

# Equilibragem e sequenciamento de linhas de montagem de modelos mistos

Epifânio Lucas Mula<sup>1\*</sup> e Cláudio Marina Cossa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Tecnologias Mecânicas, Instituto Superior de Transportes e Comunicações, Prol. Av. Kim Il Sung, Edf. D1, Maputo, Moçambique

<sup>2</sup>Departamento de Tecnologias Electrotécnica e Electrónica, Instituto Superior de Transportes e Comunicações, Prol. Av. Kim Il Sung, Edf. D1, Maputo, Moçambique

\*e-mail de contacto: [epifaniomula@gmail.com](mailto:epifaniomula@gmail.com)

**Resumo** – O presente trabalho traz uma abordagem de vários métodos que auxiliam na resolução de problemas de balanceamento e sequenciamento na linha de montagem de modelos mistos. Este estudo tem como objectivo propor uma abordagem de diferentes métodos e heurísticas que possibilitam auxiliar na resolução de problemas de balanceamento e sequenciamento na linha de montagem de modelos mistos. Em sequência são apresentadas algumas abordagens que podem ser utilizadas na resolução de problemas de balanceamento de modelos mistos, tais como: O método combinado de diagramas de precedências, este método permitiu combinar os diversos tipos de modelos de produto a partir das matrizes geradas em diferentes modelos de produto em um único diagrama de precedências. Desta forma, usou-se modelos baseados na teoria de programação, com o objectivo de automatizar a obtenção óptima das matrizes dos diferentes modelos, deste modo, gerando o diagrama combinado óptimo. Uma outra abordagem utilizada foi o método de ajustamento do tempo de processamento das tarefas, que permitiu determinar ou agrupar as tarefas distintas em função do seu tempo médio em mais de dois modelos, gerando um único diagrama de precedências. As heurísticas consideradas para resolução de problemas desta natureza foram: Regra do tempo médio de processamento das operações, heurísticas dos pesos posicionais e heurísticas do método COMSOAL. Desta forma, o presente estudo buscou relacionar os possíveis métodos que permitem a resolução de problemas de balanceamento em linhas de montagem de modelos mistos.

**Palavras-chave** — Linha de montagem, Modelo misto, sequenciamento de modelo, balanceamento de linhas.

## I. INTRODUÇÃO

O planeamento e o controlo de linhas de montagem é um problema clássico na área da Gestão Industrial e tem sido largamente investigado, dada a sua importância em vários sectores industriais e, em particular, na indústria automóvel. No entanto, a maioria da literatura associada a este tema foca na estrutura mais simples do problema: a equilibragem de linhas de montagem dedicadas à produção de um único modelo [1]. Hoje em dia, as indústrias modernas, para sobreviver no mercado competitivo actual, procuram satisfazer a procura dos seus clientes com produtos de alta qualidade e altos níveis de serviço, utilizando uma

abordagem *just-in-time*. Desta forma, uma das abordagens amplamente utilizadas em sistemas *just-in-time* são as linhas de montagem de modelos mistos, que montam produtos de base comum (chamados de modelo) com diferenças de tamanho, cor, material ou equipamento [2].

De acordo com [3] a resolução de problemas associados com a equilibragem e o sequenciamento, ajudam o(s) tomador(es) de decisão a realizar o planeamento estratégico e tático da linha de montagem de modelos mistos. O balanceamento da linha de montagem é um problema de período de médio prazo de atribuição de tarefas às estações de trabalho (estratégico), enquanto o sequenciamento do modelo é um problema de curto prazo de determinação de uma sequência de modelos para produção (tático).

Hoje em dia, podemos notar uma crescente evolução no que concerne a linhas de montagem para a produção em massa. Desta forma, há necessidade de otimizar estas linhas torna-se uma tarefa fundamental visando atender a constante procura do mercado por produtos com custos reduzidos, como também a flexibilidade e a eficiência durante o processo de produção. O grande desafio para os gestores de produção é encontrar melhores alternativas para responder às necessidades do mercado. Portanto, o desenvolvimento de estudos ligados a resolução de problemas de equilibragem de linha de montagem de modelos mistos é essencial para fornecer subsídios que visam melhorar a flexibilidade e a eficiência em lidar com uma combinação de produtos mais amplos.

