



www.relainep.ufpr.br



# COMPARISON OF PROFITABILITY BASED ON RELIABILITY METRICS OF THREE FACTORIES OF A TIRE MULTINATIONAL USING MARKOV CHAINS

## COMPARAÇÃO DA LUCRATIVIDADE BASEADO NAS MÉTRICAS DE CONFIABILIDADE DE TRÊS FÁBRICAS DE UMA MULTINACIONAL DO RAMO DE PNEUMÁTICOS UTILIZANDO CADEIAS DE MARKOV

Daniel P. L. Júnior<sup>1</sup>□, Vanessa Garcia<sup>1</sup>, Pauli Adriano<sup>1</sup>

*Universidade Federal Fluminense*

□ [daniel\\_pires@id.uff.br](mailto:daniel_pires@id.uff.br)

*Recebido: 14 abril 2023 / Aceito: 06 dezembro 2023 / Publicado: 09 dezembro 2023*

### ABSTRACT

The increasing competitiveness of the tire sector in recent years due to the entry of Chinese products into the world market has caused a sudden change in the Brazilian market, leading companies to seek new management strategies to guarantee their market share. This article aims to analyze and compare the profitability of three factories of a tire company with hubs located in Canada, Brazil and China. To evaluate the profitability of companies, Markov chains are used. At the end of the research, it appears that the factory in China is the benchmark and has the best reliability metrics and consequently the highest profit. Therefore, the good practices of the factory in China must be replicated to the others in order to equalize their profits

**Keywords:** Markov Chain, Tires industry, reliability metrics.

### RESUMO

O crescente aumento da competitividade do setor de pneumáticos nos últimos anos devido a entrada dos produtos chineses no mercado mundial, tem provocado uma mudança brusca de mercado brasileiro levando as empresas a buscarem novas estratégias de gestão para garantirem suas participações no mercado. Este artigo tem por objetivo analisar e comparar a lucratividade de três fábricas de uma empresa de pneumáticos com polos situados no Canadá, Brasil e China. Para avaliar a lucratividade das empresas utiliza-se Cadeias de Markov. Ao final da pesquisa, constata-se que a fábrica da China é o benchmarking e apresenta as melhores métricas de confiabilidade e consequentemente o maior lucro. Portanto, deve-se replicar as boas práticas da fábrica da China para as demais de forma a equalizar os lucros das mesmas.

**Palavras-chave:** Cadeias de Markov, Indústria de pneumáticos, Métricas de confiabilidade.

# 1 INTRODUÇÃO

A partir de meados do século 20, a competitividade global iniciou-se de forma intensa em todos os mercados ao redor do mundo. Por este motivo, houve a necessidade de modificar as práticas relacionadas aos processos de fabricação para que houvesse aumento da performance industrial objetivando tornar as empresas mais competitivas no mercado (HADI et al., 2017). Desde a reforma econômica e política em 1978, a economia da China cresceu rapidamente para se tornar a segunda maior economia, aumentando ainda mais a concorrência ao redor do mundo (CHEN et al., 2019). No setor de pneumáticos, a chegada dos pneus chineses e asiáticos tornou a concorrência ainda mais acirrada.

Com o advento dessa Nova Economia de forte concorrência, a manutenção passa a ser um setor chave para a maximização dos lucros e não apenas responsável por garantir a sobrevivência das empresas (AMIM et al., 2019). Mais acirrada devido ao baixo custo final dos pneus vindos desses países (AMORIM, 2020). Nas fábricas consideradas para o estudo, são realizadas manutenções preventivas, corretivas e preditivas diariamente de forma contínua em que a cobrança por resultados operacionais vem se tornando cada vez mais forte devido ao cenário atual. A condição da manutenção dentro das organizações ainda apresenta uma série de problemas, tais como: falta de gestão, carência de capacitação, ausência de informações, baixos níveis de implementação de manutenção planejada e falta de consolidação de conceitos básicos inerente à boas práticas (ROSA et al., 2020). Por isso, a importância de se ter uma boa gestão da manutenção com tomadas de decisão assertivas visando alavancar a performance dos equipamentos industriais e aumentar lucratividade.

Neste contexto, modelos matemáticos vêm auxiliando os gestores de diversas formas. Pois tais modelos utilizam dados numéricos e permitem que as decisões sejam tomadas não apenas por meio das convicções e experiências adquiridas pelos responsáveis do setor de manutenção. No ramo de confiabilidade de equipamentos, um método amplamente utilizado para prever estados futuros de sistemas é denominado método da Cadeias de Markov, que pode ser utilizado quando se deseja analisar uma grande quantidade de dados de um problema (MORADI, 2020).

Ainda no intuito de alavancar a performance industrial, as empresas têm usado

atualmente uma abordagem que consiste na realização de benchmarking interno, o qual envolve medir e comparar objetivamente os resultados de organizações de um mesmo grupo com a intenção de melhorar o desempenho (ALTAN, 2022). O equipamento mais eficiente pode ser utilizado como referência em relação às melhores práticas operacionais. A identificação dessas práticas pode contribuir para aumentar a eficiência de operações ineficientes de fábricas ou setores de uma mesma empresa sem a necessidade de comparações externas (SOUZA et al., 2018).

