

# Análise de confiabilidade e evolução de uma máquina de envase de leite UHT ao longo da curva da banheira

Ederson Rodrigues Carnaúba<sup>1</sup>  
Miguel Afonso Sellitto<sup>2</sup>

## Resumo

O objetivo deste artigo é fazer a análise de confiabilidade e observar a evolução da posição de uma máquina de envase de leite UHT ao longo da curva da banheira. O método de pesquisa foi a modelagem quantitativa. Foram revisados conceitos como: a manutenção industrial, a relevância da confiabilidade dentro da manutenção industrial, a metodologia RCM (*Reliability Centered Maintenance* – Manutenção Centrada em Confiabilidade) e a curva da banheira e sua interpretação ao longo do ciclo de vida de um equipamento, componente ou subsistema. Para essa modelagem, modelos de distribuição de probabilidade para os tempos entre falhas foram usados. Os testes de probabilidade, utilizando o modelo de Weibull, realizados sobre dados obtidos em campo, mostraram que a máquina analisada, aproxima-se da fase senil na curva da banheira, após cerca de 8.000 horas de trabalho. O estudo também demonstrou a necessidade de revisão do plano de manutenção recomendado pelo fabricante, para que se prolongue a fase de maturidade da máquina.

**Palavras-chave:** Gestão da manutenção. Confiabilidade. Análise de Weibull.

## Abstract

*The purpose of this article is to analyse the reliability and to observe the evolution of the position of a filling machine for a UHT milk along the bathtub curve. The research method was the quantitative modeling. It was reviewed concepts such as: the industrial maintenance, the relevance of reliability inside the industrial maintenance, the RCM methodology (Reliability Centered Maintenance) and the bathtub curve and its interpretation throughout the life cycle of an equipment, component or subsystem. For this modeling, models of probability distribution for the times between failures were used. The probability tests using Weibull's model, performed on data collected in the field, showed that the machine approximates to the "wear out" phase in the bathtub curve after about 8,000 hours of service. The study also demonstrated the need to revise the maintenance schedule recommended by the manufacturer in order to extend the maturity phase of the machine.*

**Keywords:** Maintenance management. Reliability. Weibull's analysis.

<sup>1</sup> Especialista em Gestão de Manutenção Industrial pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, RS, Brasil, graduado em Sistemas de Informação pela Universidade do Vale do Sapucaí (Univás), Pouso Alegre, MG, Brasil e coordenador de manutenção da BRF, Teutônia, RS. E-mail: ederson.carnauba@brf-br.com

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, professor e pesquisador do PPGEPS da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, RS. E-mail: sellitto@unisinos.br

## 1 Introdução

A evolução das embalagens de produtos alimentícios tem aumentado a oferta de máquinas de envase, sempre com elevado índice de automação. Tem-se exigido dessas máquinas altos níveis de confiabilidade, pois a sua indisponibilidade, devido a falhas, leva a perdas, não só de produção, mas também de energia elétrica, vapor, água gelada, mão de obra, entre outros, pelo fato de permanecerem em funcionamento os demais equipamentos da linha de produção (equipamentos de processo e formulação, tais como esterilizadores, pasteurizadores, etc.), desviando-se o produto para a estação de tancagem ou para reprocesso, até que se restabeleça a condição de operação normal. Como a indústria de laticínios, atualmente, tem operado com margens reduzidas de lucro e sua estratégia de manufatura é baseada principalmente em redução de custos (ZANIN; MACHADO; SEHNEN, 2011), é necessário gerenciar também a ocupação dos equipamentos instalados e, geralmente, ainda não pagos pela empresa.

Esse cenário aponta para a importância da função manutenção industrial como função capaz de reduzir os custos de produção. A palavra manutenção deriva do latim *manus tenere*, que tem o significado de “manter o que se tem”, representa uma preocupação presente na humanidade, desde a época em que se iniciou o manuseio de instrumentos e ferramental para a produção (VIANA, 2009). Com o passar do tempo, a complexidade dos equipamentos foi aumentando e, com isso, a busca pela melhoria das técnicas de manutenção se tornou uma necessidade para a evolução da atividade industrial.

A partir de 1950, apareceram as primeiras manutenções com características preventivas. Na década de 1960, iniciaram-se os estudos em pesquisa operacional, suportando a manutenção preventiva. No período de 1970, surgiu a CBM (*Condition Based Maintenance*- Manutenção Baseada

em Condições). A próxima evolução da manutenção trouxe o fortalecimento da manutenção preditiva na década de 1980. A RCM (*Reliability Centered Maintenance* - Manutenção Centrada em Confiabilidade), que é a metodologia aplicada a este trabalho, surgiu na indústria aeronáutica, na década de 1960 e foi adaptada para a área industrial e de prestação de serviços. A RCM cresceu de importância na manutenção industrial de atividades de manufatura entre os anos 1990 e 2000 e, hoje, tem sido largamente aplicada na indústria (SELLITTO *et al.*, 2002).

O objetivo deste artigo é fazer a análise de confiabilidade e observar a evolução da posição de uma máquina de envase de leite UHT, ao longo da curva da banheira. O método de pesquisa foi a modelagem quantitativa. Após uma revisão teórica dos conceitos básicos referentes à confiabilidade e manutenção, foram analisados os tempos entre falhas e tempos de retomada pós-falha em um equipamento de envase asséptico de leite UHT, dentro de uma das maiores empresas de produtos lácteos do Brasil. Ao fim, o estudo indica qual a melhor proposta de estratégia de manutenção para esse equipamento e compara os resultados obtidos com as indicações dadas pelo fabricante.

## 2 Confiabilidade em manutenção e a curva da banheira

O conceito de confiabilidade está associado à operação bem sucedida de um produto ou sistema, ou seja, à ausência de quebras ou falhas no decorrer da operação (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Esse conceito foi introduzido na década de 1950 na manutenção industrial, para subsidiar análises de equipamentos eletrônicos de uso militar (SELLITTO, 2005).

