



DESENVOLVIMENTO DE ALGORITMO PARA OTIMIZAÇÃO DE LINHAS DE MONTAGEM

LILIANA SOFIA SOARES DE ALMEIDA

novembro de 2022

DESENVOLVIMENTO DE ALGORITMO PARA BALANCEAMENTO DE LINHAS DE MONTAGEM

Liliana Sofia Soares de Almeida

1101750

2022

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica



DESENVOLVIMENTO DE ALGORITMO PARA BALANCEAMENTO DE LINHAS DE MONTAGEM

Liliana Sofia Soares de Almeida

1101750

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação Professor Doutor Francisco Silva e Coorientação da Mestre Alcinda Barreiras.

2022

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica



JÚRI

Presidente

Doutora Maria Teresa Ribeiro pereira

Professor Coordenador, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Doutor Francisco José Gomes da Silva

Professor Coordenador com Agregação, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Coorientador

Mestre Alcinda Maria Sousa Barreiras

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

Doutor Nuno Octávio Garcia Fernandes

Professor Adjunto, Instituto Politécnico de Castelo Branco

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar queria agradecer à Polisport Plásticos S.A. que me acolheu e me deu a oportunidade de realizar este trabalho, nomeadamente à minha orientadora Eng.^a Liliana Fernandes, diretora do departamento de Produção. Agradeço também ao Eng.^o Ricardo Ferreira, diretor do departamento de engenharia, que foi o primeiro a acolher-me e me deixou sempre à vontade para procurar o que mais me motivava para realizar o meu estágio com sucesso.

De modo algum poderia deixar de agradecer ao meu orientador, Professor Doutor Francisco Silva e à minha coorientadora professora Alcinda Barreiras, por toda a dedicação, empenho e paciência que colocaram na realização desta dissertação, e por nunca me deixarem baixar os braços e estarem sempre disponíveis para ajudar.

Por fim, e não menos importante, expresso os meus agradecimentos à minha mãe, sempre preocupada, à minha família e aos meus amigos que fizeram parte desta caminhada.

PALAVRAS-CHAVE

Programação da produção, Linhas de produção e montagem, Balanceamento de Linhas

RESUMO

O balanceamento de uma linha de produção tem como objetivo anular o “gargalo” de produção, promovendo o máximo de produtividade e eficiência, mantendo o ritmo de trabalho adequado do processo produtivo.

Desta forma, o presente projeto foca-se na identificação e eliminação de desperdícios, melhorando os processos de montagem, mediante o estudo dos tempos de ciclo dos postos de trabalhos e as tarefas executadas por cada operador.

Na análise feita à linha, é descrito o processo com todas as tarefas inerentes à montagem da cadeira porta-bebé, bem como as fotografias da instrução de trabalho e controlo que auxiliam a montagem da cadeira. De igual forma são apresentados os dados recolhidos inicialmente e a proposta de melhoria.

Posto isto, foi criada uma interface com o Excel, que indica qual o número teórico de operadores necessários, dado o nº de encomendas requeridas para um determinado período de tempo. Esta interface recorre a um problema de otimização, que é resolvido com recurso do Solver para efetuar a afetação das diferentes tarefas aos operadores.

A análise feita, se for implementada, poderá ter um impacto positivo na produção final das cadeiras porta-bebés, no que diz respeito à diminuição de filas de espera entre postos, diminuição dos tempos de inatividade e aumento da eficiência da linha.

Este modelo proposto pode ser ajustado às restantes linhas de montagem com vista à sua otimização.

KEYWORDS

Production scheduling, Production and assembly lines, Line balancing

ABSTRACT

Balancing a production line aims to eliminate the production “bottleneck”, promoting maximum productivity and efficiency, maintaining the proper work rhythm of the production process.

In this way, the present project focuses on the identification and elimination of waste, improving the assembly processes, by studying the cycle times of the workstations and the tasks performed by each operator.

In the analysis carried out on the line, the process is described with all the tasks inherent to the assembly of the baby seat, as well as the photographs of the work and control instructions that help the assembly of the chair. Likewise, the data collected initially and the improvement proposal are presented.

