

SIMULAÇÃO DE MODELAGEM MATEMÁTICA PARA ESTRATÉGIA DE MELHORIA APLICADA À LINHA DE PRODUÇÃO DE EIXO DIFERENCIAL TRASEIRO

Resumo: O processo de globalização, notoriamente, acarreta crescentes mudanças organizacionais. Desta forma, as empresas, desenfreadamente, objetivam maximizar suas produções num mínimo lapso temporal. Desta forma, as empresas, desenfreadamente, objetivam maximizar suas produções num mínimo lapso temporal. Diante desse contexto, a presente pesquisa busca, por meio da utilização de diferentes ferramentas de análise, realizar a modelagem matemática da linha de produção de eixos diferenciais de uma fábrica automobilística, avaliando os impactos resultantes dos cenários observados e propostos. Os referenciais bibliográficos consubstanciados advêm de pesquisas metodológicas e de valores mensurados cronologicamente, obtidos em visitas técnicas a unidade da empresa automobilística, sendo que tais pesquisas compreendem a utilização de ferramentas como a modelagem matemática e os indicadores de eficiência global de equipamentos (Overall Equipment Effectiveness). Diante dos referenciais bibliográficos supracitados, foram elaboradas propostas de melhorias na implantação de eixos diferenciais traseiros na linha de produção analisada.

Palavras-chave: Linha de produção. Modelagem matemática. Eficiência.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, as empresas encontram-se em um ambiente de alta competitividade, sendo necessário implementar estratégias com diferenciais que lhes permitam estar à frente de seus concorrentes. Desta forma, a busca de ideias que ajudam a melhorar e/ou otimizar estas operações é crescente, sendo a análise e modelagem dos processos ferramentas de suma importância para criar estratégias a diversidade dos processos que ocorrem em seu meio de atuação. (SALINO, 2015).

Este trabalho foi realizado com base em uma empresa montadora de veículos, multinacional, com uma de suas fábricas situada no município de São Bernardo do Campo, que produz veículos pesados: caminhões e ônibus. A linha de produção acompanhada produz uma peça fundamental para os veículos, o eixo diferencial traseiro, que é um conjunto mecânico de engrenagens, com funções distintas e importantes para a estabilidade e segurança dos veículos. Dentre suas funções, podem ser citadas a transmissão de potência do motor para as rodas de tração, fazendo com que a roda externa gire mais rapidamente em uma curva e a compensação das diferentes distâncias do veículo. Os principais itens de sua composição são as engrenagens, satélites, planetárias e semieixos. (PEÇA, 2018).

O estudo dos processos de uma linha de produção indica pontos de qualidade na tarefa realizada, bem como também etapas onde ocorrem problemas ou situações de não conformidade, descobertas de processos que estejam causando algum tipo de gargalo, ou mesmo possíveis desperdícios de materiais e/ou tempo.

2 OBJETIVO

A proposta desse trabalho é a elaboração de um modelo matemático para a otimização da produção da linha analisada. Considerando à priori as 14 estações da linha, e, em particular as estações 100 A, 100 B, 110, 120 e 120 D, para os três tipos de diferenciais produzidos: HL2, HL4 E HL6.

Assim, tendo a possibilidade de encontrar os impactos ou agentes motivadores geradores de adversidades para propor estratégias de otimização para as quatro estações supracitadas, e conseqüentemente a linha como um todo.

3 METODOLOGIA

O estudo dos processos de uma linha de produção indica pontos de qualidade na tarefa realizada, bem como também etapas onde ocorrem problemas ou situações de não conformidade, a descoberta de processos que estejam causando algum tipo de gargalo, ou mesmo possíveis desperdícios de materiais e/ou tempo.

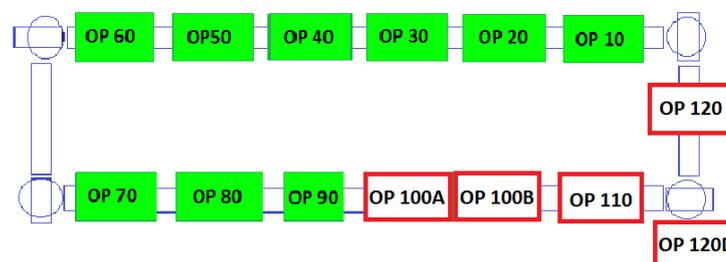
Na busca pela otimização do processo fabril, com base no estudo de caso à referida fábrica, foram utilizados métodos de modelagem e análises por meio de índices de eficiência. Para tanto, o estudo se deu através do mapeamento dos processos produtivos, o uso de métodos cronológicos e posterior análise destes.