A aplicação de técnicas de confiabilidade à manutenção (RCM) pode proporcionar benefícios direcionados ao aumento do lucro e redução de custos, por meio de: (i) menos

paradas não programadas e, por consequência, menores perdas por lucro cessante; (ii) menores custos de manutenção, operação e apoio e (iii) menores possibilidades de acidentes.

A RCM também pode fornecer soluções inovadoras para algumas das necessidades atuais das indústrias, tais como: (i) aumentar a produção de produtos e ou unidades; (ii) aumentar a flexibilidade dos equipamentos, ou seja, das mais condições de responder rapidamente às mudanças de *mix* e de volume de produto; (iii) cumprir com a legislação ambiental, de segurança e higiene; (iv) diminuir o prazo dado a clientes de entregas programadas e (v) conhecer melhor os modos de falha da maquinaria instalada e, eventualmente, evoluir tecnologicamente (LAFRAIA, 2001).

Os três elementos mais comumente usados para analisar a confiabilidade de componentes e sistemas são: (i) a função confiabilidade  $R(t)$ ; (ii) a função de risco  $h(t)$  e (iii) o tempo médio entre falhas (*MTBF* - *Mean Time Between Failure*, Tempo Médio Entre Falhas) (SELLITTO, 2005).

O *MTBF* é definido como o quociente entre o tempo total de disponibilidade do equipamento, para a operação e o número de intervenções corretivas ocorridas nesse período. Sua expressão matemática é apresentada na equação (1):

$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^n (TBF)}{n} \quad (1)$$

onde *MTBF* é o tempo médio entre falhas,  $n$  é o número de intervenções e *TBF* são os tempos entre as falhas.

Outro indicador utilizado com o *MTBF* para a determinação da disponibilidade do equipamento é o *MTTR* (*Mean Time To Repair* - Tempo Médio Para Reparo), o qual é dado pelo quociente entre o tempo total de intervenção no equipamento, para restabelecer a sua função básica e o número de intervenções corretivas ocorridas nesse período. A equação (2) descreve o cálculo:

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^n TTR}{n} \quad (2)$$

onde *TTR* é o tempo de reparo de cada intervenção.

Com esses dois indicadores, é possível determinar a disponibilidade do equipamento  $Av(t)$  pela equação (3):

$$Av(t) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (3)$$

Outro elemento relevante em análise de confiabilidade é a curva da banheira, representada na figura 1. A curva é um recurso gráfico que indica, de modo geral, a evolução de componente ou sistema ao longo de seu ciclo de vida.



Figura 1: Curva da banheira  
Fonte: Sellitto (2005).

A figura 1 apresenta as fases que um componente ou sistema atravessa de acordo com a variação de sua taxa de falha  $l(t)$  ao longo do tempo  $t$ . A primeira fase, com uma taxa de falha decrescente, indica que o sistema ou componente está na fase de “mortalidade infantil”, que está relacionado a erros de projeto, de fabricação, falta de habilidade operacional ou falta de maturidade da equipe de manutenção. Com  $l(t)$  em estado de pouca variação e com níveis baixos, entende-se que o componente ou sistema apresenta características da fase de maturidade, no qual são esperados apenas que fatores externos e aleatórios alterem  $l(t)$ , como exemplo, interrupção de alimentação elétrica externa do controle da unidade. E, por último, com  $l(t)$  com fator de forma crescente, indica a fase de mortalidade senil do equipamento ou sistema, indicando o fim da vida útil. Nesse caso, é recomendada a realização de manutenção preventiva ou reforma (WUTTKE; SELITTO, 2008).

### 3 Modelos probabilísticos usados em confiabilidade

Para determinar a fase do ciclo de vida em que o equipamento se encontra e estimar a disponibilidade do mesmo, é necessário obter modelos probabilísticos, tanto para os tempos entre falhas, como para os tempos até os reparos. Os modelos de distribuição de probabilidade mais usuais em confiabilidade são os modelos Normal, Exponencial, Gamma, Lognormal e de Weibull (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

#### 3.1 Distribuição Normal

Uma população que se ajuste à distribuição normal tem variações simetricamente dispostas ao redor da média. Uma razão importante, para a aplicação da distribuição Normal, advém do fato de que, quando um valor está sujeito a muitas variações que se

somam, independentemente de como essas variações são distribuídas, o resultado da distribuição composta é normalmente distribuído. Isso é o que demonstra o teorema do valor central (LAFRAIA, 2001).

A função densidade acumulada é dada pela equação (4)

$$F(x) = \Phi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right) \quad (4)$$

#### 3.2 Distribuição Exponencial

A distribuição Exponencial é importante em estudos de confiabilidade por ser a única distribuição contínua em função do risco constante (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Essa distribuição tem melhor aplicação em: (i) análise de falha com mais de 200 componentes, sujeitos a mais de três manutenções corretivas ou preventivas; (ii) sistemas complexos não redundantes; (iii) sistemas complexos com componentes com taxas de falhas independentes; (iv) sistemas com dados, mostrando causas de falha muito heterogêneas e (v) sistemas de vários componentes, com substituições antes de falhas, devido à manutenção preventiva (LAFRAIA, 2001).