Com base nesta perspectiva, este trabalho busca a aplicação de um benchmarking interno numa indústria de pneumáticos, através da utilização de um modelo baseado na confiabilidade dos equipamentos, capaz de comparar a performance de fábricas de uma mesma indústria, identificar o benchmarking e posteriormente desdobrar as boas práticas para as demais com o intuito de aumentar a lucratividade e competitividade no mercado mundial.

As análises realizadas na presente pesquisa foram aplicadas em fábricas localizadas em três países, sendo esses: Brasil, Canadá e China.

## **2 MÉTODO**

Essa pesquisa quanto a natureza é classificada como aplicada porque visa gerar conhecimentos para aplicações práticas e imediatas em que o método considerado para alavancar a performance industrial do setor gargalo de uma empresa específica de pneumáticos possa ser aplicado pelas demais empresas do ramo. Quanto aos objetivos, têm caráter descritivo, pois busca descrever as características de um determinado setor de uma indústria de pneus assim como o estabelecimento de relações entre a confiabilidade dos equipamentos e as estratégias de manutenção que devem ser executadas. Segundo Vergara (2000), esse tipo de pesquisa expõe as características de determinada população e estabelece correlações entre as variáveis. Para se alcançar os objetivos foi utilizado um método baseado na teoria da confiabilidade, para identificar a taxa de falhas dos equipamentos e determinar a melhor estratégia. Foram realizadas as seguintes etapas: obtenção dos dados, escolha das variáveis e modelo, aplicação do modelo e análise dos resultados obtidos.

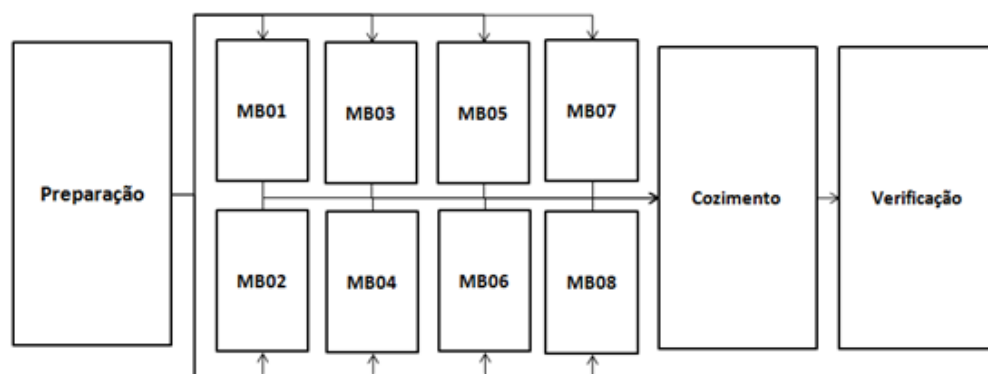
Em relação à abordagem, a pesquisa pode ser classificada como quantitativa, porque recorre a uma linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno,

relações ente variáveis e tomar decisões com base em resultados numéricos com pouca ou nenhuma subjetividade. Para a realização dos cálculos foi utilizado software Rstudio por ser gratuito e de fácil utilização. Quanto a técnica de coleta de dados, trata-se de uma pesquisa documental pois os dados foram obtidos diretamente do software de manutenção da empresa de pneumáticos sem tratamentos anteriores. A pesquisa documental é a coleta de dados em fontes pertencentes à arquivos públicos, instituições particulares ou fontes estatísticas (LAKATOS e MARCONI, 2004).

## 2.1 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

A fabricação do pneu divide-se em quatro partes principais: fabricação dos componentes do pneu, posteriormente a montagem que consiste na união das partes, logo em seguida cozimento e por fim a verificação conforme apresentado na Figura 1. O estudo será realizado na segunda parte do processo produtivo no setor conhecido como montagem que é composto por oito máquinas independentes conhecidas como MB's. Vale a pena destacar que as mesmas são idênticas e não dependem umas das outras, ou seja, a soma das produções individuais compõem a produção total do setor. O estudo será realizado nas três máquinas que rodam dimensões de pneus médios (15, 16 e 17 polegadas). Vale a pena ressaltar que as dimensões médias são as que representam a maior parte dos pneus nacionais vendidos no mercado interno.

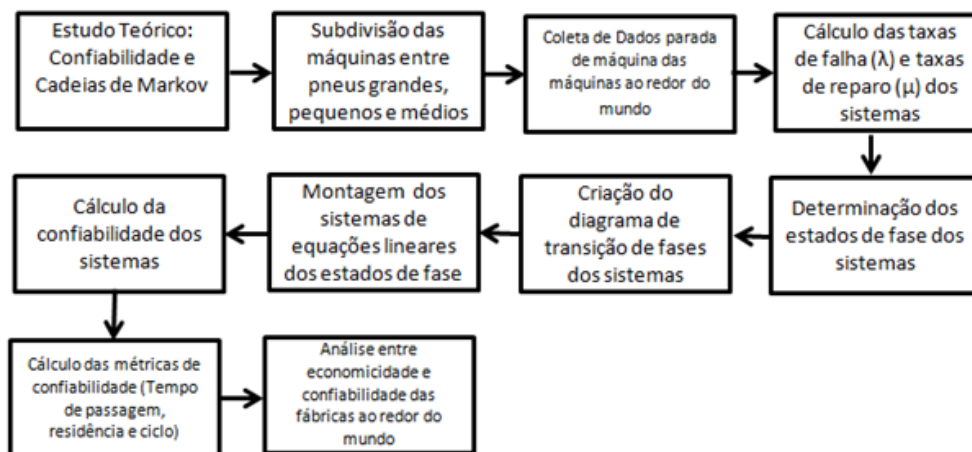
Figura 1 – Fluxograma do processo de fabricação do pneu