4 DESENVOLVIMENTO

Foram realizadas três visitas à fábrica para ambientação, tomadas de tempo e observação de eventuais ocorrências comuns à rotina de trabalho dos funcionários, a fim de identificar possíveis desperdícios e pontos de otimização.

Com dois turnos de produção, a linha é constituída por 14 estações, conforme demonstrada na figura 1, estas que são, em sua maioria, semiautomáticas.

Figura 1 - Layout da linha de produção do eixo diferencial traseiro



Fonte: Arquivo próprio (2018).

Cada estação é responsável por executar uma operação e são sequencialmente dependentes uma da outra, sendo assim, atrasos na primeira estação tendem a acarretar atrasos em toda a linha, por exemplo.

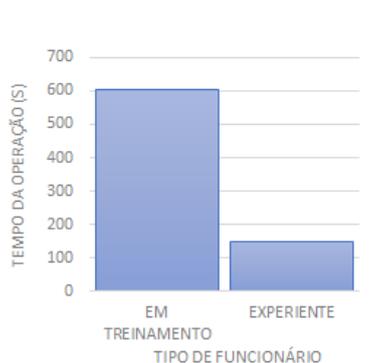
Em cada turno, os 7 funcionários alocados ao longo da linha mudam de estação a cada período de 2 horas, independentemente da quantidade de peças produzidas, em forma de rodízio linear e sequencial, visando evitar lesões por esforço repetitivo.

O tempo médio de operação de cada estação (*takt time*) adotado é de 240 segundos por peça. Todavia, devido à presença de funcionários novos na linha, passou-se a adotar o *takt time* de 300 segundos durante o período de treinamento desta equipe. Tal alteração reduz a quantidade desejada de diferenciais produzidos por turno de 105 peças para 84 peças.

Constatou-se que o *takt time* exibido pelas IHM (interfaces homem-máquina) da estação 100 contabiliza tanto o tempo da 100A quanto da estação 100B, não fazendo a diferenciação necessária entre eles, inviabilizando a análise de produtividade de ambas as estações, dada a falta de parâmetros. As referidas atividades ocorrem em simultâneo, tornando-se necessária a análise unitária de seus tempos de produção.

Diante dos registros de tempos das estações, identificou que a alocação de funcionários novos na linha durante o seu período de operação causa impactos ao seu funcionamento, seja por ocorrências de atrasos ou por necessidades de retrabalho - correção de defeitos. Durante o primeiro dia de tomada de tempos, foi detectado um atraso de aproximadamente 10 minutos na operação 110. Após análise, foi constatado que o atraso ocorreu devido à alocação de um funcionário inexperiente na estação 100A, que, por realizar a operação pela primeira vez, resultou na falta de peça na estação seguinte e em atrasos na linha. A figura 2 exhibe o comparativo entre o tempo de operação nesta estação deste funcionário em treinamento e de um funcionário experiente.

Figura 2 - Tempo de operação



Fonte: Arquivo próprio (2018).

Durante o período de inatividade das estações devido à falta de peça, por exemplo, os funcionários acabam por ficar ociosos em suas células, deixando-as e não acompanhando o momento de chegada da peça seguinte à sua estação, resultando em atrasos no processo.

Apesar de possuir uma programação de distribuição de funcionários por estação, pôde-se notar que a alocação dos operários varia ao longo do dia por ausências decorrentes de idas ao banheiro, fisioterapia, férias ou faltas não programadas. Diante disso, funcionários que deveriam trabalhar em apenas uma estação, acabam se dedicando a outras operações, alterando, assim, a distribuição padrão dos funcionários ao longo da linha, e elevando o tempo médio de cada operação.

Ao final dos turnos avaliados, com todas as ocorrências registradas, as metas não foram atingidas, tendo uma produção de 77, 67 e 66 peças, respectivamente, com a ocorrência de 4 retrabalhos no primeiro dia, 7 retrabalhos no segundo dia e 4 no último dia.

