



## UTILIZAÇÃO DO SISTEMA DE MANUTENÇÃO TETRA PAK (TPMS) EM MÁQUINAS DE ENVASE DE LEITE CONDENSADO

USE OF THE TETRA PAK MAINTENANCE SYSTEM (TPMS) IN CONDENSED MILK FILLING MACHINES

USO DEL SISTEMA DE MANTENIMIENTO TETRA PAK (TPMS) EN MÁQUINAS DE ENVASADO DE LECHE CONDENSADA

Rhayssa Roberta Guimarães<sup>1</sup>, Stênio Meirelles<sup>2</sup>, & Valter Lino de Souza Filho<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Catalão <sup>2,3</sup> Centro Universitário UNA Catalão

<sup>1</sup> rhayssa2903@gmail.com <sup>2</sup> steniomeireles@gmail.com <sup>3\*</sup> valterlino454@outlook.com

### ARTIGO INFO.

Publicado: 06.12.2024

**PALAVRAS-CHAVE:** Manutenção preventiva; gestão de ativos; TPMS; confiabilidade.

**KEYWORDS:** Preventive maintenance; asset management; TPMS; reliability.

**PALABRAS CLAVE:** Mantenimiento preventivo; gestión de activos; TPMS; fiabilidad.

\*Autor Correspondente: Guimarães, R. R.

### RESUMO

A manutenção preventiva é uma estratégia que garante a disponibilidade, confiabilidade e eficiência dos equipamentos industriais. No setor de alimentos, em especial na produção de leite condensado, o bom desempenho das máquinas de envase é fundamental na rentabilidade da empresa. O presente artigo se propõe a explorar a aplicação específica da manutenção preventiva, concentrando-se no TPMS (Tetra Pak Maintenance System ou Sistema de Manutenção Tetra Pak), um sistema de manutenção desenvolvido pela empresa Tetra Pak, voltado para os equipamentos seus equipamentos, em específico o modelo A3CompactFlex. Foram examinados os benefícios tangíveis oferecidos pelo TPMS, desde a minimização de falhas não programadas até a maximização do tempo de operação das máquinas, resultando em ganhos de eficiência e controle financeiro.

### ABSTRACT

Preventive maintenance is a strategy that guarantees the availability, reliability and efficiency of industrial equipment. In the food sector, especially in the production of condensed milk, the good performance of filling machines is fundamental to the company's profitability. This article sets out to explore the specific application of preventive maintenance, focusing on the TPMS (Tetra Pak Maintenance System), a maintenance system developed by the Tetra Pak company for its equipment, specifically the A3CompactFlex model. The tangible benefits offered by the TPMS were examined, from minimizing unscheduled failures to maximizing machine uptime, resulting in efficiency gains and financial control.

### RESUMEN

El mantenimiento preventivo es una estrategia que garantiza la disponibilidad, fiabilidad y eficacia de los equipos industriales. En el sector alimentario, especialmente en la producción de leche condensada, el buen funcionamiento de las máquinas llenadoras es fundamental para la rentabilidad de la empresa. Este artículo pretende explorar la aplicación específica del mantenimiento preventivo, centrándose en el TPMS (Tetra Pak Maintenance System), un sistema de mantenimiento desarrollado por la empresa Tetra Pak, destinado a sus equipos, concretamente al modelo A3CompactFlex. Se examinaron los beneficios tangibles que ofrece el TPMS, desde la minimización de los fallos no programados hasta la maximización del tiempo de actividad de la máquina, lo que se traduce en un aumento de la eficiencia y del control financiero.

## INTRODUÇÃO

Na perspectiva da indústria alimentícia, onde a precisão e a confiabilidade dos processos garantem a qualidade dos produtos, satisfação dos clientes e a competitividade do atual mercado, a manutenção preventiva é uma estratégia indispensável. Na produção de laticínios, especialmente no setor de leite condensado, as máquinas de envase asseguram a eficiência operacional.

A produção de leite condensado enfrenta desafios únicos devido à natureza perecível de seus produtos, que apresenta alto índice de corrosão do maquinário em decorrência da presença de açúcar. Nesse cenário, a manutenção preventiva é uma ferramenta potente afim de garantir o ideal funcionamento dessas máquinas de envase. Paradas por manutenções corretivas, nesse cenário, compromete a eficiência produtiva e apresenta riscos à qualidade e à segurança dos alimentos.