Thus said, an interface was created with Excel, which indicates the theoretical number of operators needed, given the number of orders required for a certain period of time. This interface uses an optimization problem, which is solved using Solver to allocate the different tasks to the operators.

The analysis carried out, if implemented, could have a positive impact on the final production of baby seats, in terms of reducing queues between stations, reducing downtime and increasing the efficiency of the line.

This proposed model can be adjusted to the remaining assembly lines with a view to its optimization.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

ACO	Algoritmo de otimização da colônia de formigas
AG	Algoritmo genético
AGATS	Algoritmo de escalonamento de tarefas em tempo de projeto com eficiência energética
BFOA	Algoritmo de otimização de forrageamento bacteriano
BPSO	Algoritmo de otimização de enxame de partículas binário
DNA	Ácido nucleico que apresenta todas as informações genéticas de um indivíduo
GWOA	Algoritmo de otimização do lobo cinzento
HSA	Algoritmo de busca de harmonia
IGA	Algoritmo genético aprimorado
PSO	Algoritmo de otimização de enxame de partículas
TS	Algoritmo de procura tabu
WDO	Algoritmo de otimização do vento

Lista de Unidades

unid	Unidade
seg	Segundo
min	Minuto

Lista de Símbolos

%	Porcentagem
N	Número de postos
C	Tempo de ciclo
iT	Tempo total de paragem
E	Eficiência

GLOSSÁRIO DE TERMOS

<i>Software</i>	Pode ser definido como programas que permitem que um computador funcione, ou seja, fornece instruções para que o mesmo trabalhe.
<i>Setup</i>	Estrangeirismo usado para definir o tempo gasto nas preparações e ajustes feitos no início do processo produtivo.
<i>Clipar</i>	Termo que significa juntar dois elementos.
<i>Padronizar</i>	Significa uniformizar. Fazer com que siga sempre o mesmo padrão/modelo.
<i>Bottleneck</i>	Termo que significa gargalo, estrangulamento de capacidade.
<i>Input</i>	Informações que entram num sistema, para este transformar em saídas.
<i>Warning</i>	Estrangeirismo que significa aviso, advertência, perigo...
<i>Umbrako</i>	Designação para um tipo de chave de parafusos.
<i>Buckle</i>	Peça de metal ou plástico preso a uma extremidade de um cinto ou alça, que é usado para prendê-lo.
<i>VSM</i>	<i>Value Stream Mapping</i> – Mapeamento de fluxo de valor é uma ferramenta lean
<i>Lean</i>	É uma metodologia de gestão que otimiza custos e reduz o tempo e os desperdícios de uma empresa. Visa reduzir o desperdício de recursos.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Layout linear	11
Figura 2 - Linha linear com postos de trabalho em paralelo, em série e mistos	11
Figura 3 - Linha em U.....	12
Figura 4 - Linha circular	12
Figura 5 - Processo de negócio Polisport (fonte: Polisport).....	32
Figura 6 - Processo de suporte Polisport (fonte: Polisport).....	32
Figura 7 – Porta bebé BabySeat 100 FF (fonte:Polisport).....	33
Figura 8 - Componentes da cadeira	34
Figura 9 - Esquema de montagem da cadeira na linha	39
Figura 10 - VSM (Value Stream Mapping).....	Erro! Marcador não definido.
Figura 11 - Ilustração da linha de montagem.....	40
Figura 12 - Gráfico ilustrativo do balanceamento entre os postos. (fonte: Polisport)	Erro! Marcador não definido.
Figura 13 - Diagrama dos postos da linha de montagem.....	43
Figura 14 - Botão que inicializa o programa.....	50
Figura 15 - Menu principal	51
Figura 16 - Input de 8 horas e 120 Cadeiras.....	Erro! Marcador não definido.
Figura 17 - Função objetivo e tempos de ciclo dados pelo Solver para três operadores	52
Figura 18 - Valores da eficiência obtidos pelo Solver para três operadores.....	52
Figura 19 – Afetação do grupo de tarefas para três operadores.....	53
Figura 20 - Diagrama dos três postos de montagem	Erro! Marcador não definido.

