–272.

Meeker, W. Q; Escobar, L. A. **Statistical Methods for Reliability Data**. Wiley, New York, 1998.

Mijailovic, Vladica. Probabilistic model for planning keeping of power transformer spare components with general repair time distribution. **Electric Power Systems Research** 97 (2013); 109–115.

Mobley, R. Keith; Higgins, Lindley R.; Wikoff, Darrin J. **Maintenance Engineering Handbook**. 7. Ed. New York: McGraw-Hill, 2008.

Montgomery, Douglas C; RUNGER, George C. **Applied Statistic and Probability for Engineers**. 5 ed. New York: John Wiley & Sons, 2010.

Moghaddam, R. Tavakkoli; Safari, J.; Sassani, F. Reliability optimization of series-parallel systems with a choice of redundancy strategies using a genetic algorithm. **Reliability Engineering and System Safety** **93** (2008); 550–556.

PYZDEK, Thomas. **Quality Engineering Handbook**. 2 ed. New York: Marcel Dekker, 2003.

Reiche, Hans; Harris, Allan P. A simple spares model using weibull theorems. **Microelectron. Reliab.**, Vol. 33, No. 10, pp. 1473-1475, 1993.

Sheikh, A.K., Callom F.L., Mustafa S.G. Strategies in Spare Parts Management Using a Reliability Engineering Approach. **Engineering Costs and Production Economics** **1991**; 21(199):51-57.

Tracht, Kirsten; Goch, Gert; Schuh, Peter; Sorg, Michael; Westerkamp, Jan F. Failure probability prediction based on condition monitoring data of wind energy systems for spare parts supply. **Manufacturing Technology** **2013**; 62: 127-130.

Mijailovic, Vladica. Probabilistic model for planning keeping of power transformer spare components with general repair time distribution. **Electric Power Systems Research** **2013**; 97: 109-115.

Wang, Ling; Chu, Jian; Mao, Weijie. A condition-based replacement and spare provisioning policy for deteriorating systems with uncertain deterioration to failure. **European Journal of Operational Research** **2009**; 194: 184-205.