Fonte: Autor

Para a realização da modelagem Markoviana na pesquisa foram realizadas as etapas apresentadas na Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma das etapas de pesquisa



Fonte: Autor

### 3 RESULTADOS

O presente capítulo apresenta o desenvolvimento da metodologia proposta, expondo os resultados, validações e discussões sobre os resultados alcançados. São apresentados os resultados de disponibilidade, métricas de confiabilidade dos sistemas de pneus médios e sua respectiva análise de lucratividade. Em seguida são comparados os resultados obtidos pelas três fábricas e o sistema benchmarking é definido com o objetivo de difundir suas melhores práticas para as outras fábricas.

#### 3.1 ANÁLISE ECONÔMICA E DA DISPONIBILIDADE DO SISTEMA DE MÁQUINAS QUE PRODUZEM PNEUS MÉDIOS NAS FÁBRICAS CONSIDERADAS

Nesta seção serão realizadas comparações das métricas de confiabilidade dos sistemas de máquinas que produzem pneus médios nas plantas localizadas no Brasil, China e Canadá visando encontrar o sistema com melhor performance e consequentemente replicar as boas práticas para as demais. O esquema representativo segue na Figura 3 com as respectivas taxas de falha e taxas de reparo.

Figura 3 – Esquema representativo dos sistemas constituídos por três máquinas que fabricam pneus médios

Sistema pneus médios		
Brasil	MB2-03	MB2-04
	$\lambda$ 0,060 $\mu$ 1,326	$\lambda$ 0,060 $\mu$ 1,326
		MB2-05
		$\lambda$ 0,060 $\mu$ 0,431
China	MB2-03	MB2-04
	$\lambda$ 0,032 $\mu$ 1,891	$\lambda$ 0,032 $\mu$ 1,891
		MB2-05
		$\lambda$ 0,032 $\mu$ 1,891
Canadá	MB2-03	MB2-04
	$\lambda$ 0,068 $\mu$ 1,133	$\lambda$ 0,068 $\mu$ 1,133
		MB2-05
		$\lambda$ 0,068 $\mu$ 1,133

Fonte: Autor

Vale a pena ressaltar que foi utilizado o teste de Laplace para verificar se as taxas de falha e taxas de reparo podem ser consideradas como funções constantes.

Realizando o teste de Laplace para as taxas de falha, tem-se:

- Hipótese nula ( $H_0$ ) - As taxas de falha podem ser consideradas como constante;
- Hipótese alternativa ( $H_1$ ) - As taxas de falha não podem ser consideradas como constante.

Realizando o teste de Laplace para as taxas de reparo, tem-se:

- Hipótese nula ( $H_0$ ) - As taxas de reparo podem ser consideradas como constantes;
- Hipótese alternativa ( $H_1$ ) - As taxas de reparo não podem ser consideradas como constantes.

Aplicando a Equação 01, calcula-se as respectivas estatísticas de teste para as taxas de falha apresentada na Tabela 1.

$$U_{calculado} = \sqrt{12N} \times \left( \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{NT_0} - 0,5 \right) \quad (01)$$

N - número de ocorrências de falha

$T_i$  - tempos das ocorrências de falha

$T_0$  - tempo da última falha

Tabela 1 – Matriz das estatísticas de teste dos tempos de falhas das máquinas de pneus médios considerados

<b>U CALCULADO TAXAS DE FALHA</b>			
Máquina	Brasil	China	Canadá
MB2-03	0,8	-0,5	1,4
MB2-04	1,7	1,1	1,6
MB2-05	-0,8	0,7	1,4

Fonte: Autor

Aplicando a Equação 01, calcula-se as respectivas estatísticas de teste para as taxas de reparo apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Matriz das estatísticas de teste dos tempos de reparo das máquinas de pneus médios considerados

<b>U CALCULADO TAXAS DE REPARO</b>			
Máquina	Brasil	China	Canadá
MB2-03	-1,1	-0,8	1,1
MB2-04	1,4	0,9	1,0
MB2-05	-1,0	0,9	1,2

Fonte: Autor

Definiu-se o nível de significância  $\alpha = 5\%$ , e com isso região crítica fica representada por:  $RC = ]-\infty, -1,96[ U ]1,96, +\infty[$ . Como todos os valores das estatísticas de teste das falhas e reparos das máquinas de pneus médios não se encontram na região

crítica (Tabela 1 e 2), não rejeita-se as hipóteses nulas e, portanto, pode-se concluir que as taxas de falha e taxas de reparo podem ser consideradas constantes.

A Tabela 3 representa o diagrama de estados do sistema que produzem pneus médios.