Figura 21 – Otimização do Solver para 8 horas de trabalho e 120 peças	Erro! Marcador não definido.
Figura 22 - Input de 8 horas e 250 Cadeiras.....	Erro! Marcador não definido.
Figura 23 - Novos tempos de ciclo e função objetivo para cinco operadores	55
Figura 24 - Cálculo da eficiência pelo Solver para cinco operadores.....	55
Figura 25 - Afetação das tarefas para cinco operadores.....	56
Figura 26 - Diagrama da linha para cinco postos	Erro! Marcador não definido.
Figura 27 - Otimização do Solver para 8 horas de trabalho e 250 peças	Erro! Marcador não definido.
Figura 28 - Input de 16 horas e 400 Cadeiras.....	57
Figura 29 - Tempos de ciclo e função objetivo para quatro operadores	Erro! Marcador não definido.
Figura 30 – Eficiência para quatro operadores na linha	Erro! Marcador não definido.
Figura 31 - Afetação das tarefas para quatro operadores	Erro! Marcador não definido.
Figura 32 - Diagrama da linha para quatro postos.....	Erro! Marcador não definido.
Figura 33 - Otimização do Solver para 16 horas de trabalho e 400 peças	Erro! Marcador não definido.
Figura 34 – Afetação das tarefas para três postos – Exemplo 1.1	62
Figura 35 - Figura 34 – Afetação das tarefas para cinco postos – Exemplo 2.1.....	63
Figura 36 - Figura 34 – Afetação das tarefas para quatro postos – Exemplo 3.1	63

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Aplicações do algoritmo AG	13
Tabela 2 - Aplicações do algoritmo TS	15
Tabela 3 - Aplicações do algoritmo ACO	16
Tabela 4 - Aplicações do algoritmo BFO.....	17
Tabela 5 - Aplicações do algoritmo WDO.....	18
Tabela 6 - Aplicações do algoritmo HSA.....	19
Tabela 7 - Aplicações do algoritmo GWOA	20
Tabela 8 - Aplicações do sistema de visão artificial	21
Tabela 9 - Aplicações da programação linear	26
Tabela 10 – Identificação das tarefas, tempos e precedências	35
Tabela 11 - Somatório dos tempos das tarefas por posto	42
Tabela 12 – Agrupamento de tarefas por tempos de ciclo.....	47
Tabela 13 - Tempos de desperdício e movimentações.....	60
Tabela 14 - Novo agrupamento de tarefas	61
Tabela 15 - Resultados obtidos com a retirada de movimentações e desperdícios.....	62
Tabela 16 - Tabela das soluções encontradas.....	64
Tabela 17 - Resumo das soluções obtidas.....	67

ÍNDICE

RESUMO	IX
ABSTRACT.....	XI
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS.....	XIII
Lista de Abreviaturas.....	XIII
Lista de Unidades.....	XIII
Lista de Símbolos.....	XIV
GLOSSÁRIO DE TERMOS.....	XV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVII
ÍNDICE DE TABELAS.....	XIX
1 INTRODUÇÃO	3
1.1 Contextualização	3
1.2 Objetivos	3
1.3 Metodologia	4
1.4 Estrutura da dissertação	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1 Programação da produção	7
2.1.1 Necessidade de programação da produção	8
2.1.2 Ferramentas informáticas para a simulação e programação da produção.....	8
2.1.2.1 Sistrade Scheduling - Planeamento da Produção	8
2.1.2.2 inoPLAN APS (Advanced Planning and Scheduling)	9
2.1.2.3 Arena.....	9
2.2 Gestão de linhas de produção e montagem	9
2.2.1 Conceito de linha de produção/montagem	9
2.2.1.1 Tipos de linhas de montagem.....	10
2.2.1.1.1 Linha montagem reta.....	10
2.2.1.1.2 Linha montagem linear com postos de trabalho em paralelo, em série e mistos	11