A função distribuição Exponencial de probabilidade é representada na equação (5):

$$f(x) = \begin{cases} a \exp(-ax) & p/x \geq 0 \\ 0 & p/x < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Em sistemas, em que a variável  $t$  é independente,  $\lambda$  é denominado de taxa de falhas, conforme a equação (6),

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t) \quad (6)$$

e a confiabilidade é dada pela equação (7):

$$R(t) = \exp(-\lambda t) \quad (7)$$

### 3.3 Distribuição Gamma

A distribuição Gamma é uma generalização da distribuição Exponencial que pode ser utilizada para testes de vida do componente ou equipamento. As medidas de confiabilidade de interesse, para a distribuição Gamma são ( $t \geq 0$ , parâmetro de forma  $\gamma > 0$  e parâmetro de escala  $\lambda > 0$ ). Dessa forma, temos:

$$f(t) = \frac{\lambda}{\Gamma(\gamma)} (\lambda t)^{\gamma-1} e^{-\lambda t} \quad (8)$$

$$R(t) = 1 - \frac{1}{\Gamma(\gamma)} \int_0^{\lambda t} x^{\gamma-1} e^{-x} dx \quad (9)$$

$$h(t) = f(t) / R(t) \quad (10)$$

$$MTTF = \gamma / \lambda \quad (11)$$

Assim como na distribuição Weibull, a distribuição Gamma apresenta função de risco, quando  $\gamma > 1$ . Ao contrário de  $f(t)$ , o

formato de  $h(t)$  da Gamma e da Weibull diferencia-se bastante, em particular para valores maiores de  $t$ . Para qualquer  $\gamma$ ,  $\lim_{t \rightarrow \infty} h(t) = \lambda$ , indicando que tempos até a falha que seguem uma distribuição Gamma apresentam uma cauda exponencial (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

### 3.4 Distribuição Lognormal

A distribuição Lognormal é muito utilizada em modelagem de tempos até o reparo em unidades reparáveis. Essa distribuição é mais versátil do que a distribuição Normal, pois tem uma forma mais variada, o que possibilita melhor ajuste da população. Com essa característica, é possível propor que a probabilidade de completar uma ação de reparo aumenta com o passar do tempo. No caso de o reparo demorar muito a ser concluído, há um indicativo de causas especiais sobre o processo.

Segue a representação da distribuição Lognormal pelas equação (12) e equação (13):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma(2\pi)^{1/2}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad p/x \geq 0 \quad (12)$$

$$f(x) = 0 \quad p/x < 0 \quad (13)$$

onde

$$\varphi(z) = \frac{1}{(2\pi)^{1/2}} \exp\left[-\frac{z^2}{2}\right] \quad e \quad z = \frac{\log x - \mu}{\sigma} \quad (14)$$

Assim, a distribuição Lognormal é a distribuição Normal com  $\ln x$  como variável independente. A medida e o desvio padrão são dados, respectivamente, pela equação (15) e equação (16):

$$\mu = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (15)$$

$$\sigma = \left[\exp(2\mu + 2\sigma^2) - \exp(2\mu + \sigma^2)\right]^{1/2} \quad (16)$$

### 3.5 Distribuição de Weibull

A distribuição de Weibull é uma expressão semiempírica muito utilizada em engenharia de manutenção. Ela foi desenvolvida

por Waloddi Weibull nos estudos sobre resistência mecânica dos aços. Ela é apropriada à modelagem de tempos até a falha, apresentando funções de risco constante estritamente crescente e estritamente decrescente. A distribuição de Weibull modela adequadamente uma ampla variedade de situações, em que unidades apresentam funções de risco distintas (LAFRAIA, 2001).

O modelo de Weibull propõe uma expressão em que a probabilidade acumulada de falha, após o tempo ( $t$ ) de funcionamento, é representada pela equação (17). A probabilidade de o componente ainda não ter falhado, a probabilidade de falha de um componente no instante ( $t$ ), a taxa de falhas e o MTBF são dados, respectivamente, pelas equações de (18) a (21),

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta\right] \cdot 100\% \quad (17)$$

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta\right] \cdot 100\% \quad (18)$$

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^{\beta-1}\right] 100\% \quad (19)$$

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (20)$$

$$MTBF = t_0 + \theta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (21)$$

onde  $t$  é o tempo de funcionamento em horas de operação,  $t_0$  é o tempo até a falha inicial ou vida útil,  $\beta$  é o fator de forma, e  $\eta$  é o parâmetro de forma.

Valores particulares dos parâmetros da distribuição de Weibull transformam as expressões originais em expressões de outras distribuições, usualmente, utilizadas para descrever os modos de falhas. As modalidades de tempo transcorrido até a falha e de taxa de falha  $\lambda$  são influenciadas pelo fator de forma  $\beta$ . A tabela 1 apresenta características de comportamento da função de taxa de falha, segundo o valor de  $\beta$ .

Tabela 1: Comportamento da taxa de falha em relação ao fator de forma

$\beta$	Comportamento da função taxa de falhas
< 1	Taxa de falha crescente com o tempo, fase de mortalidade infantil
= 1	Taxa de falha constante e/ ou falhas aleatórias, função exponencial
> 1	Taxa de falha crescente com o tempo, fase de mortalidade infantil
= 2	Taxa de falha linearmente crescente
> 2	Taxa de falha cresce a uma taxa proporcional à potência (-1); distribuição de frequência, tornando-se mais simétrica à medida que $\beta$ cresce
= 3,2	Distribuição de frequência aproxima-se da distribuição Normal, tornando-se menos dispersa à medida que $\beta$ cresce

Fonte: Lafraia (2001).

A relação gráfica entre o valor de  $\beta$  e as fases da curva da banheira é apresentada na

figura 2. A tabela 2 apresenta a interpretação física dos parâmetros da função de Weibull.