Tabela 3 – Diagrama de estados do sistema de máquinas que fabricam pneus médios

<b>ESTADOS DAS MÁQUINAS (BRASIL, CHINA E CANADÁ)</b>								
Máquinas	1	2	3	4	5	6	7	8
MB2-03	0	X	0	0	X	X	0	X
MB2-04	0	0	X	0	X	0	X	X
MB2-05	0	0	0	X	0	X	X	X

Fonte: Autor

O estado 1 é o estado em que todas as três máquinas estão produzindo. O estado 2, a máquina MB2-03 está parada e as máquinas MB2-04 e MB2-05 estão produzindo. O estado 3, a máquina MB2-04 está em funcionamento e as máquinas MB2-03 e MB2-05 encontram-se fabricando pneus normalmente. No estado 4, as máquinas MB2-03 e MB2-04 encontram-se em produção e a MB2-05 parada. O estado 5, apenas a máquina MB2-05 está produzindo. No estado 6 apenas a máquina MB2-04 está fabricando pneus. No estado 7 apenas a máquina MB2-03 encontra-se em estado de produção. O estado 8 é o mais crítico em que todas as máquinas estão paradas e a produção zerada. Os oito estados estão apresentados no diagrama de transição da Figura 4.



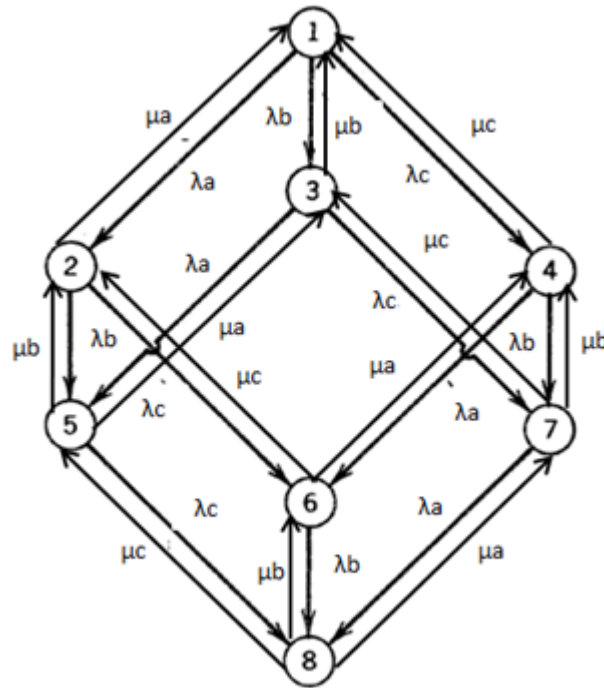


Figura 4 – Diagrama de transição do sistema constituído pelas três máquinas que fabricam pneus médios ao redor do mundo

Fonte: Autor

Após a construção do diagrama de transição, foi realizado o equacionamento do sistema visando calcularas probabilidades de estado  $P_i(t)$ , ou seja, a probabilidade do sistema encontrar-se no estado  $i$  num dado instante de tempo  $t$ . O cálculo dessas probabilidades é realizado através da resolução das equações diferenciais, as quais apresentam a formulação geral conforme a Equação 1 (RAMAKUMAR, 1996).

$$\dot{P}(t) = A P(t) \tag{1}$$

Matriz 01 – Sistema matricial do sistema de três máquinas

$$\begin{array}{l}
 \left. \begin{array}{l}
 dP_1(t)/dt \\
 dP_2(t)/dt \\
 dP_3(t)/dt \\
 dP_4(t)/dt \\
 dP_5(t)/dt \\
 dP_6(t)/dt \\
 dP_7(t)/dt \\
 dP_8(t)/dt
 \end{array} \right| = \begin{array}{cccccccc}
 -(\lambda_b + \lambda_c + \lambda_a) & \mu_a & \mu_b & \mu_c & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \lambda_a & -(\lambda_b - \lambda_c - \mu_a) & 0 & 0 & \mu_b & \mu_c & 0 & 0 \\
 \lambda_b & 0 & -(\lambda_a + \lambda_c + \mu_b) & 0 & 0 & \mu_a & 0 & \mu_c & 0 \\
 \lambda_c & 0 & 0 & -(\lambda_a + \lambda_b + \mu_c) & 0 & \mu_a & \mu_b & 0 & 0 \\
 0 & \lambda_b & \lambda_c & 0 & -(\lambda_b + \lambda_c + \mu_a) & 0 & 0 & \mu_c & 0 \\
 0 & \lambda_c & 0 & \lambda_a & 0 & -(\lambda_b + \mu_a + \mu_b) & 0 & \mu_b & 0 \\
 0 & 0 & \lambda_c & \lambda_b & 0 & 0 & -(\lambda_a + \mu_b + \mu_c) & \mu_a & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_c & \lambda_b & \lambda_a & -(\mu_a + \mu_b + \mu_c) & 0
 \end{array} \begin{array}{l}
 P_1(t) \\
 P_2(t) \\
 P_3(t) \\
 P_4(t) \\
 P_5(t) \\
 P_6(t) \\
 P_7(t) \\
 P_8(t)
 \end{array}
 \end{array}$$

Substituindo os valores de  $\lambda_a$ ,  $\lambda_b$  e  $\lambda_c$  dos respectivos países no sistema da Matriz 01, obtém-se os sistemas de equações diferenciais para cada país. Os valores das taxas de falha e taxa de reparo das máquinas nos diferentes países estão representados na Figura 3.