Ao prevenir falhas e garantir o ideal funcionamento dos equipamentos, o TPMS contribui para a produção sólida de produtos de alta qualidade, atendendo aos padrões requeridos.

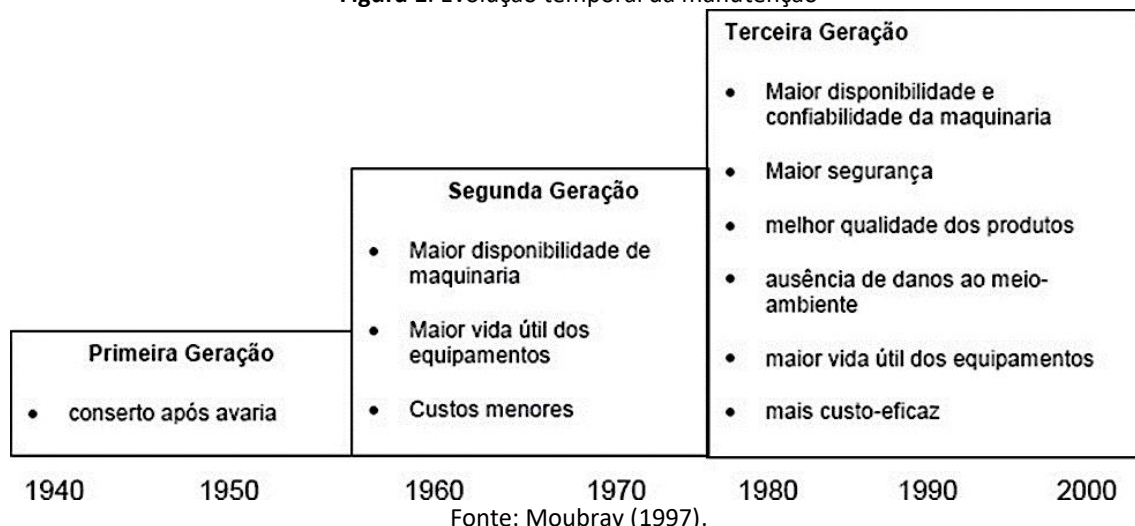
Ao longo deste artigo, serão estudados os componentes e funcionalidades específicas do TPMS, enfatizando como essa abordagem personalizada atende às demandas específicas do equipamento. Dessa forma, serão examinados os benefícios tangíveis oferecidos pelo TPMS, desde a minimização de falhas não programadas até a maximização do tempo de operação das máquinas, resultando em ganhos de eficiência e controle financeiro.

## METODOLOGIA

De acordo com Moubray (1997), a evolução das estratégias de manutenção ao longo do tempo revela a busca contínua por abordagens mais eficientes e diligentes na gestão dos ativos industriais. Inicialmente, a manutenção corretiva, representando a primeira geração, destacava-se pela intervenção apenas após a aparições de falhas nos equipamentos. Embora simples, essa abordagem resultava em tempos de inatividade prolongados e custos elevados associados a reparos de emergência.

A transição para a segunda geração trouxe a manutenção preventiva, caracterizada por ações programadas com base em critérios de tempo ou contagem de horas de operação. Embora tenha contribuído para a redução de falhas imprevistas, a manutenção preventiva apresentava limitações, como a possibilidade de manutenção desmedida e a falta de consideração pela real condição operacional dos equipamentos.

A terceira geração de estratégias de manutenção, marcada pela introdução da manutenção preditiva e da Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM), representa um salto expressivo na gestão da manutenção. Tais ferramentas permitem prevenir falhas em equipamentos, aumentando a confiabilidade, reduzindo paradas não programadas, prolongando a vida útil dos ativos, otimizando recursos, melhorando a segurança e facilitando o planejamento da produção (Figura 1).

**Figura 1.** Evolução temporal da manutenção

Na Figura 1 é mostrada a evolução da manutenção industrial ao longo do tempo, desde a primeira geração, focada no aumento da vida útil dos equipamentos, até a terceira geração, que busca maior disponibilidade e confiabilidade das máquinas, segurança e preservação do meio ambiente.

Esses avanços refletem a crescente importância da manutenção para a competitividade das empresas, que visam garantir a disponibilidade e confiabilidade de seus equipamentos para atender às demandas de produção e atender aos requisitos de qualidade e segurança.