A eficiência destes dias foi avaliada através do índice de eficiência global, o OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), o qual possibilita verificar a performance de equipamentos e disponibilidade de recursos. Seu cálculo considera três fatores: disponibilidade, performance

e qualidade (SILVEIRA, 2018). A figura 3 exibe os cálculos deste índice para os três dias de visita.

Figura 3 - OEE da linha de eixos diferenciais

19/abr			23/abr			02/mai		
Tempo Programado	480 minutos	Disponibilidade	Tempo Programado	480 minutos	Disponibilidade	Tempo Programado	480 minutos	Disponibilidade
Tempo Disponível	440 minutos		Tempo Disponível	435 minutos		Tempo Disponível	430 minutos	
		92%			91%			90%
Qnt peças produzidas	77	Eficiência	Qnt peças produzidas	67	Eficiência	Qnt peças produzidas	66	Eficiência
Meta produção peças	105		Meta produção peças	105		Meta produção peças	105	
		73%			64%			63%
Qnt peças produzidas	77	Qualidade	Qnt peças produzidas	67	Qualidade	Qnt peças produzidas	66	Qualidade
Peças Defeituosas	4		Peças Defeituosas	7		Peças Defeituosas	4	
		95%			90%			94%
OEE		64%	OEE		52%	OEE		53%
			OEE TOTAL		56%			

Fonte: Arquivo próprio (2018).

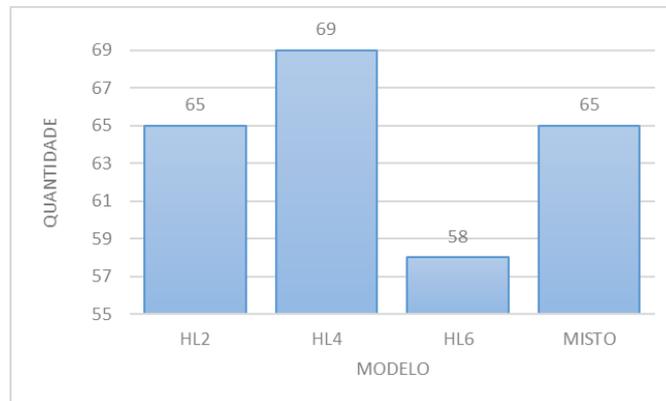
Nota-se que o primeiro dia foi o mais produtivo dentre os períodos observados, com índice de eficiência global de 64%. O índice médio para os três dias foi de 56%. Todos os turnos produtivos apresentaram eficiência abaixo do nível *World Class*, de 85% de eficiência, o qual exige uma aplicada gestão da linha de produção para atingimento (SILVEIRA, 2018).

Os tempos de produção registrados foram utilizados para elaboração de um modelo matemático com o objetivo de representar o estado atual da linha de produção, avaliar possíveis mudanças e seus resultados, além de apurar a capacidade de produção da meta diária de 105 peças.

A modelagem matemática possibilita a previsão de tendências, consistindo em transformar informações reais em linguagem matemática, para simulação, interpretando-as, posteriormente, em linguagem usual (BASSANEZI, 2014).

Para a primeira simulação, têm-se como premissas a distribuição dos funcionários conforme pré-estabelecido pela gerência da linha e o fato de que, ao fim do turno, diferenciais em processo de montagem ficam distribuídos ao longo das operações. A tabela 1 demonstra os resultados obtidos.

Figura 4 - Comparativo entre composições



Fonte: Arquivo próprio (2018).

Para tentativa de cumprimento da meta de 105 peças por turno, a premissa da alocação de funcionários foi revista, passando a ter 8 funcionários distribuídos ao longo da linha, tendo um funcionário dedicado à operação 70, um funcionário para as operações 80 e 90, e outro funcionário dedicado à operação 100A. A tabela 3 expõe os resultados do modelo matemático para este novo cenário.

Tabela 3 - Modelagem com oito funcionários

PEÇAS	TEMPO OP	4,00	TEMPO OP	4,00	TEMPO OP	4,00	TEMPO OP	4,00
	TEMPO ENTRE OP	0	TEMPO ENTRE OP	0	TEMPO ENTRE OP	0	TEMPO ENTRE OP	0
	OP 10		OP 100B		OP 110		OP120	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
1						0,00	4,00	
2				0,00	4,00	4,00	8,00	
3			0,00	4,00	4,00	8,00	12,00	
108	396,00	400,00	424,00	428,00	428,00	432,00	436,00	
109	400,00	404,00	428,00	432,00	432,00	436,00	440,00	
110	404,00	408,00	432,00	436,00	436,00	440,00	444,00	

Fonte: Arquivo próprio (2018).