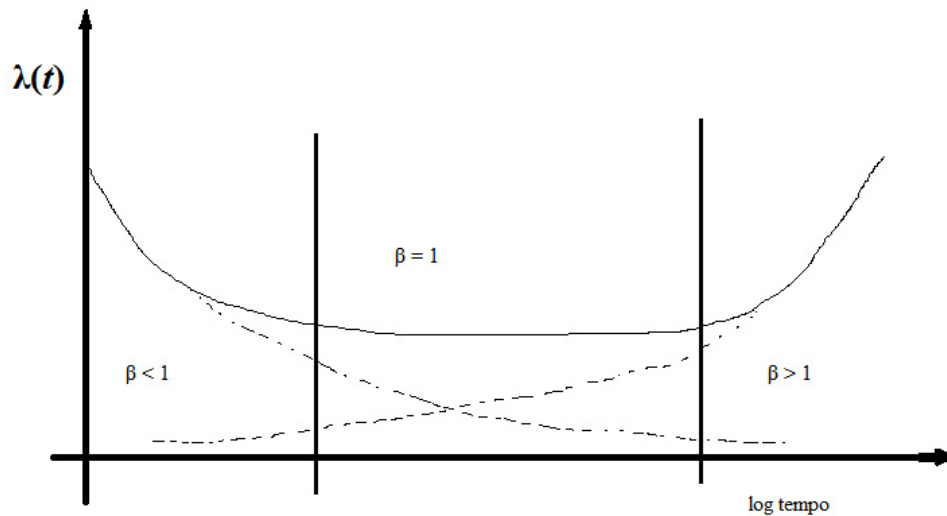


Figura 2: Curva da banheira com a relação  $\lambda(t)$  e  $\beta$   
 Fonte: Lafraia (2001).

Tabela 2: Interpretações dos parâmetros da função de Weibull

$T_0$	$\beta$	Significado
0	-	Não há confiabilidade intrínseca. Significa que em $t = 0$ , a probabilidade de falha é 0
	< 1	Taxa de falhas crescente, possivelmente devido a baixos coeficientes de segurança na carga
	1	Taxa de falhas constante, falhas de origem aleatória
	> 1	Taxa de falhas crescente, desgaste indicando logo que o componente entra em serviço
> 0	-	Há período de garantia, durante o qual não ocorre falha. O componente possui confiabilidade intrínseca
	< 1	Desgaste do tipo fadiga foi similar
	$\approx 0,5$	Fadiga de baixo ciclo
	$\approx 0,8$	Fadiga de alto ciclo
	> 1	Desgaste do tipo erosão
< 0	-	Há vida de prateleira, o componente pode falhar antes de ser usado
	< 1	Desgaste do tipo fadiga, iniciando antes do componente entrar em serviço
	> 1	Desgaste devido à contínua redução da resistência

Fonte: Os autores (2013).

#### 4 Metodologia e pesquisa

O método de pesquisa foi a modelagem quantitativa, como descrito em Nakano (2010) e em Filippini (1997).

A pesquisa foi realizada por coleta de dados de campo de uma máquina de envase

de leite UHT da fabricante Tetra Pak, modelo A3 Flex versão 015V. As funções da máquina são: formar a embalagem, esterilizar o material de embalagem, envasar o produto e disponibilizar o produto na esteira de saída. Máquinas de envase são equipamentos críticos, para o processo de produção de

laticínios, e sua parada pode representar a parada total da respectiva linha de produção, tal como, usualmente, ocorre nas indústrias de processamento contínuo, quando não existe redundância nos equipamentos

principais (SELLITTO, 2002). No caso estudado, não há essa redundância, e a parada da máquina representa perda de produção. A imagem da máquina de envase estudada é mostrada na figura 3.



Figura 3: Máquina de envase Tetra Pak  
Fonte: Tetra Pak (2013).

A máquina é composta por vários subsistemas, onde diversos modos de falhas competem entre si pela falha geral. Assim, o primeiro componente ou subsistema que falhar

causa a falha sistêmica. Essa característica de estrutura de falha remete ao uso da distribuição de Weibull. A localização dos subsistemas na máquina analisada é como na figura 4.

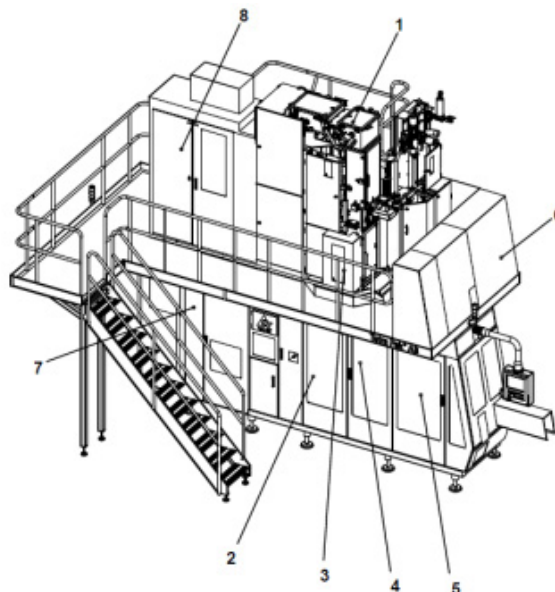


Figura 4: Subsistemas da máquina A3 Flex  
Fonte: Tetra Pak (2013).



A máquina é constituída das seguintes partes ou subsistemas:

1. Superestrutura: local que possui componentes responsáveis pela esterilização do material de embalagem e início da formação da embalagem;
2. Corpo da máquina: região da máquina que contém componentes do sistema de lubrificação automática, limpeza automática, controle e aquecimento de peróxido de hidrogênio;
3. Sistema de acionamento das mandíbulas de tração do material de embalagem;
4. Mandíbulas de tração de embalagens;
5. Pregadora final: subsistema que realiza a dobragem das abas da caixa e disponibiliza o produto pronto na esteira;

6. Unidade de serviço: local, onde ficam os registros de controle das utilidades (água, energia elétrica e água gelada) e um subsistema de resfriamento de água;
7. Unidade de emenda automática de embalagem;
8. Painel elétrico.

Os dados de paradas do equipamento foram coletados através do *software* PLMS Centre Premium que é fornecido pela Tetra Pak. Esse software coleta os dados diretamente da máquina, em tempo real, arquivando-os em um banco de dados e fornece os resultados, através de planilhas e gráficos, como exemplificado na figura 5.