De acordo com Campbell e Reyes-Picknell (2016), planejamento assegura a disponibilidade de recursos necessários, enquanto o agendamento define o momento da tarefa. A ausência de qualquer elemento pode aumentar os custos. Os planos preventivos estão em constante evolução.

O sistema de manutenção preventiva TPMS desenvolvido pela Tetra Pak pode ser compreendido e relacionado com a Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM) de maneiras que refletem a busca pela eficiência e confiabilidade na gestão dos ativos industriais. A RCM, conforme delineada por Moubray (1997), oferece princípios que podem influenciar diretamente as práticas da Tetra Pak em sua abordagem de manutenção preventiva.

A análise contínua dos dados do TPMS também permite ajustes personalizados nas práticas de manutenção, adaptando-as às condições específicas de operação de cada cliente. Essa flexibilidade proporciona uma abordagem adaptativa e personalizada para otimizar o desempenho dos equipamentos em diferentes ambientes operacionais.

O TPMS, ao agir como um sistema de alerta antecipado, oferece uma camada adicional de segurança operacional.

### **SOBRE O EQUIPAMENTO**

Conforme a Figura 2, a A3CompactFlex é uma máquina automatizada, que atua 24 horas por dia, 7 dias por semana. Devido ao seu funcionamento ininterrupto, a probabilidade de falhas e quebras aumenta consideravelmente.

**Figura 2.** TETRA PAK® A3/COMPACTFLEX – Equipamento utilizado no envase de leite condensado



Fonte: Tetra Pak (2023).

Esse plano deve ser desenvolvido com base nas características específicas das máquinas, incluindo o tipo de equipamento, as condições de operação e o histórico de falhas.

### DESENVOLVIMENTO

No sistema utilizado no equipamento analisado, as operações eram conduzidas por grupos distintos e cada um era responsável por tarefas específicas de manutenção. A premissa, similar ao sistema atual da Tetra Pak, visava a troca preventiva de componentes para garantir o funcionamento contínuo da máquina. Entretanto, um desafio crítico residia na falta de sincronização dos horímetros de troca entre esses grupos e até mesmo disponibilidade de mão de obra.

A falta de alinhamento nos horímetros de troca resultava em trocas descoordenadas e frequentes, levando a paradas prolongadas da máquina. Isso resultava em paradas de 12 horas toda semana, durante um mês, comprometendo a eficiência operacional e impactando negativamente no tempo de disponibilidade da máquina.

Os desafios do sistema anterior eram evidentes. O desalinho nas trocas de componentes levava a uma utilização ineficiente do tempo de parada, enquanto as paradas prolongadas prejudicavam a produção, comprometendo a capacidade da empresa de atender às demandas do mercado de maneira eficaz.

A mudança central nesse novo sistema foi a programação de paradas regulares de segunda a sexta-feira, permitindo a troca coordenada de todos os componentes dentro do horímetro especificado. Essa abordagem tem como objetivo otimizar o tempo de parada da máquina, eliminando a necessidade de paradas prolongadas e descoordenadas.

Conforme Campbell e Reyes-Picknell (2016), a implementação de um cronograma é fundamental, uma vez que, segundo a Lei de Parkinson, "a quantidade de trabalho atribuída se expandirá para preencher o tempo disponível" (adaptado parafraseado). Tradicionalmente, acredita-se que o planejamento reduz atrasos durante as tarefas, enquanto o cronograma


minimiza os atrasos entre elas. Contudo, é importante notar que, devido à Lei de Parkinson, o simples ato de planejar não resulta automaticamente em aumento da eficiência, já que as equipes tendem a ajustar seu ritmo para se adequar ao tempo disponível. Assim, o verdadeiro propósito do cronograma reside em designar trabalho suficiente, indo além da determinação do momento exato da execução da tarefa.

Ao adotar o TPMS, a Tetra Pak proporciona aos seus clientes um sistema proativo de gestão de manutenção. Esse horímetro de mil horas serve como um indicador do tempo de operação dos equipamentos, permitindo uma análise preditiva das necessidades de manutenção antes que problemas significativos possam surgir.

A empresa fornece listas detalhadas de tarefas de manutenção correspondentes aos intervalos do horímetro de troca. Essas listas abrangem desde verificações básicas até procedimentos mais complexos, visando maximizar a eficiência operacional e prolongar a vida útil dos equipamentos (Figuras 3 e 4).