2.2.1.1.3	Linha montagem em forma de U	11
2.2.1.1.4	Linha de montagem circular.....	12
2.2.2	Algoritmos para a gestão de linhas de produção	12
2.2.2.1	Algoritmo genético (AG)	13
2.2.2.2	Algoritmo de otimização de enxame de partículas (PSO).....	14
2.2.2.3	Algoritmo de procura tabu (TS)	15
2.2.2.4	Algoritmo de otimização da colônia de formigas (ACO)	15
2.2.2.5	Algoritmo de otimização de forrageamento bacteriano (BFO)	16
2.2.2.6	Algoritmo de otimização do vento (WDO).....	17
2.2.2.7	Algoritmo de busca de harmonia (HSA).....	18
2.2.2.8	Algoritmo de otimização do lobo cinzento (GWOA).....	19
2.2.3	Casos de estudo e recentes desenvolvimentos na gestão de linhas de produção	20
2.3	Balanceamento de linhas de produção e montagem	21
2.3.1	Necessidade de balanceamento de linhas de produção	21
2.3.2	Técnicas para o balanceamento de linhas de produção	22
2.3.2.1	Métodos heurísticos	22
2.3.2.1.1	Heurística de helgeson-birnie	23
2.3.2.1.2	Heurística de kilbridge e wester.....	23
2.3.2.2	Métodos computacionais para auxiliar o balanceamento de linhas	23
2.3.2.2.1	AVIX Resource Balance.....	23
2.3.2.2.2	Proplanner	24
2.4	Programação linear	24
2.4.1	Modelo de programação linear.....	24
2.4.2	Áreas de aplicação.....	25
2.5	Análise crítica da literatura	27
3	DESENVOLVIMENTO	31
3.1	Apresentação do trabalho.....	31
3.2	Caracterização da empresa	31

3.3	Caracterização dos processos	32
3.4	Caracterização do problema e objetivo	32
3.5	Balanceamento da linha de montagem	39
3.5.1	Cenário inicial – Definições e considerações.....	40
3.5.1.1	Definições e cálculos.....	41
3.5.1.2	Análise da solução encontrada	44
3.5.2	Apresentação da melhoria proposta.....	45
3.5.2.1	Modelo matemático	45
3.5.2.2	Agrupamento de tarefas.....	47
3.5.2.3	Otimização usando o programa.....	50
3.5.2.3.1	Exemplo 1.....	51
3.5.2.3.2	Exemplo 2.....	54
3.5.2.3.3	Exemplo 3.....	57
3.5.2.3.4	Exemplo 4.....	60
3.5.2.4	Análise crítica dos resultados obtidos	64
4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	67
4.1	Conclusões face aos objetivos.....	67
4.2	Proposta de trabalhos futuros	69
5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	73
5.1	Bibliografia	73
6	ANEXOS.....	79
6.1	Programa do Visual Basic	79
6.1.1	Botão de calcular número de operadores.....	79
6.1.2	Botão do Solver	81
6.1.3	Botão limpar os dados.....	83
6.1.4	Botão de sair.....	83
6.1.5	Página do Solver	83

6.2	Anexo 2 – Instrução de trabalho e controlo	85
-----	--	----

INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

1.2 OBJETIVOS

1.3 METODOLOGIA

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A evolução mundial traz consigo muitas vantagens em todas as áreas, mas no mundo do mercado essa evolução traduz-se em indústrias evoluídas que se tornaram cada vez mais dinâmicas e competitivas. Esta evolução acontece uma vez que, com o passar do tempo, o cliente também se torna cada vez mais exigente querendo adquirir produtos que satisfaçam as suas necessidades e que sejam personalizados para si.

Para que as indústrias produtoras consigam satisfazer essas necessidades, vêm-se obrigadas a modificar as suas estratégias e os seus sistemas de produção de forma a obter alguma flexibilidade. No centro dessa estratégia está a gestão da produção, que traz consigo conceitos como capacidade, materiais, planeamento e programação.

A modificação desses sistemas de produção implica para a maioria das indústrias a alteração das suas linhas de produção para que estas acompanhem as evoluções de mercado.