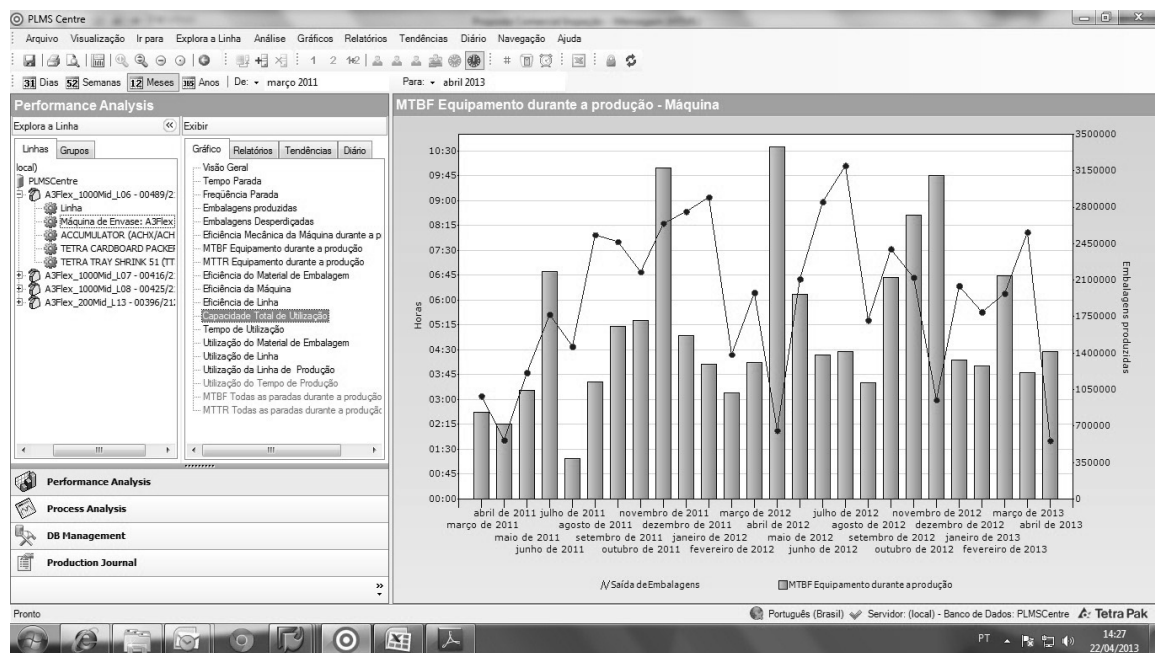


Figura 5: Software PLMS Centre

Fonte: Tetra Pak (2013).

A Tetra Pak recomenda que esse equipamento passe por uma pré-revisão periódica com 500 horas de trabalho e que seja feita uma manutenção preventiva em intervalos de 1.000 horas de trabalho, de modo a estender a fase de maturidade do equipamento. A empresa cumpre com essas exigências do fabricante. Nesse cenário, foram coletados

dados entre esses intervalos de manutenção preventiva, medindo os tempos entre falhas por semanas do ano, no período da semana 18 de 2012 até a semana 09 de 2013, divididos em três fases de amostragem. Os dados foram exportados para uma planilha eletrônica, convertendo-se o formato de horas HH:MM:SS, para horas decimais,

possibilitando, assim, a análise com o *software* modelador Proconf2000. Informações sobre o Proconf2000 e suas rotinas podem ser encontradas em Fritsch e Ribeiro (1998).

A máquina A3 Flex pode operar por um máximo de trinta horas contínuas, devido à limitação do esterilizador de leite; no momento em que se alcança esse tempo de operação, é necessário realizar a limpeza de todo o sistema (*CIP – Clean-In-Place*), seguida da esterilização de todos os equipamentos - processo que tem uma duração média de 4 horas.

#### 4.1 Resultados da pesquisa

Devido às características da máquina, foi testada apenas a distribuição de Weibull. Segundo a teoria exposta em Sellitto *et al.*

(2005) e exemplificada em Sellitto; Borchadt; Araújo (2002), a distribuição de Weibull descreve as probabilidades de falhas em sistemas com múltiplos sub-sistemas que disputam pela falha geral. Segundo os testes analíticos de qui-quadrado ( $c^2$ ) e de Kolmogorov-Sminorv (K-S), realizados nas três amostragens de TBF, no período da pesquisa, a hipótese dos dados seguirem a distribuição do modelo de Weibull não pode ser rejeitada. Mais considerações sobre o teste de máxima verossimilhança e a fundamentação teórica necessária podem ser encontradas em Lawless (2003).

Os dados obtidos foram exportados para uma planilha eletrônica e depois processados em três arquivos do Proconf2000. Seguem os tempos entre falhas obtidos no período da pesquisa na tabela 3.

Tabela 3: Dados de TBF coletados nos três períodos da pesquisa

Período 1			Período 2			Período 3		
Semana	Horímetro (Horas)	TBF (Horas)	Semana	Horímetro (Horas)	TBF (Horas)	Semana	Horímetro (Horas)	TBF (Horas)
18/2012	5912	10,061	33/2012	7125	1,597	48/2012	8223	7,492
19/2012	5936	14,904	34/2012	7229	8,259	49/2012	8308	7,485
20/2012	6012	8,572	35/2012	7321	5,046	50/2012	8397	9,449
21/2012	6119	8,016	36/2012	7422	10,753	51/2012	8466	3,951
22/2012	6191	2,631	37/2012	7527	7,458	52/2012	8518	1,748
23/2012	6269	3,359	38/2012	7623	5,571	1/2013	8560	2,070
24/2012	6372	5,258	39/2012	7704	4,129	2/2013	8604	10,628
25/2012	6472	5,107	40/2012	7807	11,029	3/2013	8681	4,256
26/2012	6575	3,810	41/2012	7896	22,242	4/2013	8780	5,262
27/2012	6783	2,499	42/2012	7972	5,689	5/2013	8854	3,223
28/2012	6821	2,576	43/2012	8045	5,182	6/2013	8940	8,376
29/2012	6905	5,934	44/2012	8081	14,300	7/2013	9025	12,598
30/2012	7017	13,745	45/2012	8097	7,174	8/2013	9103	5,303
31/2012	7047	41,414	46/2012	8118	6,731	9/2013	9195	1,861

Fonte: Os autores (2013).