**Figura 3.** Lista de verificação de 1000 horas fornecida pela Tetra Pak

**Lista de Verificação**

 Security Classification: Public Information

Número da Ordem de Serviço:	5002696864	Planta do Cliente:	[BRC-ITALAC CUB] Goiasminas Ind Latic, Corumbaliba
Ordem de Serviço Principal:		Linha e Equipamento:	BRC-ITALAC CUB-L_023 \ 21220/00256
Service Order Number:		Descrição do Ativo:	[9000159188] TP A3/CF-030V TBA3005 HVA
Pedido de Compra:		Descrição do Tipo de Ativo:	[641550-0300] Tetra Pak A3/CompactFlex
Tipo de Serviço:	[PREVEN] Preventivo	Envolvimento do Cliente:	L
Seção:	[CS] Cliente	Status:	Aguardando Aprovação
Duração estimada:	51:23	Generated On UTC:	10/01/2023 09:43:41
Início UTC:	10/11/2023	Intervalo de Revisão:	44000
Serviço Requisitado:	Tasks (286) for: 4000 Horas; 2000 Horas; 1000 Horas; 500 Horas; (299 Tasks Proposed; 286 Tasks Created; 13 Tasks Suppressed)		
Serviço realizado:			
VCK:			

Código do horímetro	Descrição do horímetro	Horímetro estimado na data da revisão	Leitura do horímetro de término	Leitura do horímetro na data de execução
21220/00256_102014060	PROD-TOTAL	44000		

**ATENÇÃO!** Antes de iniciar qualquer serviço, leia as instruções de segurança existentes no Manual de Manutenção correspondente.

Maintenance Manual	Operator Manual	Spare Parts Catalogue	Technical Manual	Rebuilding Manual
UP 3412314-0104	OM 3212179-0120 HVA	SPC 3212181-0125		RM-3404281-0102 OK NAPV
UP 3291686-0103	OM 3212177-0122			RM 3236555-0101
MM 3212185-0103 HVA	OM 3212178-0121 PT			
MM 3212184-0105 HI				
MM 3212175-0125				
MM 3212175-0124				

Executado por	Horas trabalhadas

**Classificações dos Feedbacks das Tarefas**

Razão da Não Execução	Condição da Peça Substituída	Origem da Peça
Códig o	Códig o	Códig o
Descrição	Descrição	Descrição
1 Peça de reposição não disponível	1 Peça danificada	TP Tetra Pak
2 Peça em boas condições	2 Peça com falha potencial	CS Estoque do Cliente - Fornecido pela Tetra Pak
3 Decisão do Cliente	3 Peça em boas condições	CN Estoque do Cliente - Não Fornecido pela Tetra Pak
4 Trabalho disponível insuficiente	4 Valor do menu selecionado incorretamente	CR Estoque do Cliente - Peça reformada
5 Informação insuficiente		SB Service box
6 Tarefa incorretamente adicionada		NA Valor do menu selecionado incorretamente
7 Tarefa executada recentemente		
8 Valor do menu selecionado incorretamente		
9 Modelo não disponível		

Com o TPMS, que utiliza horímetros de mil horas como indicadores de manutenção, as empresas podem adotar uma abordagem dinâmica na gestão de seus ativos industriais. Ao seguir as listas detalhadas de tarefas associadas a esses horímetros, é possível antecipar as necessidades de manutenção, programar intervenções planejadas e evitar falhas inesperadas. Como evidenciado na Figura 4, a lista TPMS indica as peças mandatórias de troca que devem ser substituídas. Dessa forma, o técnico responsável pelo serviço indica se a troca foi realizada, a integridade das peças e a quantidade utilizada.

**Figura 4.** Tarefa de troca de peças

*834543	Troque	Troque Bucha / vedação	Executado	✓	Condição da Peça Substituída	2
ENGR	CS	OnlyWhenStationary	0:30	1000 Horas	Razão da Não Execução	TP
1.1.1.7-2	A2 Aseptic Performance	Falhou			Ref. da solicitação de atualização	
Código da peça	Descrição da peça	MU/TL	Qtd requerida	Qtde Usada		
90600-5539	ANEL VEDANTE		2	2		
90600-8806	Casquilho		2	2		
1607031-0100	grease H1-0520	TL				

Fonte: Tetra Pak (2023).