A presente pesquisa tem como objectivo geral, propor uma abordagem de diferentes métodos e heurísticas que possibilitam auxiliar na resolução de problemas de balanceamento e sequenciamento em linhas de montagem de modelos mistos.

## II. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. Estado da arte

As indústrias modernas, para sobreviver no mercado competitivo actual, procuram satisfazer uma ampla gama de procura de seus clientes com produtos de alta qualidade e altos níveis de serviço, buscando sempre custos de produção mais baixos. Isso, requer a implementação de sistemas de produção flexíveis e eficientes.

É de referir que, a abordagem *just-in-time* (JIT) é um dos novos sistemas de produção de renome pertencente aos padrões de procura modernos. Uma das abordagens mais utilizadas em sistemas JIT, são as linhas de montagem de

modelos mistos. Normalmente, estas linhas de montagem são empregues onde as operações de configuração são reduzidas a tal ponto que vários modelos de um produto de base comum (chamados de modelo) podem ser fabricados em sequências misturadas. Desta forma, as linhas de modelo mistos, tornam a sequência de planeamento de produção mais eficientes [5].

É importante notar o avanço da literatura nos estudos de linha de montagem de modelos mistos no que concerne a optimização do sequenciamento e balanceamento simultâneo deste modelo, com o objectivo de acelerar a resposta das empresas no mercado e satisfazer a necessidades individuais do cliente [4].

Sendo assim, pela necessidade de compreender o ambiente industrial, e as soluções encontradas até agora, é fundamental explorar o conhecimento de sistemas de linha de montagem e todos os factores que podem estar relacionados com as mesmas.

Os tipos de configurações das linhas de montagem, tarefas que podem ser atribuídas aos postos de trabalho, de modo a garantir um balanceamento adequado das tarefas, como responder a constante evolução da flexibilidade do mercado. Também é fundamental, rever problemas de sequenciamento e balanceamento em sistemas de linha de montagem de acordo com vários métodos de resolução de problemas em linhas de montagem.

### 2.1.1. Linha de Montagem

De acordo com o princípio de *Henry Ford*, as linhas de montagem foram desenvolvidas para uma produção em massa com custo eficiente de um único produto padronizado. Segundo *Henry Ford*, o objectivo passava por desenvolver um método consistente em que cada tarefa tinha um tempo determinado para ser realizada, como também, adaptação de serviços com peças intercambiáveis.

Entretanto, actualmente, os princípios de *Henry Ford*, quanto ao sistema de produção mudaram drasticamente. É de salientar que, a essência da ideia permanece a mesma até aos dias de hoje, no entanto, passou por adaptações tecnológicas que ajudaram a tornar os processos mais flexíveis e eficientes.

Podemos verificar que quase todas indústrias do mundo trabalham com linhas de montagem de diversos modelos, que usam tecnologias que permitem tornar o trabalho dos operários mais cómodos. É comum encontrar em meios aos funcionários braços mecânicos e computadores que executam tarefas mais complexas e com maior precisão [4].

O crescimento da robotização e informatização, apontam as novas tendências de sistemas de linha de montagem. Desta forma, têm se observado que as tecnologias são desenvolvidas com objectivo de optimizar os processos produtivos, tornando-os mais flexíveis e eficientes. De acordo com [6], “*As linhas de montagem são layouts orientados ao produto, nos quais os produtos (ou peças) se movem pelas estações de trabalho na linha de maneira sequencial. Em cada estação de trabalho, um conjunto de tarefas é executado antes que as tarefas da próxima estação de trabalho possam começar. Um importante problema de decisão relacionado ao gerenciamento de tais linhas é equilibrar a distribuição de tarefas entre as estações*”

De acordo com [6] “*As linhas de montagem são layouts orientados ao produto, nos quais os produtos (ou peças) se movem pelas estações de trabalho na linha de maneira sequencial. Em cada estação de trabalho, um conjunto de tarefas é executado antes que as tarefas da próxima estação de trabalho possam começar. Um importante problema de decisão relacionado ao gerenciamento de tais linhas é equilibrar a distribuição de tarefas entre as estações*”

A linha de montagem é um sistema de produção orientado para o fluxo, no qual as unidades que realizam as operações são chamadas de estação. Em cada estação, as actividades são realizadas repetidamente. Uma estação de trabalho pode, na melhor das hipóteses, conter, por vez, um único produto para montar e um trabalhador para realizar uma ou mais operações. As operações podem estar sujeitas a restrições de precedência [6].