Na tabela 3, foi inserida uma coluna com o horímetro de trabalho da máquina, com o intuito de visualizar o seu tempo de operação. Na coluna TBF, as horas entre falhas já estão em decimais, para serem analisadas no *software* Proconf2000. E na coluna semana, é apresentada a semana do ano em que foram registrados os dados da máquina A3 Flex.

Os dados de TBF foram inseridos no *software* Proconf2000, sendo encontrados os resultados mostrados na tabela 4, segundo a distribuição de Weibull (o Proconf2000 chama o fator de forma de Gamma). Os parâmetros foram calculados, empregando-se o estimador da Máxima Verossimilhança (REIS; ANDRADE, 2011).

Tabela 4: Dados obtidos pelas análises feitas com o *software* Proconf2000

Período 1		Período 2		Período 3	
Ajuste dos dados - Modelo Weibull	Valor	Ajuste dos dados - Modelo Weibull	Valor	Ajuste dos dados - Modelo Weibull	Valor
Parâmetro de Localização	0	Parâmetro de Localização	0	Parâmetro de Localização	0
<b>Estimativas da Verossimilhança Máxima:</b>		<b>Estimativas da Verossimilhança Máxima:</b>		<b>Estimativas da Verossimilhança Máxima:</b>	
Gamma	1,15	Gamma	1,781	Gamma	1,9075
Theta	9,7	Theta	9,296	Theta	6,7628
Var(Gamma)	0,06	Var(Gamma)	0,138	Var(Gamma)	0,158
Var(Theta)	5,6	Var(Theta)	2,159	Var(Theta)	0,9957
Cov(Theta, Gamma)	0,18	Cov(Theta, Gamma)	0,171	Cov(Theta, Gamma)	0,1241
<b>Estimativa não tendenciosa:</b>		<b>Estimativa não tendenciosa:</b>		<b>Estimativa não tendenciosa:</b>	
Gamma	1,04	Gamma	1,602	Gamma	1,716
Var(Gamma)	0,06	Var(Gamma)	0,142	Var(Gamma)	0,1629
Theta	9,27	Theta	9,044	Theta	6,6091
<b>95% do Intervalo de Confiança:</b>		<b>95% do Intervalo de Confiança:</b>		<b>95% do Intervalo de Confiança:</b>	
Para Gamma(início)	0,6	Para Gamma(início)	0,922	Para Gamma(início)	0,9876
Para Gamma(final)	1,43	Para Gamma(final)	2,21	Para Gamma(final)	2,3677
Para Theta(início)	4,92	Para Theta(início)	6,06	Para Theta(início)	4,5525
Para Theta(final)	16,7	Para Theta(final)	13,3	Para Theta(final)	9,4803
t10	1,06	t10	2,219	t10	1,7808
t50	6,51	t50	7,195	t50	5,2281
MTTF	9,13	MTTF	9,108	MTTF	5,8922

Fonte: Os autores (2013).

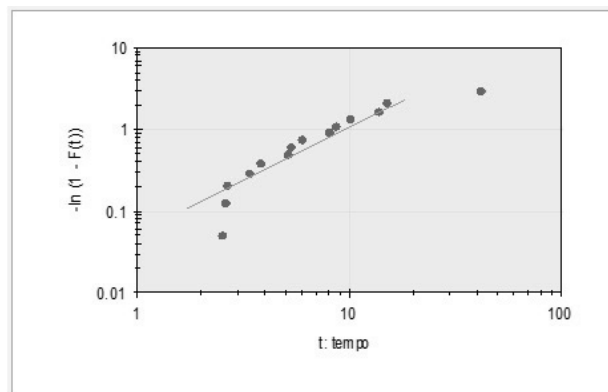


Figura 6: Papel de probabilidade Weibull do Período 1  
 Fonte: Proconf2000 (2009).

Todas as análises foram realizadas, considerando 95% de nível de intervalo de confiança. Os valores de MTBF são: para o Período 1 = 9,13 horas; Período 2 = 9,1082

horas e Período 3 = 5,8922 horas. As figuras de 6 a 8 apresentam o papel de probabilidade Weibull, para o tempo entre falhas dos períodos 1, 2 e 3, respectivamente.

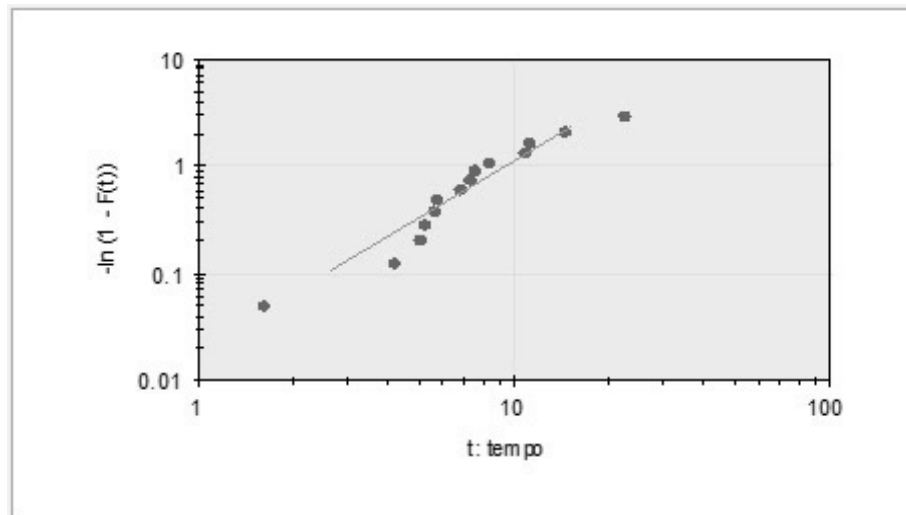


Figura 7: Papel de probabilidade Weibull do Período 2  
Fonte: Proconf2000 (2009).