Na Figura 5 é ilustrada a importância das verificações. O técnico verificou que as peças indicadas estavam com rachaduras e deformidades. Essas condições indicam que a peça pode falhar a qualquer momento. Para evitar uma falha inesperada, o técnico decidiu antecipar a troca da peça.

**Figura 5.** Tarefa de verificação de peças

(641550-0300:641501-0300 (616445)) Superestrutura \ [2890045-0300] Unidade base \ [2808330-0300] Elemento de ar quente }						
*20102542	Verificar	Verificar LS Bucha / junta de vedação / ponta da haste	Executado		Condição da Peça Substituída	1
ENGR	CS	OnlyWhenStationary	0:05	2000 Horas	Razão da Não Execução	TP
1.1.9-1	A1 Safety	Falhou			Ref. da solicitação de atualização	
Tarefa após falha, quando a inspeção falhar (NOTA: deve ser reportada apenas na Ordem de Serviço de tarefas após falha)						
*9563199	Troque	LS Bucha / junta de vedação	MU/TL	Qtd requerida		
271269-0000	CASQUILHO			2		
2808413-0000	JUNTA DE VEDACAO			1	2	
2898823-0000	JUNTA DE VEDACAO			1	1	
295909-0000	CASQUILHO			1	1	
491487-0000	CASQUILHO			1	1	
751023-0000	JUNTA DE VEDACAO			2	2	
90450-0725	SUPORTE DE FORQUILHA			1	1	
90459-0399	FLANGE			1	1	

Fonte: Tetra Pak (2023).

## CONTROLE DE CUSTOS

Ao organizar um planejamento de manutenção baseado no TPMS, as empresas calculam com maior precisão os custos associados. Isso ocorre porque o mesmo fornece uma visão clara das tarefas necessárias, dos materiais requeridos e do tempo estimado para cada intervenção. Esse nível de detalhe permite a criação de orçamentos mais precisos, evitando surpresas e otimizando o uso dos recursos financeiros.

De acordo com Mohamed et al. (2009), um orçamento representa uma expressão quantitativa de um plano, servindo como um auxílio na coordenação e implementação desse plano. Além disso, impõe disciplina por meio de um planejamento sistemático na organização. O orçamento também estabelece um canal de comunicação bidirecional entre as diferentes

camadas hierárquicas da organização, permitindo feedback tanto de cima para baixo quanto de baixo para cima. Esse processo iterativo tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica e financeira das ações planejadas.

O orçamento é uma ferramenta que ajuda a garantir que os recursos necessários estejam disponíveis para realizar as tarefas de manutenção da melhor forma. Para maior facilidade os orçamentos são divididos por grupos específicos da máquina (Tabela 1).

**Tabela 1.** Tabela de planejamento orçamentário do equipamento

EQUIPAMENTO	DESCRIÇÃO	COTAÇÃO	VALOR
COMPACTFLEX	CORPO DA MÁQUINA	23722516	R\$ 2.846,91
COMPACTFLEX	M.U MANDIBULA E CORTE DIREITA E ESQUERDA	23721115	R\$ 47.655,84
COMPACTFLEX	M.U RODA DE ESTAÇÃO	23721138	R\$ 26.164,52
COMPACTFLEX	M.U DISPOSITIVO PARA FIXAÇÃO E ELEVACÃO (YOKE)	23721131	R\$ 82.657,78
COMPACTFLEX	M.U DISPOSITIVO DE PRESSÃO	23721136	R\$ 3.176,02
COMPACTFLEX	M.U MANDIBULA DE PRESSÃO DIREITA E ESQUERDA	23721128	R\$ 46.838,86
COMPACTFLEX	M.U DISPOSITIVO DE PRESSÃO	23721135	R\$ 23.514,83
COMPACTFLEX	M.U DISPOSITIVO DE VOLUME LADO ESQUERDO E	23721119	R\$ 40.230,58
COMPACTFLEX	DOBRADORA FINAL	23746885	R\$ 34.346,41
COMPACTFLEX	SISTEMA DE MANDÍBULAS	23722521	R\$ 5.708,80
COMPACTFLEX	UNIDADE DE ACIONAMENTO	23722546	R\$ 38.092,73
COMPACTFLEX	UNIDADE DE EMENDA	23722564	R\$ 14.882,61
COMPACTFLEX	DOBRADORA FINAL	23638619	R\$ 1.732,48
COMPACTFLEX	SUPERESTRUTURA	23602296	R\$ 3.250,25
			R\$ 371.098,62

Fonte: Autores.