Agregado á gestão de produção estão a programação da produção, a gestão das linhas de produção e a montagem e o balanceamento das mesmas. Todos estes conceitos trazem consigo a evolução e a melhoria dos sistemas de produção porque buscam sempre exatamente a melhoria constante. Com estes métodos reduzem-se tempos de ciclo de produtos, custos de produção, tempo despendido no transporte e armazenamento dos produtos, entre outros. Estes métodos traduzem-me na otimização e eficiência das linhas, no aumento do rendimento e na satisfação do cliente.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste projeto passa pelo desenvolvimento de uma aplicação informática, que aplique o algoritmo matemático computacional, que mediante a introdução de determinadas tarefas e tempos de execução, consiga devolver o número ótimo de operadores e postos de trabalho que uma linha de montagem deve ter, de modo a que se consiga obter o rendimento máximo da mesma.

Esta aplicação deverá permitir a introdução dos dados a otimizar de forma fácil para o utilizador, resolver o problema do balanceamento da linha de produção e permitir ao utilizador analisar os resultados obtidos. É expectável que a aplicação consiga gerar uma solução ou, um conjunto de soluções exequíveis e com uma eficiência igual ou superior á existente atualmente.

1.3 Metodologia

A metodologia seguida na elaboração do presente projeto, assenta numa análise dos tempos das tarefas produtivas para posterior balanceamento da linha.

Posto isto, essa análise contempla:

- a análise teórica dos temas com o estudo do estado da arte,
- conhecimento do estado atual dos processos na linha de montagem, de forma a ter uma noção real dos processos,
- registo de todas as tarefas correspondentes á montagem do produto em análise na respetiva linha de montagem,
- cronometragem dos tempos de cada tarefa, para daí poder identificar os principais problemas dos processos em causa, e o bottleneck com vista ao nivelamento e otimização dos mesmos.

Com base nos resultados da análise anterior, e tendo como objetivo apresentar soluções face aos problemas identificados, vai ser estudado um algoritmo que mediante a inserção de alguns dados, devolva o número ótimo de postos/operadores necessários para executar a montagem do produto em análise, aumentando a produtividade e eficiência da linha cumprindo os prazos estipulados.

1.4 Estrutura da dissertação

No que diz respeito à estrutura, a presente dissertação, está subdividida em seis capítulos base, sendo eles:

- Capítulo 1 - é feita uma contextualização do trabalho, é apresentando a área de estudo em que se insere, bem como, quais os objetivos principais a ser atingidos e metodologia.
- Capítulo 2 – é apresentada a revisão bibliográfica, onde são apresentados os conceitos de programação da produção, gestão das linhas de produção, montagem e o balanceamento das mesmas.
- Capítulo 3 – neste capítulo é feita a apresentação do trabalho e da empresa onde este é realizado. É neste capítulo também onde é desenvolvido e descrito toda a análise e cálculos efetuados para o balanceamento da linha referente a um determinado produto.
- Capítulo 4 – é das conclusões e trabalhos futuros. Neste capítulo é onde são apresentadas as considerações finais do trabalho, bem como, as propostas de melhoria futuras para a empresa em questão.
- Capítulo 5 – consta a revisão bibliográfica. É onde estão mencionados todos os documentos que serviram de suporte para a elaboração da presente dissertação.
- Capítulo 6 – neste capítulo encontram-se os anexos

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Contextualização teórica

2.1 Programação da produção

2.2 Gestão de linhas de produção e montagem

2.3 Balanceamento de linhas de produção e montagem

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na indústria, a gestão de produção é uma componente bastante importante para o seu correto funcionamento, na medida em que, a falta dessa gestão pode originar situações críticas que podem por em causa toda uma produção e isso originar falha para com os clientes. Para esta gestão é necessário que haja o planeamento, a programação e o controlo da produção, que se torna fundamental para coordenar todas as atividades inerentes à satisfação da procura do mercado. Desta forma serão abordados diversos conceitos e técnicas que visam obter uma boa gestão da produção.

2.1 Programação da produção

A programação da produção, pode ser definida como um processo de tomada de decisão que permite definir numa escala de tempo o início e a conclusão do processamento dos lotes/peças nos diversos recursos do sistema produtivo.[1] A programação da produção sendo umas das tarefas de mais baixo nível no quadro do planeamento e controlo da produção, está diretamente ligada ao meio fabril e com um carácter de curto prazo. Dito de outra maneira a programação da produção sequencia um conjunto de tarefas em uma ou várias máquinas para otimizar um determinado objetivo que passa pela minimização do tempo máximo de conclusão, tempo total de conclusão, média e variação do tempo de fluxo e atraso/antecipação [2].