A linha de montagem consiste em postos de trabalhos, dispostos ao longo de uma correia transportadora, onde os trabalhos são lançados consecutivamente e são movidas de um estação para outra. O tempo de montagem varia de operador para operador, e o produto acabado na última estação sai da linha [6].

Instalar uma linha de montagem envolve decisões de longo prazo e investimentos altos de capitais, portanto, é importante que tal sistema seja flexível. Desta forma, permitindo que a linha possa ser reequilibrada periodicamente, tornando-a mais eficiente possível.

### 2.1.2. Modelos de Linha de Montagem

Desde os primeiros tempos de *Henry ford*, as linhas de montagem foram construídas em torno da combinação das métricas de performance (*takt time*, *cycle time* e *lead time*). O *takt time* representa o ritmo de produção necessário para atender a um determinado nível considerado de procura, dadas as restrições de capacidade da linha ou célula, o *cycle time* representa o tempo de execução das operações na máquina ou posto de estação mais lenta, ou seja, é o ritmo máximo possível de produção sob as condições actuais, o *lead time* representa o tempo necessário de produção para atender a procura do mercado. Desta forma, a quantidade de unidades de produto a serem montadas em cada período segue um plano de produção adequado [7]. Quanto ao número de produtos as linhas podem ser classificadas em três tipos: linha de montagem de modelo único, linha de montagem multi-modelo ou linha de montagem de modelo misto.

A linha de montagem de modelo único consiste em produzir um único produto (Figura 1), sendo limitada a produzir uma variante. É usada principalmente para a produção em massa de um produto homogéneo. Normalmente, este modelo é empregue onde as tarefas têm um tempo determinístico e a carga de trabalho é constante ao longo da linha. Este modelo é vantajoso quando a procura é estável e a entrega precisa ser mais rápida [8].



Figura 1. Linha de montagem de modelo único [6].

As linhas de montagem multi-modelo são geralmente usadas para montagem de dois ou mais modelos diferentes

do mesmo produto (Figura 2), ou seja, produtos da mesma família que apresentam variações significativas. Onde os itens de produção se alteram de modelo para modelo continuamente na linha de montagem. Este tipo de modelo apresenta vantagens para produtos com procura estável e o tempo de preparação para troca de produto é curto. Nesse tipo de sistema os produtos entram na linha em lotes, assim, os problemas associados ocorrem em termos de programação e dimensionamento de lotes [8].



Figura 2. Linha de montagem multi-modelo.

A Linha de montagem de modelo misto são geralmente usadas para montagem de um conjunto diferenciado de produtos (Figura 3), ou seja, os produtos têm uma base comum e as diferenças entre os modelos são opcionais, por exemplo, tecto solar manual ou eléctrico para um automóvel [3]. Os modelos mistos fornecem um fluxo eficiente e contínuo de matérias, possibilitam níveis de estoque reduzidos de itens finais e flexibilidade com relação a mudanças de modelo. Essas linhas são vantajosas quando os produtos são bastante semelhantes, o que leva aos mesmos recursos para a montagem de todos os produtos. Desta forma, essa linha é usada quando há necessidade de tempos de *setup* muito curto [8].

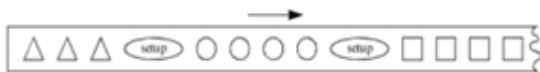


Figura 3. Linha de montagem de modelo misto [6].

## 2.2. Problemas na Linha de Montagem de Modelos Mistos

Os problemas na linha de montagem de modelos mistos ocorrem em diferentes horizontes de planeamento. Deste modo, as decisões devem ser tomadas no aspecto de longo ou curto prazo, por exemplo, decisões relativas a instalação da linha e divisão de mão-de-obra entre as estações. É de salientar que, os problemas de curto prazo dizem respeito ao sequenciamento e os problemas de médio ou longo prazo dizem respeito a uma equilibragem de linha [8].