Isso permite que a empresa acompanhe os custos de manutenção de cada parte da máquina e tome decisões informadas sobre quais partes precisam de mais atenção.

Adicionalmente, a previsibilidade proporcionada pelo TPMS e suas listas de tarefas permite uma melhor gestão do estoque de peças de reposição. As empresas podem manter um inventário mais eficiente, garantindo que tenham os componentes necessários disponíveis quando programadas as manutenções, reduzindo assim o tempo de inatividade.

### INDICADORES MTBF E OEE

Em termos simples, o Mean Time Between Failures (MTBF), traduzido como Tempo Médio Entre Falhas, indica quanto tempo, em média, um sistema pode operar antes de ocorrer uma falha. Para Kardec e Nascif (2009) é uma métrica importante na avaliação da confiabilidade de

um dispositivo ou sistema. Um MTBF mais longo geralmente sugere maior confiabilidade, enquanto um MTBF mais curto indica maior propensão a falhas.

A obtenção desse indicador é realizada ao dividir a soma das horas disponíveis para operação do equipamento pelo número de intervenções corretivas executadas no mesmo período, conforme a seguinte equação (Viana, 2002).

$$MTBF = \frac{HD}{NC}$$

Sendo,

MTBF = Tempo médio entre falhas;

HD = Tempo total de operação (em horas);

NC = Número total de falhas durante o período considerado.

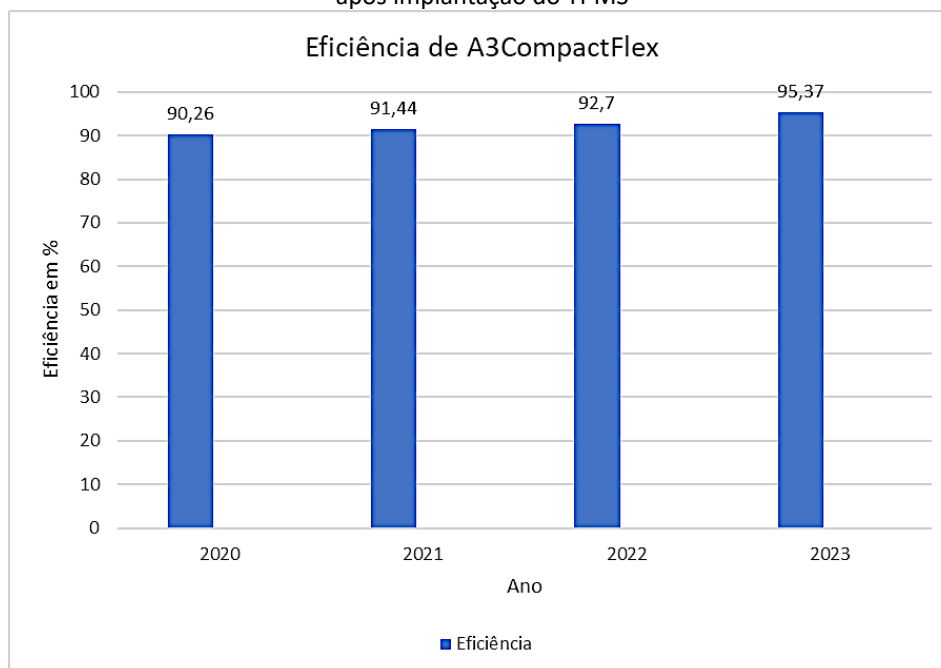
Já o OEE, que significa Overall Equipment Effectiveness (Eficácia Global do Equipamento, em português), é um indicador-chave de desempenho (KPI) utilizado na indústria para medir a eficiência global de um equipamento ou sistema de produção. Ele fornece uma medida do quão bem utilizado é um equipamento em comparação ao seu potencial máximo.