Com o emprego de 8 funcionários, vemos um aumento da capacidade produtiva da linha, com base nas premissas adotadas.

A tabela 4 nos exhibe os resultados com a adoção dos tempos reais, medidos nos dias observados, mantendo a distribuição dos funcionários conforme modelo anterior.

Tabela 4 - Modelagem com oito funcionários e tempos reais

PEÇAS	TEMPO OP	4,00	TEMPO OP	4,00	TEMPO OP	4,53	TEMPO OP	4,63	TEMPO OP	2,95
	TEMPO ENTRE OP	0,25								
	OP 10		OP 70		OP 80-90		OP 100A		OP120	
	Entrada	Saída								
1									0,00	2,95
2									3,60	6,55
3									6,95	9,90
93	357,00	361,00	373,82	377,82	402,90	407,43	416,38	421,02	427,52	430,47
94	361,25	365,25	378,07	382,07	407,43	411,97	421,02	425,65	432,15	435,10
95	365,50	369,50	382,32	386,32	411,97	416,50	425,65	430,28	436,78	439,73

Gargalo

Fonte: Arquivo próprio (2018).

Este modelo matemático limita a produção diária, de acordo com as premissas adotadas, a 95 diferenciais, quando produzidos os três modelos ao longo do turno. Todavia, apesar da inserção de outro funcionário na linha, o gargalo citado anteriormente permanece e, como é possível verificar, continua limitando a capacidade produtiva da linha, agora, para 95 peças com a composição mista.

Para eliminação deste gargalo, foi realizada uma nova simulação, adotando como premissa o *takt time* de 4 minutos para as operações 80 e 90, em conjunto, além da operação 100A. A tabela 5 exhibe o resultado da modelagem após esta alteração, possibilitando a produção de 109 eixos.

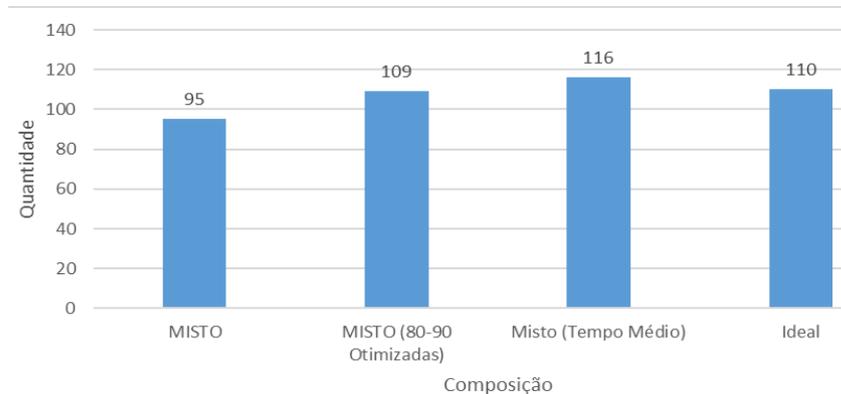
Tabela 5 - Modelagem com 8 funcionários e *takt time* preestabelecido

PEÇAS	TEMPO OP	3,77	TEMPO OP	4,00	TEMPO OP	4,00	TEMPO OP	2,95
	TEMPO ENTRE OP	0,25						
	OP 10		OP 80-90		OP 100A		OP120	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
1							0,00	2,95
2							3,63	6,58
3							7,02	9,97
108	397,65	401,42	418,80	422,80	423,05	427,05	433,48	436,43
109	401,67	405,43	422,82	426,82	427,07	431,07	437,50	440,45

Fonte: Arquivo próprio (2018).

A figura 5 exhibe o comparativo entre os cenários apresentados, quanto à capacidade produtiva da linha.

Figura 5 - Comparativo entre os modelos simulados



Fonte: Arquivo próprio (2018).

5 RESULTADOS

Os modelos matemáticos utilizados demonstram as diferenças da capacidade produtiva da linha quando operada com 7 funcionários e com 8 funcionários, todavia, todas as situações simuladas ficaram abaixo da meta de 105 peças por turno. Tal resultado deve-se ao fato de os tempos utilizados para as simulações serem reais, considerando falhas na produção, ausências temporárias, por exemplo. Contudo, nota-se que os resultados das simulações se assemelham aos quantitativos de produção ao final de cada turno dos dias avaliados: 77, 67 e 66 peças, respectivamente.