Vários estudos investigaram ambos os problemas de uma maneira hierárquica ou simultaneamente, desta forma, pode-se afirmar que, a forma hierárquica é a resolução de problemas de balanceamento e depois, com base nos resultados colectados, faz-se o sequenciamento para determinar melhor sequência dos modelos. No entanto, actualmente, com o avanço da pesquisa, faz-se uma abordagem simultânea de resolução de problemas de sequenciamento e balanceamento numa linha de montagem de modelos mistos. É importante referir que, a abordagem simultânea resulta em melhores soluções em relação à abordagem hierárquica, principalmente quando a alocação de tarefas às estações não requer despesas como custos de *setup* [3].

### 2.2.1. Balanceamento de linha de montagem de modelo misto – médio ou longo prazo

O balanceamento de modelo misto, visa evitar ineficiências e reduz os tempos de variantes para cada estação. Normalmente o balanceamento de linha está sujeito a decisões estratégicas, porque dizem respeito à instalação da linha e não a questões operacionais. O balanceamento permite fazer um estudo de tarefas predecessoras, ou seja, permite construir um diagrama e matriz de precedências, onde o diagrama de precedências é mais visual, e a matriz facilita os cálculos de balanceamento.

Existem duas abordagens fundamentais para resolução de problemas de balanceamento de linha de montagem de modelo misto (*Mixed-model Assembly Line Balancing Problems* – MALBP) de acordo com [8]:

i) Redução para problemas de modelo único: desta forma, certos dados do modelo misto podem ser simplificados e transformados em Problema de Balanceamento de Linha de Montagem Simples (*Simple Assembly Line Balancing Problem* - SALBP), isto é, processar todas as tarefas de um determinado modo, e a sequência de processamento de tarefas deve seguir as restrições de precedência. No entanto, esta redução pode ser feita por meio de cálculos ou suposições relaxadas.

ii) Balanceamento horizontal: nestes casos, podemos ter algumas ineficiências na linha, devido ao método de medição dos tempos de ciclos. Causando, deste modo, um tempo improdutivo para todas as estações. Desta forma, propõem-se o uso de heurísticas e outros procedimentos matemáticos, visando a reduzir o desequilíbrio horizontal.

[6] citado por [8] “resume quatro problemas de linha de montagem de modelos mistos (MALBPs). O primeiro, chamado MALBP-F, verifica a viabilidade (F- *feasibility*) do problema para um dado tempo de ciclo e número de estações. O MALBP-1 minimiza o número de estações para um tempo de ciclo dado, e por sua vez o MALBP-2 minimiza o tempo de ciclo para um determinado número de estações. o MALBP-E é o problema mais geral, maximizando a eficiência (E – *efficiency*) da linha, minimizando tempo de ciclo e número de estações”.

### 2.2.2. Sequenciamento de linha de montagem de modelo misto - curto prazo

Em uma linha de produção de modelo misto, geralmente é feita montagem de diferentes produtos com base comum, portanto, algumas estações podem precisar de um tempo maior ou menor dependendo do produto. Desta forma, o sequenciamento na linha de montagem visa evitar ou minimizar a sobrecarga de trabalho, aplicando métodos de programação detalhada que levam em consideração explicitamente os tempos de operação, os movimentos dos trabalhadores, os limites das estações e outras características operacionais da linha [5]. Portanto, o foco está no chão da fábrica.

Segundo [6] “a qualidade das decisões de sequenciamento depende diretamente da qualidade do

balanceamento de carga de trabalho. No caso em que a linha está quase perfeitamente equilibrada em relação às estações e modelos, a importância do sequenciamento é menor, visto que pode não ser possível encontrar seqüências aceitáveis quando a solução de equilíbrio deixa desequilíbrios consideráveis”.

Segundo [5] os problemas de sequenciamento na linha de montagem de modelos mistos podem ser centrados em dois objetivos:

i) Sobrecarga de trabalho: é necessário fazer um ajuste entre os modelos, isto é, produtos mais complexos necessitam de tempos diferentes, em relação a produtos simples. Desta forma, evita sobrecarga de trabalho, pois, permite que os produtos que causam altos tempos de estação alternam com outros menos intensivos.

ii) Objectivos *just-in-time*: cada modelo utiliza peças e materiais diferentes na montagem, para manter o objectivo do JIT, desta forma, alocando o material certo, na hora certa e na quantidade certa. A seqüência deve manter o consumo de materiais estável, tornando a linha eficiente, deste modo, evita a utilização de estoques em momentos de pico de procura.