Através da resolução do sistema de equações aplicando a Equação 1 e considerando o estado inicial como  $P = (1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$ , ou seja, as três máquinas funcionando, obtém-se a confiabilidade do sistema. Lembrando que nesse caso, a confiabilidade é igual a disponibilidade e o gráfico está apresentado na Figura 5. Após o cálculo verificou-se que a disponibilidade do sistema de máquinas apresenta valores bem próximos tendendo ao valor de 0,99 a partir da quinta hora de produção.

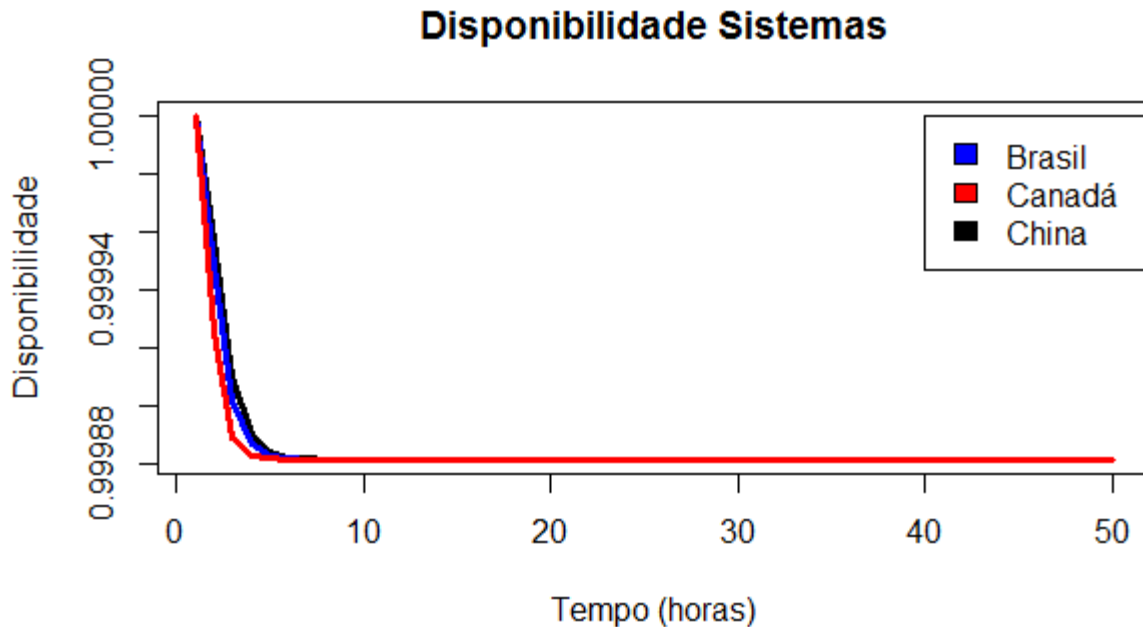


Figura 5 – Disponibilidade dos sistemas de máquinas que produzem pneus médios das fábricas existentes no Brasil, China e Canadá

Fonte: Autor

Após o cálculo, verifica-se na Figura 5, que a disponibilidade do sistema de máquinas em todos os países apresenta comportamentos muito próximos tendendo valor igual a 0,99998 a partir da quinta hora de produção. Esses sistemas possuem alta disponibilidade podendo-se concluir que falham pouco. A China possui uma disponibilidade um pouco superior ao Brasil e Canadá antes da quinta hora de produção.

Resolvendo o sistema representados para cada país e aplicando a Equação 2 obtém-se os estados estacionários, os quais estão representados na Tabela 4.

$$\dot{P}_i(t) = \frac{d}{dt} P_i(t) = 0 \quad 2)$$

Tabela 4 – Probabilidades dos estados estacionários do sistema de máquinas que fabricam pneus médios

ESTADO ESTACIONÁRIO	BRASIL	CHINA	CANADÁ
P1	0,8757	0,9445	0,8396
P2	0,0396	0,0181	0,0504
P3	0,0396	0,0181	0,0504
P4	0,0396	0,0181	0,0504
P5	0,0018	0,0003	0,0030
P6	0,0018	0,0003	0,0030
P7	0,0018	0,0003	0,0030
P8	0,0001	0,00001	0,0002

Fonte: Autor

Baseado nos resultados apresentados na Tabela 3, pode-se notar que em todos os países, o estado estacionário mais representativo é o estado 1, ou seja, com os sistemas operando normalmente com as três máquinas em aproximadamente 90% do tempo e os outros 10% encontram-se distribuídos nos outros 7 possíveis estados do sistema. Além disso, pode-se concluir que, no estado estacionário, a China possui a maior probabilidade de encontrar-se no estado 1 (cerca de 94 %), ou seja, com as três máquinas produzindo simultaneamente. Seguido do Brasil 87% e do Canadá aproximadamente 84%.