A programação da produção foi definida por diversos autores de formas diferentes, mas todas com o mesmo objetivo, entre elas pode citar-se:

Programação da produção é definir numa escala de tempo os instantes de início e do fim do processamento dos produtos nos diversos recursos do sistema produtivo[3].

Programação é alocar recursos ao longo do tempo por forma a cumprir um conjunto de tarefas. É caracterizada pela sua natureza combinatoria, que se situa na classe dos problemas discretos. Aplica-se tanto em tarefas simples como em ambientes complexos com sistemas flexíveis. [4].

Já em Courtois [5] é dito que a programação tem como objetivo indicar uma sequência de ordens (lista de lançamento e alocação de recursos), a disponibilidade de recursos (operações de manutenção programada) e todas as outras afetações que têm influência na fábrica como paragens programadas, transferências, etc. Com a programação é definido o início e fim de cada operação constante das ordens de fabrico resultante dos dados técnicos de gamas e centros de carga.”

Resumindo, o que os autores querem evidenciar é que os recursos a gerir são as pessoas, as máquinas e ferramentas e o material, tentando sempre otimizar a relação entre estes recursos,

entre stocks e movimentos físicos, bem como minimizar os stocks, diminuindo os produtos em curso e melhorar o serviço ao cliente.

2.1.1 Necessidade de programação da produção

A programação da produção nasceu da necessidade de fazer com que os processos de fabricação fluíssem com a máxima eficiência, equilibrando as necessidades de produção com os recursos disponíveis da maneira mais econômica [6].

Assim pode considerar-se que os principais objetivos da programação da produção passam por:

- Cumprir prazos de entrega;
- Reduzir custos de operação;
- Aumentar a eficiência da produção;
- Aumentar a eficiência de utilização de equipamentos;
- Reduzir trabalhos em curso;

De maneira a cumprir esses objetivos utilizam-se técnicas como:

- Definir a sequência de operações;
- Definir qual ou quais as atividades que devem desencadear outras;
- Afetar a capacidade disponível - Análise carga/capacidade;
- Analisar as entradas/saídas (input/output);
- Avaliar o desempenho [4].

2.1.2 Ferramentas informáticas para a simulação e programação da produção

A Simulação é uma ferramenta poderosa que está disponível aos decisores responsáveis pelo desenho e funcionamento de sistemas e processos complexos [7]. Consiste na utilização de técnicas matemáticas, em computadores que permitem imitar o funcionamento de praticamente qualquer tipo de operação ou processo do mundo real, ou seja, estuda o comportamento de sistemas reais através do exercício de modelos. A partir destas simulações e dos dados que são observados podemos assim estimar o desempenho do sistema.

No mundo atual existem diversos softwares de simulação bem como de programação da produção, uns mais intuitivos que outros, mas todos com o mesmo objetivo. Desta forma podem enumerar-se alguns como:

2.1.2.1 *Sistrade Scheduling - Planeamento da Produção*

O módulo *Scheduling* é um sistema de Planeamento da Produção que tem como base o mapa *Gantt* e permite programar as atividades da empresa. Esta programação obedece a critérios de sequenciação lógicos e critérios relacionados com bom senso de quem faz o planeamento, desta forma, é fundamental que a tarefa de planear seja feita com o auxílio de

um sistema de apoio à decisão no planeamento da produção, e não com uma ferramenta automática de planeamento. O *Scheduling* é o módulo responsável pelo escalonamento das ordens de fabrico no mapa de *Gantt* através do algoritmo de planeamento de capacidades. No diagrama de *Gantt* pode obter-se o escalonamento real ou a simulação do planeamento da produção [8].

2.1.2.2 *inoPLAN APS (Advanced Planning and Scheduling)*

Este software utiliza algoritmos avançados para definir automaticamente um plano de produção otimizado. Esta ferramenta tem como características o acesso remoto, o processamento em tempo real, a gestão da capacidade finita dos recursos, o controlo de todo o sistema através do *tablet* por exemplo, e a utilização de servidores Geo- redundantes. Permite o planeamento do projeto, a simulação (analisando vários cenários e o impacto nos projetos em curso ou agendados) e o agendamento automático [9].