No entanto, existem três alternativas para tratar os dois problemas quando se quer minimizar a sobrecarga de trabalho e nivelar a utilização de peças [5]:

a) Sequenciamento de modelos mistos: é uma alternativa que minimiza ou evita a sobrecarga de trabalho tomando em consideração a seqüência de tempos de operação, movimentação, tamanho das estações e outras características de uma linha.

b) Sequenciamento de carros: criação de uma seqüência de modelos por transformação das opções de produto em regras de sequenciamento para minimizar a sobrecarga de trabalho.

c) A programação nivelada: enquanto as duas primeiras opções visam à minimização de restrições de capacidade, nivelar a programação busca uma seqüência alinhada com a filosofia JIT. A seqüência minimiza a diferença entre uma

taxa de produção ideal, que foi definida previamente, e actual.

A Tabela 1 faz um resumo das abordagens para a resolução de problemas de linha de montagem de modelos mistos, destacando um horizonte temporal e planeamento adequado para cada problema associado com este tipo de linha.

### III. METODOLOGIA

Com vista, ao alcance dos objectivos esperados durante a pesquisa, o método proposto para responder essa necessidade é o método de pesquisa exploratório descritivo. Segundo [10], este método permite ao pesquisador encontrar soluções de problemas pouco explorados, como também torna possível ao pesquisador fazer a união de vários métodos de pesquisa para atender os objetivos traçados na investigação. É relevante salientar que, este tipo de método facilita na obtenção de informações e na delimitação de dados, deste modo, orienta as informações com vista ao alcance dos objetivos esperados durante a investigação. É relevante informar que, as informações coletadas numa primeira fase no presente estudo estão apresentadas de forma descritiva com o objetivo de facilitar a compreensão do leitor, no que tange, os aspetos chaves na coleta de informação para a elaboração do presente estudo. Desta forma, foi necessário consultar banco de dados como *Scencedirect.com*, *Scopus*, *Taylor and Francis*, *GoogleSchool* e materiais como blog, onde foi possível selecionar as palavras chaves de acordo com a situação atual dos estudos de problemas associados com o balanceamento e sequenciamento simultâneo de linha de montagem de modelos mistos, desta forma, selecionaram-se palavras chaves tais como: *Mixed model assembly line AND mixed model balancing AND balancing assembly lines*. No entanto, as referências geradas no ato da pesquisa são selecionadas e lidas utilizando uma técnica de investigação *Snowball*, cujo o principal objetivo desta técnica é a recuperação de publicações que não foram identificados com a utilização das palavras chave [10].

Tabela 1. Resumo das abordagens para resolver problemas em uma linha de modelos mistos [8].

Abordagem	Horizonte de planeamento	Nível de tomada de decisão	Principal preocupação e objetivo
Balanceamento de modelo misto	Médio ou longo prazo	Alto nível, levando em consideração os objetivos estratégicos da empresa e a produção ao longo de alguns anos	Instalação de linha, linha de rebalanceamento, divisão de trabalho entre estações
Sequenciamento de modelo misto	Curto prazo	Nível operacional, levando em consideração chão de fábrica e produção diária	Encontrar uma seqüência de modelos através de uma programação detalhada de conteúdo do trabalho de forma a minimizar; a sobrecarga de trabalho ou tempo de processamento. Modelos altamente intensivos alternam com modelos menos intensivos
Sequenciamento de carro	Curto prazo	Nível operacional, levando em consideração chão de fábrica e produção diária.	Criação de uma seqüência de modelos por transformação das opções de produto em regras de sequenciamento para minimizar a sobrecarga de trabalho
Nível de agendamento	Curto prazo	Nível operacional, levando em consideração chão de fábrica e produção diária	Criação de uma seqüência que apoia a filosofia JIT. Nivelar a procura de material da linha de produção para que entregas uniformes e suaves possam ser alcançadas