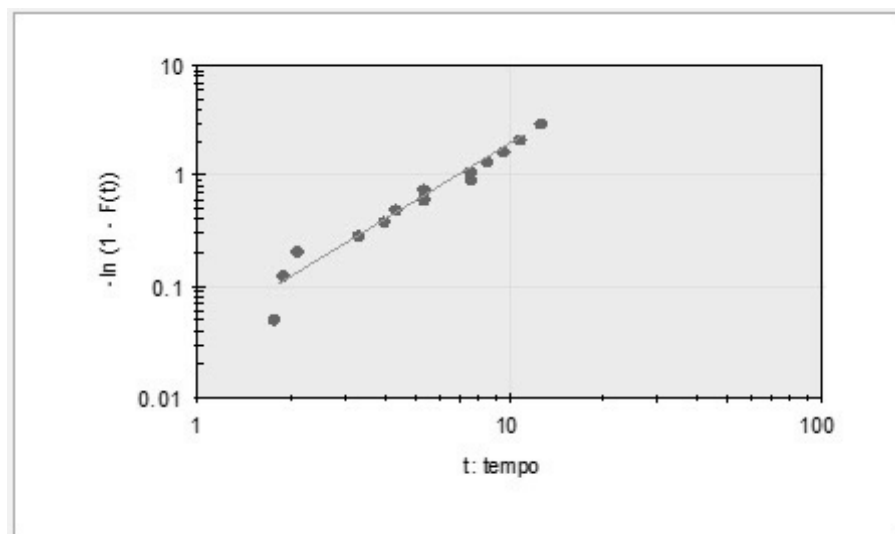


Figura 8: Papel de probabilidade Weibull do Período 3  
Fonte: Proconf2000 (2009).

A figura 9 apresenta um acúmulo de dados próximo à área em que  $\beta = 1$ , indicando que no Período 1 da análise a máquina está na fase de maturidade. Já o gráfico das figuras 6 e 7, denota a tendência de acúmulo de

pontos da metade da reta para o final, indicando a tendência de aumento de falhas no decorrer do tempo, indicando senilidade do equipamento. A figura 8 representa o estado da máquina ao longo da curva da banheira.

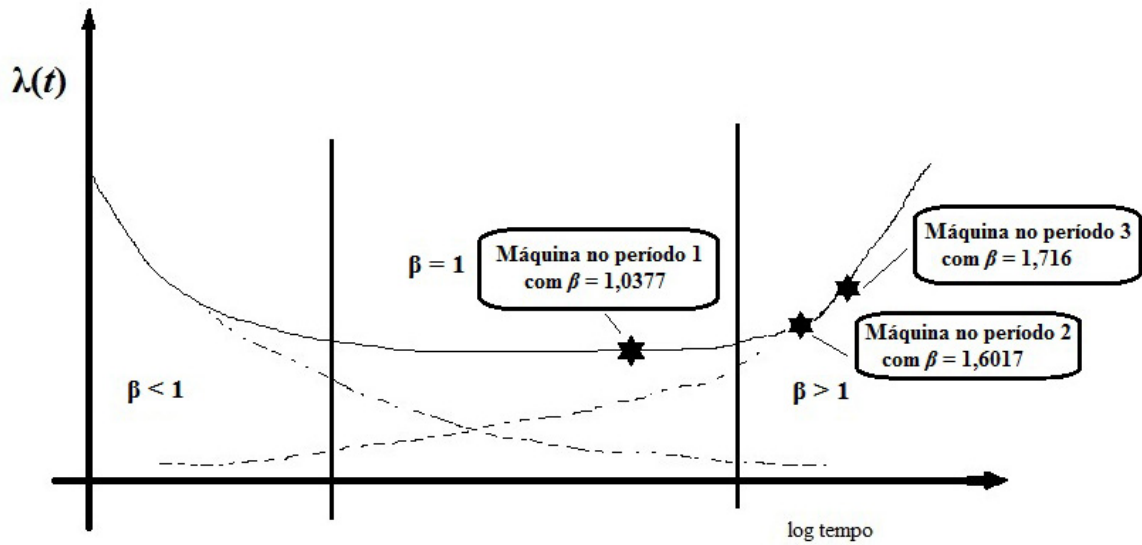


Figura 9: Localização da máquina na curva da banheira ao longo do tempo  
 Fonte: Os autores (2013).

A figura 10 apresenta de modo sinótico os histogramas das taxas de falha para os três momentos estudados. Na figura, é possível constatar que a máquina está caminhando para a fase senil, ou seja, está em migração de uma taxa de falha constante para crescente, depois, para uma taxa de crescimento

ainda maior. Segundo Sellitto (2005), na fase de taxa de falha crescente, pode-se empregar a estratégia de manutenção preventiva ou, mesmo, programar uma reforma geral da máquina. A escolha deve ser baseada no quanto o equipamento já avançou na fase de mortalidade senil.