A alocação de 8 funcionários na linha mostra-se mais eficiente, diminuindo a possibilidade de ocorrências de gargalos entre as estações 60, 70, 80 e 90, e, conseqüentemente, a probabilidade de paralisação da linha em decorrência destes. Esta eficiência é comprovada também na capacidade produtiva do turno, que é aumentada para 95 peças, quando produzidos os 3 tipos de diferenciais.

Acrescido a isso, tem-se por necessário a revisão da política de treinamento dos operários, a fim de que haja aperfeiçoamento de todos os funcionários e, conseqüentemente, eliminação das elevadas variações de tempo de operação de um funcionário menos experiente para um funcionário mais experiente. Tal política deve englobar, ainda, o aperfeiçoamento de suas disciplinas, para que possam otimizar o tempo disponível, evitando ausências desnecessárias, saída antecipada ao final do turno, conversas com outros operadores, entre outros desperdícios.

Nota-se também a necessidade de revisão e otimização do controle de qualidade aplicado às matérias-primas utilizadas na linha, uma vez que parte dos retrabalhos foram decorrentes de divergências nas especificações dos lotes de peças. Isto afeta as operações 70 e 100B, pois, quando produzido o modelo HL6, o tempo requerido para ajuste dos limites do calço a ser utilizado é maior, dada as divergências entre os limites especificado e necessário.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As mudanças propostas possuem potencial para otimização dos processos avaliados, tendem a otimizar o *takt time* de cada operação e, portanto, aumentar os resultados de produção nos cenários simulados, sendo úteis à linha. Com isso, há a diminuição do tempo das operações, aumento do índice de produtividade e, conseqüentemente, a aproximação do quantitativo real de produção à meta de 105 peças ao final de cada turno.

Com as alterações sugeridas, de acordo com a modelagem, a estação 100B deixa de ser um gargalo, uma vez que, com os limites de calço melhor definidos na estação 70, menor será os tempos de ajustes a serem realizados pelo *backlash*. Com a revisão da política de treinamento da equipe e do controle de disciplina dos operários, tem-se não só a otimização das estações estudadas, mas da linha como um todo, diminuindo os tempos de operação e eliminando o gargalo da operação 100A, como visto quando é executada por um profissional experiente.

Portanto, as propostas são válidas e resultam na otimização das operações da linha de montagem do diferencial do eixo traseiro.

REFERÊNCIAS

BASSANEZI, Rodney Carlos. Ensino-aprendizagem com Modelagem Matemática. São Paulo: Ed. Contexto, 2004. 389 páginas.

PEÇA, Canal da. **Diferencial: O que é e como funciona?** 2018. Disponível em: <<https://www.canaldapeca.com.br/blog/o-que-e-o-diferencial-uma-explicacao/>>. Acesso em: 10 maio 2018.

SALINO, Alberto. **Empresas buscam melhoria para manter competitividade.** 2015. Disponível em: <<http://www.sindsefsp.org.br/site/noticia-texto.aspx?id=20220>>. Acesso em: 20 maio 2018.

SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. OEE, cálculo de eficiência da planta e integração de sistemas. 2018. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/oeo-calculo-eficiencia-equipamentos-integracao-sistemas/>>. Acesso em: 25 abr. 2018.

MATHEMATICAL MODELING SIMULATION FOR IMPROVEMENT STRATEGY APPLIED TO THE REAR DIFFERENTIAL SHAFT PRODUCTION LINE

Abstract: *The globalization process, clearly, entails increasing organizational changes. In this way, the companies, wildly, aim to maximize their productions in a minimum time span. In this context, this research intends mathematical modelling the production line of differential axle of Mercedes-Benz, by using different analysis tools.*

The bibliographic references come from methodological researches and values measured chronologically, both created by technical visits to the company's units. Furthermore, these researches also grasp the usage of tools such as value stream map, overall equipment effectiveness and failure mode and effect analysis. One of the proposals made to improve the production of Mercedes-Benz was to improve the rear differential axle based on the bibliographical references presented.

Key-words: *production line, mathematical modelling, effectiveness.*