A amostra deste estudo é composta por 10 artigos científicos que fazem a abordagem dos problemas associados ao balanceamento de linha de montagem de modelos mistos, desta forma, foram selecionados de acordo com os critérios de inclusão previamente estabelecidos. Estes artigos foram encontrados na base de dados tais como: *Sciencedirect.com, Scopus, Taylor and Francis, GoogleSchool*. É relevante referir que, observou-se a escassez de artigos científicos publicados sobre a resolução de problemas de balanceamento em linhas de montagem de modelos mistos, por se tratar de uma metodologia derivada da Prática Baseada em Evidências. Quanto as técnicas de recolha de dados buscou-se fazer a seleção do material

bibliográfico em função dos objetivos traçados ao longo do trabalho. Desta forma, fez se o uso de uma análise documental e bibliográfica, com o objetivo de fazer um levantamento de todos os problemas associados ao balanceamento de linhas de montagem de modelos mistos.

**IV. RESULTADOS**

**4.1. Método proposto para balanceamento e sequenciamento de linha de montagem de modelo misto**

A heurística proposta no balanceamento e sequenciamento de linha de montagem do modelo misto é o tipo MALBP-1 que tem o objetivo de minimizar o número de estações para um tempo de ciclo dado. Desta forma, as tarefas devem ser alocadas de uma maneira mais eficiente e eficaz para obter vantagens competitivas em termos de redução de custos [9].

O uso desta heurística para resolução de problemas do tipo MALBP-1 permite que as estações que executam tarefas com tempos superiores ao tempo de ciclo para, pelo menos, um modelo, possam ser duplicadas. Este valor pode ser alterado pelo utilizador [9].

**4.1.1. Dados numérico do uso da heurística nos MALBP-1**

É relevante salientar que, o presente problema é retirado de [11], e foi adaptado a resolução de acordo com o procedimento proposto.

Desta forma, o funcionamento da heurística é ilustrado com um exemplo numérico na Tabela 2.

Tabela 2. Características do problema de teste.

Taxa de produção	270 peças por dia
Horário de trabalho	15
Tempo de ciclo	14 segundos
Taxa de produção de modelo A	120 peças por dia
Taxa de produção de modelo B	150 peças por dia
Peso de modelo A	44,5 %
Peso de modelo B	55,5 %

A Figura 4 ilustra o diagrama de precedência e os respetivos tempos atribuídos a tarefas do modelo A e o modelo B. É relevante salientar que, esses dois modelos são produzidos simultaneamente numa linha de montagem. Assim sendo, propõem-se o uso de modelo misto com objectivo de minimizar os postos de trabalho de acordo com o tempo de ciclo dado.

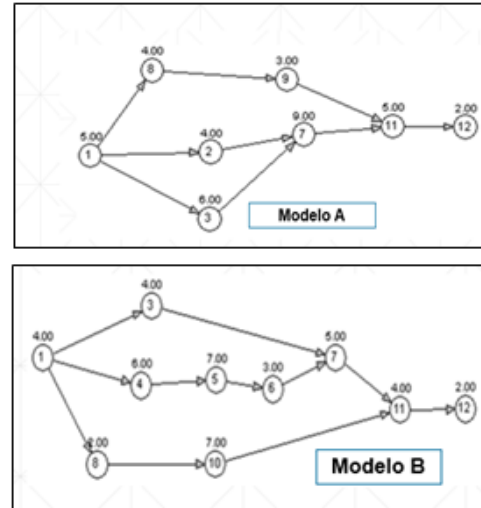


Figura 4. Diagrama de precedência de modelo A e B.

A combinação das restrições de precedência para os dois modelos resulta em único digrama de precedências apresentado na Figura 5, o qual apresenta 12 tarefas. Na Tabela 2 podemos observar o tempo médio de cada tarefa associada, desta forma, o peso posicional é calculado com base nos tempos médios de processamento de cada tarefa.

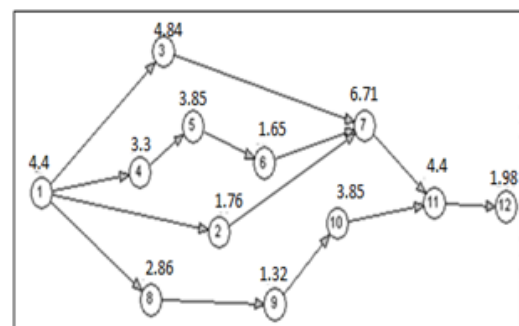


Figura 5. Diagrama de precedência resultante da combinação de modelo A e B.