O OEE é calculado pela multiplicação de três fatores: Disponibilidade, desempenho e qualidade. Tal indicador é indispensável para avaliar o desempenho de máquinas e processos de produção, identificando áreas de melhoria e maximizando a eficiência operacional.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo comparou os resultados de 2020, ano em que o equipamento ainda não seguia o plano TPMS, com os resultados de 2021, 2022 e parte de 2023, anos em que o plano já estava em vigor. Os resultados do estudo mostraram que a eficiência dos equipamentos da fábrica aumentou significativamente após a implantação do plano de manutenção preventiva (Gráfico 1).

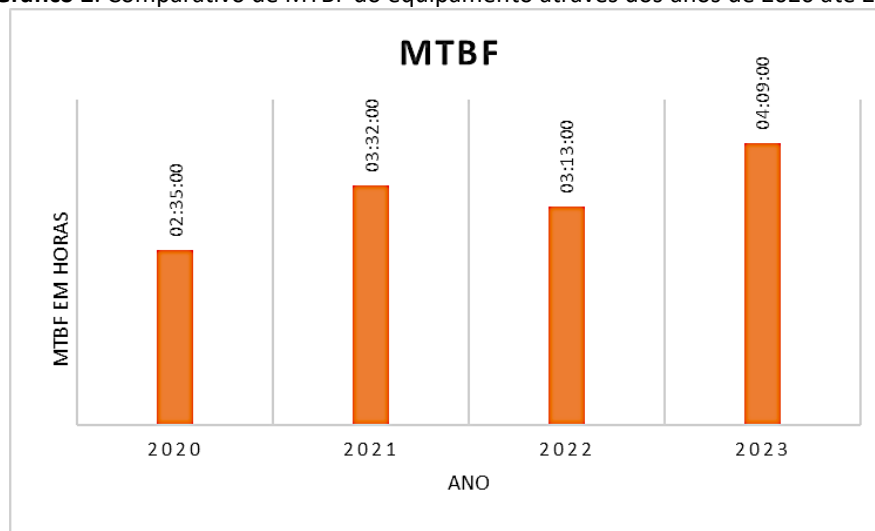
**Gráfico 1.** Comparativo de eficiência do equipamento através dos anos que evidencia melhora de eficiência após implantação do TPMS



Fonte: Autores.

Conforme o apresentado no Gráfico 2, é notória a melhora em comparação aos anos anteriores, demonstrando que o sistema foi se aperfeiçoando, impactando positivamente no MTBF do equipamento.

**Gráfico 2.** Comparativo de MTBF do equipamento através dos anos de 2020 até 2023



Fonte: Autores (2023).

No período anterior à implementação do sistema, os custos anuais de manutenção são registrados como ponto de referência. Essa fase inicial serve como base para avaliar o impacto das mudanças introduzidas. O ano de implementação marca o ponto de virada na abordagem da empresa em relação à manutenção.

A partir desse ponto de transição, os custos anuais com manutenção corretiva começam a revelar uma tendência descendente consistente. Os valores registrados nos anos subsequentes refletem uma redução notável em comparação com os custos anteriores à implementação do sistema Tetra Pak. Essa diminuição indica que a estratégia de manutenção preventiva adotada está desempenhando um papel proficiente na gestão dos recursos da empresa.

A comparação direta entre os custos anuais antes e depois da implementação destaca a efetividade do novo sistema. É possível inferir que a abordagem preventiva adotada pela Tetra Pak está contribuindo para a mitigação de falhas inesperadas, prolongamento da vida útil dos equipamentos e otimização dos processos de manutenção. Além disso, a Tabela 2 proporciona uma visão clara da consistência dessa tendência de redução de custos ao longo do tempo.

**Tabela 2.** Custos anuais do equipamento de 2020 a 2023

COMPARATIVO ANUAL								
	2020	%	2021	%	2022	%	2023	%
PREVENTIVA	R\$2.139.682,09	40%	R\$3.165.537,22	53%	R\$4.659.110,17	72%	R\$2.707.646,54	62%
CORRETIVA	R\$3.254.644,49	60%	R\$2.783.280,68	47%	R\$1.806.295,98	28%	R\$1.662.789,08	38%
<b>TOTAL</b>	<b>R\$5.394.326,58</b>	<b>100%</b>	<b>R\$5.948.817,90</b>	<b>100%</b>	<b>R\$6.465.406,15</b>	<b>100%</b>	<b>R\$4.370.435,62</b>	<b>100%</b>

Fonte: Autores (2023).