Utilizando a Equação 3, encontram-se as frequências de estados dos sistemas, as quais estão representadas na Tabela 5.

$$f_i = P_i \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n A_{ij} \quad 3)$$

Tabela 5 – Frequências de estado do sistema de máquinas que fabricam pneus médios

<b>FREQUÊNCIA DE ESTADO</b>	<b>BRASIL</b>	<b>CHINA</b>	<b>CANAD Á</b>
f1	0,1576	0,0907	0,1713
f2	0,0573	0,0355	0,0639
f3	0,0573	0,0355	0,0639
f4	0,0573	0,0355	0,0639
f5	0,0049	0,0013	0,0071
f6	0,0049	0,0013	0,0071
f7	0,0049	0,0013	0,0071
f8	0,0049	0,00004	0,0006

Fonte: Autor

Para encontrar os valores de tempo de ciclo para o sistema de pneus médios aplica-se a Equação 4. Os valores do tempo de ciclo encontram-se na Tabela 6.

$$E[T_i] = \frac{1}{f_i} \quad 4)$$

Tabela 6 – Tempo de ciclo dos estados do sistema de máquinas que fabricam pneus médios

TEMPO DE CICLO (H)	BRASIL	CHINA	CANADÁ
F1	6,3	11,0	5,8
F2	17,5	28,2	15,6
F3	17,5	28,2	15,6
F4	17,5	28,2	15,6
F5	205,7	752,6	141,7
F6	205,7	752,6	141,7
F7	205,7	752,8	141,7
F8	3098,6	26349,3	1620,9

Fonte: Autor

Baseado nos dados apresentados na Tabela 6, pode-se constatar que o estado de menor tempo de ciclo e conseqüentemente o que mais ocorre é o estado 1 em todos os países. Porém, os estados 2, 3 e 4 que representam os estados em que uma máquina está parada também são comuns com cerca de 16 horas para Brasil e Canadá e 13 horas para China. Os estados em que duas das três máquinas ficam paradas são bem menos frequentes. Ocorrem cerca de 8 dias no Brasil, 31 dias na China e 6 dias no Canadá. O estado de menor ocorrência (apresenta maior tempo de ciclo) é o 4 em que as máquinas ficam paradas. Uma vez que ocorre o estado 4 na China, ele leva cerca de 26.349 horas (1.000 dias) para ocorrer novamente. No Brasil cerca de 129 dias e, Canadá 67 dias no Canadá, o que confirma a melhor performance da China.

Para encontrar o valor do tempo de residência, aplica-se a Equação 5. Os valores de tempo de residência para pneus médios encontram-se na Tabela 7.

$$E[T_i''] = \frac{P_i}{f_i} \quad 5)$$

Tabela 7 – Tempo de residência dos estados do sistema de máquinas que fabricam pneus médios

<b>TEMPO DE RESIDÊNCIA (H)</b>	<b>BRASIL</b>	<b>CHINA</b>	<b>CANADÁ</b>
R1	5,6	10,4	4,9
R2	0,7	0,5	0,8
R3	0,7	0,5	0,8
R4	0,7	0,5	0,8
R5	0,4	0,3	0,4
R6	0,4	0,3	0,4
R7	0,4	0,3	0,4
R8	0,3	0,2	0,3

Fonte: Autor

A partir dos dados das Tabela 7, pode-se concluir que a China fica em média cerca de 10,4 horas no estado 1, ou seja, com as 3 máquinas produzindo enquanto o Brasil 5,6 horas e Canadá apenas 4,9 horas. Pode-se notar uma grande diferença da China para os demais. Além disso, China fica cerca de 1,5 horas com duas máquinas produzindo, enquanto o Brasil fica 2,1 horas e o Canadá 2,4 horas. China fica cerca de 0,9 horas com uma máquina produzindo, enquanto Brasil e Canadá 1,2 horas. Comparando-se os tempos de residência e tempo de ciclo dos estados 2, 3, 4, 5, 6 e 7 (Tabelas 19 e 20) pode-se concluir que os tempos de ciclo são bem superiores. Isso deve-se ao sistema permanecer pouco tempo nesses estados e rapidamente retomar ao estado 1.

A partir da Tabela 7, encontra-se os percentuais de permanência em cada estado como apresentado na Tabela 8 auxiliando no cálculo de lucro das fábricas.

Tabela 8 – Percentual de tempo de residência dos estados do sistema de máquinas que fabricam pneus médios

<b>% PERMANÊNCIA NO ESTADO</b>	<b>BRASIL</b>	<b>CHINA</b>	<b>CANADÁ</b>
--------------------------------	---------------	--------------	---------------

R1	60,9%	80,7%	55,7%
R2	7,6%	4,0%	9,1%
R3	7,6%	4,0%	9,1%
R4	7,6%	4,0%	9,1%
R5	4,3%	2,0%	4,5%
R6	4,3%	2,0%	4,5%
R7	4,3%	2,0%	4,5%
R8	3,3%	1,4%	3,4%

Fonte: Autor

Para o cálculo do lucro total de pneus médios em cada país aplicou-se a Equação 6 e foram consideradas as seguintes premissas: tempo para fabricar 1 bandagem igual a 0,96 minutos, abertura de 1 ano (365 dias), e uma lucratividade média de R\$ 150,00 por pneu pequeno.

$$Lucro\ total = Lucro\ por\ pneu \times \sum_{i=1}^n \frac{(\% Ri \times Ni \times abertura)}{Tempo\ de\ ciclo} \quad (6)$$

A partir da Tabela 8, pode-se constatar que se o Brasil apresentasse as mesmas métricas de confiabilidade da China passaria cerca de 79,8 % do tempo com as três máquinas funcionando, ou seja, com a produção máxima. 12,0 % do tempo, passaria com a produção parcial em que duas máquinas encontrar-se-iam em condições de produção e 6 % do tempo com somente uma máquina funcionando e apenas em 2% do tempo as três máquinas estariam paradas sem produzir nada. Considerando os percentuais acima e aplicando-se a Equação 36, conclui-se que o Brasil teria um lucro com pneus médios de R\$ 223,5 milhões/ano caso apresentasse as mesmas métricas de confiabilidade da China.