Tabela 3. Tempos de processamento e pesos posicionais médios para o exemplo numérico de uma linha de modelo-misto

Tarefa	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T	PP médio
1	5,0	4,0	4,4	40,92
2	4,0	0	1,76	14,85
3	6,0	4,0	4,84	17,93
4	0	6,0	3,3	21,89
5	0	7,0	3,85	18,59
6	0	3,0	1,65	14,74
7	9,0	5,0	6,71	13,09
8	4,0	2,0	2,86	14,43
9	3,0	0	1,32	11,57
10	0	7,0	3,85	10,25
11	5,0	4,0	4,4	6,38
12	2,0	2,0	1,98	1,98

Na Tabela 3 obtivemos os tempos médios e os pesos posicionais das tarefas para cada modelo (T<sub>A</sub> e T<sub>B</sub>) usando um modelo misto na linha de montagem. Desta forma, a heurística proposta dos pesos posicionais é aplicada no problema. Em suma, o tempo médio de processamento de cada tarefa é calculado à partir do somatório dos tempos de processamento da tarefa para cada modelo multiplicados pela respectiva taxa de produção. No exemplo numérico

proposto na presente pesquisa, a taxa de produção do modelo A é igual a 0,44% e a do modelo B a 0,55 %, cujo tempo de ciclo com que a linha deve ser operada para satisfazer a procura é de  $C = 14$  segundos. Os tempos médios de processamento ( $t$ ) e os pesos posicionais médios de cada tarefa (PP médio) são apresentados na Tabela 3.

A Tabela 4, ilustra a aplicação da heurística de pesos posicionais de acordo com o problema de pesquisa. Desta forma, agrupam-se as tarefas de acordo com o número necessário de estações de trabalho. No entanto, é relevante salientar que, após aplicação da heurística foi obtida uma eficiência ( $E$ ) na linha de 58,5 % e  $n^* = 5$  postos de trabalho, visando a atender o tempo de ciclo proposto acima.

Com o exemplo acima referenciado fica claro como resolver problemas de balanceamento na linha de montagem de modelo misto do tipo MALBP-1, usando o método heurístico de peso posicionais para combinação de diferentes modelos numa linha de montagem de modelos mistos.

É relevante salientar que, para o uso desta abordagem teve como fundamento a metodologia usada na tese de doutoramento [1] e no artigo [4] desta forma, foi possível adequar a metodologia usada pelos autores no exemplo numérico proposto no presente trabalho. Com este exemplo podemos constatar como reduzir os postos de trabalho a partir de um tempo de ciclo já conhecido no balanceamento de linhas de montagem de modelos mistos do tipo MALBP-

1 bem como organizá-los de modo a tornar-se um único modelo, com vista a simplificar as afectações das tarefas dos modelos.

## V. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Hoje em dia tem se verificado um alto índice em termos de competitividade entre indústrias em aumentar o seu *Market Share* através da oferta de variedades de produtos e preços atractivos, bem como aspectos ligados em inovação incremental dos seus produtos. Por um outro lado, a produção esta directamente ligada a redução de custos de produção com um ritmo eficaz, desta forma, valorizando o incremento da eficiência. O estudo de balanceamento de linha de montagem de modelos mistos torna-se relevante no contexto actual, de modo a suprimir as expectativas do mercado no que concerne produção de uma combinação de produtos com diferentes variantes.

Para o presente estudo, buscou-se mostrar a utilização de dois métodos para a resolução de problemas balanceamento em linha de montagem de modelos mistos, abordando questões relevantes ligadas aos problemas deste tipo de linha. Sendo que, os métodos abordados foram o método combinado de diagrama de precedências, o método de heurística de pesos posicional para resolução de problemas em linhas de montagem de modelos mistos do tipo MALBP-1.

Tabela 4. Heurística de pesos posicionais.