Isso sugere uma implementação bem-sucedida e sustentável do sistema de manutenção preventiva, com benefícios financeiros tangíveis para a empresa.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo destaca a importância da manutenção preventiva, especialmente no contexto da indústria de alimentos. A implementação do Tetra Pak Maintenance System (TPMS) revelou-se uma estratégia eficaz para otimizar a operação das máquinas, contribuindo não apenas para a eficiência operacional, mas também para a qualidade do produto.

Ao longo do desenvolvimento, foi evidenciada a evolução das estratégias de manutenção, desde a manutenção corretiva até a abordagem da manutenção preventiva, refletindo a busca contínua por eficiência e confiabilidade na gestão de ativos industriais. A comparação temporal dos resultados antes e depois da implementação do TPMS demonstrou melhorias significativas na eficiência dos equipamentos, destacando o aumento do Mean Time Between Failures (MTBF) como um indicador concreto da confiabilidade.

A análise dos custos anuais revelou uma tendência consistente de redução após a implementação do TPMS, indicando não apenas a efetividade a curto prazo, mas também a sustentabilidade a longo prazo da estratégia de manutenção preventiva adotada. A abordagem baseada em horímetros de mil horas, proporcionando uma gestão preditiva das necessidades de manutenção, mostrou-se valiosa para evitar falhas inesperadas, maximizar a eficiência operacional e controlar os custos de manutenção.

Em suma, a implementação bem-sucedida do TPMS pela Tetra Pak destaca a importância de abordagens personalizadas e adaptativas na gestão da manutenção industrial. A integração de práticas da Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM) e a análise contínua de dados forneceram uma solução abrangente que além de atender às demandas específicas das máquinas A3CompactFlex, também contribuiu para o alcance de alta produtividade com qualidade na produção de leite condensado. A manutenção preventiva, quando implementada de forma estratégica e personalizada, emerge como um pilar essencial para garantir a disponibilidade, confiabilidade e eficiência dos equipamentos industriais.

## REFERÊNCIAS

- Kardec, A. & Nascif, J. (2009). *Manutenção: função estratégica* (3ª ed.). Rio de Janeiro: Qualitymark.
- Madeira, L. R. H. & Silva, L. B. (2022). *Estruturação do setor de manutenção de uma fábrica de mangueiras* (Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia). Universidade Federal de Uberlândia.
- Mohamed, B., et al. (2009). *The Handbook of Maintenance Management and Engineering* (1ª ed.). Berlin: Springer.
- Moubray, J. (1997). *Reliability-centered maintenance: Second edition* (2ª ed.). New York: Industrial Press Inc.
- Oliveira, J. C. S. (2013). Análise de indicadores de qualidade e produtividade da manutenção nas indústrias brasileiras. *Revista GEPROS (Gestão da Produção, Operações e Sistemas)*, 8(3). Recuperado de <http://www.revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/download/1021/501>
- Puvanasvaran, P., Teoh, Y. S., & Tay, C. C. (2013). Consideration of demand rate in overall equipment effectiveness (OEE) on equipment with constant process time. *Journal Of Industrial Engineering and Management*, 6(2), 507-525. <https://doi.org/10.3926/jiem.537>
- Santos, M. C. dos. (2019). *Desenvolvimento de um plano de manutenção preventiva e preditiva para a melhoria da confiabilidade de um processo industrial automatizado* (Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília). Universidade de Brasília. Recuperado de <http://repositorio.unb.br/handle/10482/36110>
- Santos, R. S. (2018). *Manutenção preventiva e corretiva: estudo de caso: máquinas de envase de manteiga em pote em uma fábrica de laticínio*. (Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia). Universidade Federal de Uberlândia. Recuperado de <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/23068>
- Silva, D. B. (2016). *Implementação do Plano Mestre de Manutenção Preventiva para a melhoria na eficiência de linhas de envase de leite tipo UHT: um estudo de caso*. (Monografia de Graduação, Universidade do Vale do Taquari - Univates). Recuperado de <http://hdl.handle.net/10737/1388>.
- Tetra Pak. (2023). *Máquina de envase Tetra Pak® A3/CompactFlex*. Recuperado de <https://www.tetrapak.com/pt-br/solutions/packaging/filling-machines/tetra-pak-a3-compactflex>
- Viana, H. (2002). *PCM: Planejamento e Controle da Manutenção*. Rio de Janeiro: Qualitymark.