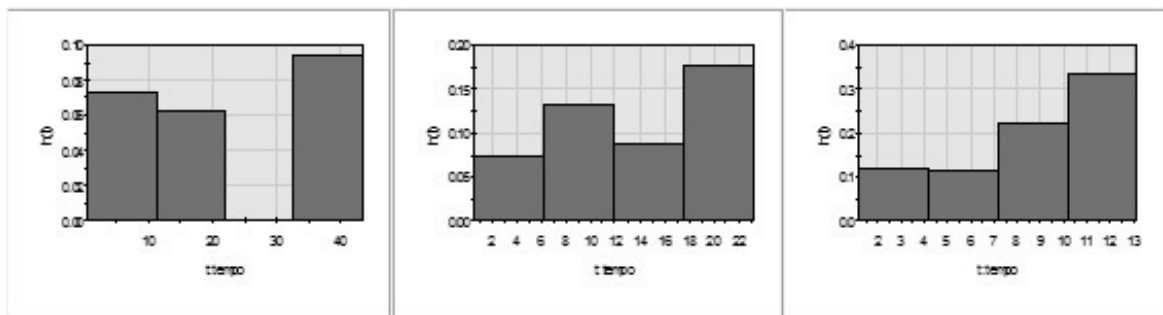


Figura 10 – Histogramas das taxas de falhas no período 1, 2 e 3  
 Fonte: Proconf2000 (2009).

Nos histogramas comparados, pode-se notar que a declividade da taxa de falhas aumenta com o período de tempo menor, indicando senilidade do equipamento. É como se o conteúdo das primeiras lâminas, à esquerda da figura, fosse migrando para a direita, ou seja, é como se falhas que aconteciam

mais cedo no tempo, agora, passam a acontecer mais tarde, concentrando-se no período mais tardio do intervalo de tempo analisado.

Os indicadores mostram a situação global do equipamento. Para se estimar o valor mais preciso de intervalos de manutenção, é necessário estratificar as

falhas e obter o valor de confiabilidade por subsistema e seus componentes, o que não foi o foco deste trabalho, porém é de extrema importância releva esta metodologia e aplicá-la, aumentando a disponibilidade do equipamento. Com base nos registros do horímetro, pode-se estabelecer que o equipamento tenha saído da maturidade ao redor das 8.000 horas de operação. Esse pode ser um limite de tempo, para a execução de manutenção preventiva mais ampla ou, até mesmo, programar uma reforma da máquina.

## 5 Conclusão

Por meio de um estudo quantitativo e objetivo, foi identificada a fase atual e a trajetória ao longo da curva da banheira de uma máquina de envase de leite UHT A3 Flex pertencente a uma das maiores empresas de laticínios do Brasil. Com a metodologia aplicada, pode-se notar que a máquina está evoluindo, ao longo da curva da banheira, para a senilidade. Também ficou demonstrado que a maturidade pode ter se encerrado ao redor de 8.000 horas de operação.

Nos intervalos de tempo, em que ocorreu a coleta de dados, foram realizadas todas as recomendações do fabricante, considerando os intervalos por ele estabelecidos. O fabricante recomenda intervenções menores a cada 500 horas e intervenções maiores a cada 1.000 horas. O estudo aponta que essa política, aplicada ao caso estudado, resultou em um período de maturidade que se encerra próximo a 8.000 horas de operação. Caso a empresa julgue que esse intervalo de 8.000 horas possa ou deva ser ampliado, deve modificar as atividades preventivas ou ao menos intensificar os procedimentos que têm sido, até agora, adotados.

Como sugestão de continuidade, aponta-se a necessidade de manter uma atualização do controle de dados e uma permanente monitoração da posição do equipamento, ao longo da curva da banheira. Com base

na evolução dessa curva, é possível planejar as atividades de manutenção e eventuais reformas da máquina e substituições de subsistemas.

## Referências

FILIPPINI, R. Operations management research: some reflections on evolution, models and empirical studies in OM. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 26, n. 7, p. 655-670, 1997.

FOGLIATTO, F.; RIBEIRO, J. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

FRITSCH, C.; RIBEIRO, J. PROCONF: Um software orientado para análises de confiabilidade. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - ENEGEP, 28., 1998, Niterói. **Anais...** Niterói: ABEPRO, 1998.

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

LAWLESS, J. **Statistical models and methods for lifetime data**. New York: John Wiley & Sons, 2003.

NAKANO, D. Métodos de pesquisa adotados na Engenharia de Produção e Gestão de Operações. In: MIGUEL, P. (org.) **Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. Rio de Janeiro: Campus, 2010.

PROCONF2000. Confiabilidade de componentes. **Software**. Copyright©. Porto Alegre: Maxxi Gestão Empresarial, 2009.

REIS, L.; ANDRADE, J. Análise de falhas e da posição na curva da banheira de moldes empregados em equipamentos de injeção. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGE-



NHARIA DE PRODUÇÃO - ENEGEP, 29., 2011, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABEPRO, 2011.

SELLITTO, M. Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos. **Produção**, v. 15, n. 1, p. 44-59, 2005.

\_\_\_\_\_. Inteligência Artificial: uma aplicação em uma indústria de processo contínuo. **Gestão & Produção**, v.9, n.3, p.363-376, 2002.

\_\_\_\_\_; BORCHADT, M.; ARAÚJO, D. Manutenção centrada em confiabilidade: uma abordagem quantitativa. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - ENEGEP, 22., 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABEPRO, 2002.

TETRA PAK. **Catálogo eletrônico**. Disponível em: <[http://www.tetrapak.com.br/negocios/maq\\_envase/volumes.asp?idMaquina=2](http://www.tetrapak.com.br/negocios/maq_envase/volumes.asp?idMaquina=2)>. Acesso em 10 mar. 2013.

VIANA, H. **PCM Planejamento e controle da manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

WUTTKE, R.; SELLITTO, M. Cálculo da disponibilidade e da posição na curva da banheira de uma válvula de processo petroquímico. **Produção Online**, v. 8, n. 4, p. 1-26, 2008.

ZANIN, E.; MACHADO, N.; SEHNEM, S. Comportamento estratégico segundo a teoria de Miles e Snow: estudo de caso em agroindústria do oeste de Santa Catarina. **Gestão Organizacional**, v. 4, n. 2, p. 87-101, 2011.