	Tarefa	Duração	T/restante	S/p	Possíveis	Escolha	Peso
<b>Posto 1</b>	1	5,0	9,0	2;3;4;5;6	2;3;4;5;6	4	40,92
	4	6,0	3,0	2;3;5;6	6	6	21,89
	6	3,0	0,0	2;3;5	-	5	14,74
<b>Posto 2</b>	5	7,0	7,0	2;3;8;9	2;3;8;9	3	18,59
	3	6,0	1,0	2;8;9	-	2	17,93
<b>Posto 3</b>	2	4,0	10,0	8;9;7;10	8;9;7;10	8	14,85
	8	4,0	6,0	9;7;10	9	9	14,43
	9	3,0	3,0	7,10	-	7	11,57
<b>Posto 4</b>	7	9,0	5,0	10;11;12	11,12	11	13,09
	11	5,0	0,0	10;12	-	10	6,38
<b>Posto 5</b>	10	7,0	7,0	12	12	12	10,25
	12	2,0	5,0	12	-	-	1,98

Com base na combinação dos diagramas de precedências em um único modelo, introduz-se a heurística de pesos posicionais com o objectivo simplificar o problema de balanceamento em linha de montagem de modelos mistos. Para a presente pesquisa foi introduzida a heurística para o cálculo de problemas de balanceamento do tipo MALBP-1, onde o principal objectivo desta heurística de peso posicional é minimizar os postos de trabalho a partir de um tempo de ciclo já conhecido, fazendo afectação das tarefas de acordo com o seu maior tempo de duração na união dos diferentes diagramas de precedências dos produtos, tendo em conta o seu peso posicional.

É relevante informar que existem outros métodos que permitem auxiliar na resolução de problemas de

balanceamento em linhas de montagem de modelos mistos, métodos tais como COMSOAL, este método permite fazer uma distribuição aleatória das operações em diferentes estações de trabalho, utilizando um computador com o objectivo de gerar sequências aleatórias de operações a partir da qual se simula o balanceamento. O outro método é o ajuste no tempo de processamento das tarefas.

## REFERÊNCIAS

[1] Erel, E., & Sarin, S. C. (1998). A survey of the assembly line balancing procedures. *Production Planning and Control*, 9(5), 414–434.

- [2] Lopes, T. C., Sikora, C. G. S., Michels, A. S., & Magatão, L. (2020). Mixed-model assembly lines balancing with given buffers and product sequence: model, formulation comparisons, and case study. *Annals of Operations Research*, 286(1–2), 475–500. <https://doi.org/10.1007/s10479-017-2711-0>.
- [3] Mosadegh, H., Fatemi Ghomi, S. M. T., & Zandieh, M. (2012). Simultaneous solving of balancing and sequencing problems in mixed-model assembly line systems. *International Journal of Production Research*, 50(18), 4994–5016.
- [4] Zhou, B., & Zhu, Z. (2020). A dynamic scheduling mechanism of part feeding for mixed-model assembly lines based on the modified neural network and knowledge base. *Soft Computing*. <https://doi.org/10.1007/s00500-020-05141-x>.
- [5] Boysen, N., Flidner, M., & Scholl, A. (2009). Sequencing mixed-model assembly lines: Survey, classification and model critique. *European Journal of Operational Research*, 192(2), 349–373. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.09.013>.
- [6] Becker, C., & Scholl, A. (2006). A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 168(3), 694–715. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.07.023>
- [7] Alvarez, R. dos R., & Antunes Jr., J. A. V. (2001). Takt-time: conceitos e contextualização dentro do Sistema Toyota de Produção. *Gestão & Produção*, 8(1), 1–18. <https://doi.org/10.1590/s0104-530x2001000100002>
- [8] Håkansson, J., & Skoog, E. (2008). A review of assembly line balancing and sequencing including line layouts. *PLANs Forsknings-Och*, 69–84. <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:313377>  
<https://doi.org/10.1080/00207543.2011.625559>
- [9] Mamun, A. A., Khaled, A. A., Ali, S. M., & Chowdhury, M. M. (2012). A heuristic approach for balancing mixed-model assembly line of type i using genetic algorithm. *International Journal of Production Research*, 50(18), 5106–5116.
- [10] Gil, A. C. (org). (2008). Delineamento da Pesquisa. In *Métodos e técnicas de pesquisa social* (Vol. 264).