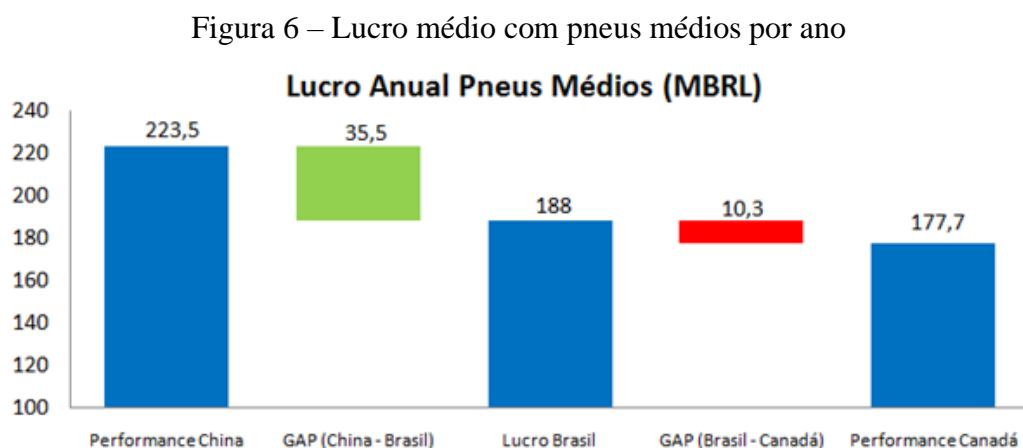
Na produção de pneus médios, o Brasil passa cerca de 60,9% do tempo com as três máquinas funcionando, ou seja, com a produção a ritmo 100%. 22,8% do tempo, o Brasil passa com a produção parcial em que duas máquinas encontram-se em condições de produção. 12,9 % do tempo, somente uma máquina encontra-se em condições de



produção e apenas 2,8% do tempo as três máquinas estão paradas e a produção de pneus grandes encontra-se zerada. Considerando esses percentuais e aplicando a Equação 36, obtém-se o lucro no Brasil com pneus médios de R\$ 188,0 milhões/ano.

Na produção de pneus médios, caso o Brasil apresentasse as mesmas métricas de confiabilidade do Canadá passaria cerca de 55,7% do tempo com as três máquinas funcionando, ou seja, com a produção em ritmo total. Em 27,3% do tempo a produção seria parcial, ou seja, duas máquinas em estado de produção, 13,5 % do tempo, somente uma máquina estaria em condições de produção e, em apenas 3,4% do tempo, as três máquinas estariam paradas. Considerando esses percentuais e aplicando a Equação 36, constata-se que o Brasil teria um lucro com pneus médios de R\$ 177,7 milhões/ano se tivesse as mesmas métricas de confiabilidade do Canadá.

A Figura 6 apresenta os valores de lucro anual das três fábricas de pneus médios.



Fonte: Autor

Caso o Brasil tivesse uma performance industrial igual à da China (mesma taxa de falha e taxa de reparo dos equipamentos), conseguiria produzir mais 236.666 pneus/ano resultando num ganho financeiro aproximado de R\$ 35,5 milhões/ano, conforme mostrado na Figura 23. O Canadá é o país com o menor lucro em produção de pneus médios e apresenta um gap de 68.666 pneus/ano o que representa uma perda de performance num valor de R\$ 10,3 milhões/ano em relação ao Brasil devido à problemas de máquina. Comparando os sistemas de máquinas canadenses com os chineses, pode-se constatar que existe um gap de 305.332 pneus/ano que gerariam um lucro de R\$ 40,8 milhões/ano.

## 4 DISCUSSÃO

Baseado nas informações presentes na Figuras 6, pode-se notar que a China apresenta melhores métricas que o Brasil na fabricação de gamas de pneus médios. Além disso, o Canadá apresenta as piores métricas de confiabilidade e conseqüentemente a menor produção. Pelo fato das máquinas serem iguais, deveriam apresentar as mesmas métricas, porém, a China é bem superior aos outros dois países e por isso é o sistema benchmarking em que deve-se descobrir as melhores práticas e posteriormente desdobrá-las para Brasil e Canadá com o objetivo de homogeneizar os processos. Há algumas diferenças nas políticas de manutenção dos países e por isso, recomenda-se um estudo de benchmarking buscando reduzir a taxas de falha e aumentar taxas de reparo dos equipamentos conforme apresentado abaixo:

- 1) A China trabalha com 2 turnos de 12 horas enquanto Brasil e Canadá com 3 turnos de 8 horas. As perdas de performance causadas por mudanças de turno são menores na China. Poderia ser implementado um ensaio nas fábricas do Brasil e Canadá com uma gama de pneus funcionando em 2 turnos de 12 horas e após o teste, fazer as devidas comparações visando analisar a viabilidade econômica.
- 2) Na China os operadores de produção auxiliam os mecânicos de preventiva na realização de limpeza nas máquinas de alguns conjuntos críticos durante a preventiva. O que não ocorre no Brasil e Canadá.
- 3) A China possui cerca de 1,5 eletromecânicos/máquina/turno para realizar a tratativa das manutenções corretivas não programadas enquanto Brasil apresenta apenas 1 eletromecânico/máquina/turno. O Canadá apresenta 0,8 eletromecânicos/máquina/turno para realizar a tratativa das manutenções corretivas não programadas. Isso tem influência direto no fato das taxas de reparo da China serem superiores às do Brasil e Canadá.
- 4) A China possui um plano de manutenção e inspeção com carga total de 100 horas/máquina/mês enquanto no Brasil esse tempo totaliza 70 horas/máquina/mês. O Canadá possui 75 horas/máquina/mês. Recomenda-se um estudo de benchmarking detalhado de forma a verificar com a China quais manutenções inspeções o Brasil e Canadá estão deixando de realizar. Vale a pena ressaltar que a não realização dessas preventivas acarreta no surgimento de manutenções

corretivas não programadas impactando a produção.

5) A China encontra-se num estágio muito mais avançado na parte da manutenção preditiva aplicando ferramentas como pysoft e data lake nos principais conjuntos da máquina e o Brasil ainda encontra-se no estágio de desdobramento das ferramentas. O Canadá ainda nem iniciou estudos relacionados a essas ferramentas.

6) Um outro importante ponto a ser levantado está relacionado aos treinamentos realizados na China de forma a difundir os mesmos no Brasil e Canadá, principalmente aquelas nos conjuntos da máquina onde há maior incidência de falhas.

7) Um outro aspecto refere-se às peças de reposição. A China gerencia seu estoque de forma a não deixar faltar as peças e haver a necessidade de realização de "recursos técnicos" (o que gera um elevado tempo de parada de máquina para voltar a máquina ao estado de produção).

8) Poderiam ser realizados Estudos de Engenharia Industrial focados nas taxas de reparo através do compartilhamento de boas práticas utilizadas na China para que os eletromecânicos do Brasil e Canadá sejam mais eficientes.

## **5 CONCLUSÃO**

O objetivo da pesquisa baseou-se na identificação do benchmarking e replicação das melhores práticas para as demais fábricas. A China apresentou as melhores métricas de confiabilidade demonstrando ser a fábrica que aplica as melhores práticas de manutenção e que deve compartilhar com as demais buscando a homogeneização dos resultados já que as máquinas são idênticas.

Após os resultados apresentados pode-se notar que no cenário atual em tempos de alta competitividade e necessidade de redução dos custos de fabricação, o estudo de benchmarking interno é uma alavanca de performance de baixo custo e de fácil implementação pois a partir da comparação de uma mesma fábrica pode-se adotar boas práticas utilizadas por outras da rede sem a necessidade de custos adicionais com consultorias ou projetos de fabricantes. Além disso, ele pode ser aplicado não somente em área de manutenção, mas também em outras áreas que são cruciais no processo de fabricação tais como qualidade, produção, produto, etc.

Constatou-se a importância de implementação de políticas de manutenção com tomadas de decisões assertivas de forma a impactar positivamente no resultado do negócio. No estudo de caso apresentado, apesar das máquinas das três fábricas serem idênticas (apresentarem o mesmo fabricante e as mesmas características), as métricas de confiabilidade são distintas. A falta de performance gera impactos diretos no custo final do produto, perda de produção, atrasos de entrega para o cliente, perda de vendas e conseqüentemente no resultado do negócio. Visando reduzir esses impactos sugere-se um estudo detalhado nas estratégias de manutenção da China visando desdobrar as mesmas para o Brasil e Canadá. Os estudos devem focados em: organização de efetivo, carga de planos de manutenção preventiva, planos de inspeção, treinamento, etc.

## REFERÊNCIAS

HADI, H.A.; PURBA, H.H.; INDARTO, K.; SIMARMATA, R.G.P. The implementation of quality function deployment (QFD) in tire industry. COMTECH: Computer, mathematics and engineering applications, v.8, n.4, p.223-228, dez.2017.

CHEN, W. et al. Does Industry Integration Improve the competitiveness of China Electronic Information Industry? Evidence from the integration of the Electronic Information Industry and Financial Industry. Sustainability, v.11, n.1, p.1-18, set.2019.

AMORIM, J. Competitividade no comércio varejista de pneus em Salvador: tendências, modismos e mitos. Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo v.5, n.3, p.121-144, 2020.

ROSA, S.C.F.; LEITÃO, J.O.; SILVA, A.L.E.; THIER, F. Análise da Gestão da Manutenção em uma empresa de transformação de polímeros. jCEC. The journal of Engineering and Exact Sciences, Rio Grande do Sul, v. 06, n. 3, p.14-20, jun./set.2020.

ALTAN, D.; AHUDA, V.M.; KELLEHER, C.M.; CHANG, D. Look in the mirror, not out the window: in favor of internal benchmarking. Annals of Surgery, v.3, n.3, p.184-185, set.2022.

SOUZA, I.G et al. Efficiency and internal benchmark on an armament company. Benchmarking: An international Journal, v.25, n.7, p.2018-2039, 2018.

VERGARA, Sylvia C. Projetos e relatórios de pesquisa em administração. 3.ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2000.