2.1.2.3 *Arena*

Arena é uma ferramenta de, e para análise de cenários e realizar simulações dos seus processos. Com o aumento da complexidade, a aleatoriedade passa a ser um componente essencial para entender o desempenho do sistema. É uma ferramenta que une os recursos de uma linguagem de simulação à facilidade de uso de um simulador, em um ambiente gráfico integrado [10]. Este *software* apresenta recursos para a modelagem de processos, análise de dados estatísticos, design de animações e por final análise de resultados. Disponibiliza um vasto conjunto de livrarias que se encontram já integradas no sistema, permitindo a fácil modelação de projetos nas áreas de manufatura, logística e reengenharia.

2.2 Gestão de linhas de produção e montagem

O objetivo da gestão das linhas de produção e montagem é definir a linha que mais se adequa às necessidades de produção com base no produto que irá ser produzido.

2.2.1 Conceito de linha de produção/montagem

Uma linha de produção pode ser definida como uma sucessão de postos de trabalho onde as tarefas são realizadas sequencialmente em cada posto [11]. Este sistema visa determinar o número de postos de trabalho e a atribuição de tarefas para os postos de trabalho existentes da linha, garantindo que as cargas por cada posto sejam tão iguais quanto possível. São usadas para automatizar a produção de um amplo conjunto de produtos e, portanto, tem sido usado em muitos domínios industriais [12].

A linha de produção em serie foi inventada pelo engenheiro Frederic W. Taylor e aplicada e difundida por Henry Ford para a fabricação dos automóveis Ford no ano de 1913, desde essa

data que é considerada uma das maiores inovações tecnológicas da era industrial, dado que teve uma grande influência na redução do tempo de produção de peças [13], permitindo a produção de grandes quantidades, o que acabou por se refletir no preço dos produtos, tornando-os mais acessíveis a outras classes sociais.

Desta forma as linhas de montagem são o método mais comum usado na produção em massa de produtos já que permitem obter produtos de melhor qualidade a um custo mais reduzido e num menor espaço de tempo. Esta consiste numa sequência de postos de trabalho que executam tarefas repetitivas sobre um conjunto de produtos. Estas linhas são utilizadas em muitos contextos, como por exemplo a montagem ou desmontagem de diversos produtos [14].

A dimensão do produto influencia a conceção de uma linha de montagem, pois vai restringir o número de produtos que podem existir em cada posto de trabalho, afetando por sua vez o desempenho do trabalhador. Se o produto tiver grandes dimensões isso vai implicar uma dependência entre os postos de trabalho [13].

Vantagens de uma linha de montagem:

- Aumento da disponibilidade dos equipamentos na linha
- Redução dos defeitos de montagem
- Maior flexibilidade no processo de montagem
- Aumento de produtividade
- Menores custos de produção
- Maior segurança para os trabalhadores
- Redução do uso de energia
- Redução da movimentação dos operadores

As desvantagens que são frequentemente associadas a este método de produção são:

- Instalações de produção rígidas ou inflexíveis
- Investimento de capital inicial maior.
- Tarefas monótonas e/ou repetitivas que podem causar problemas de motivação por parte dos trabalhadores.

2.2.1.1 Tipos de linhas de montagem

A forma como são dispostas as linhas de produção/montagem têm um grande impacto na produção de cada tipo de produto. As linhas podem assumir diversas formas consoante o objetivo pretendido.

2.2.1.1.1 Linha montagem reta

Este tipo de linha é destinado para uma variedade de artigos pequena ou nula, para grandes quantidades e para gamas operatórias iguais. Caracteriza-se pelos postos de trabalho fixos, enquanto os artigos passam por cada posto de forma sequencial. Estas linhas são normalmente

dedicadas para a produção de um tipo exclusivo de produto, como linhas de montagem de automóveis [15]. A figura 1 mostra um exemplo de uma linha de layout linear.

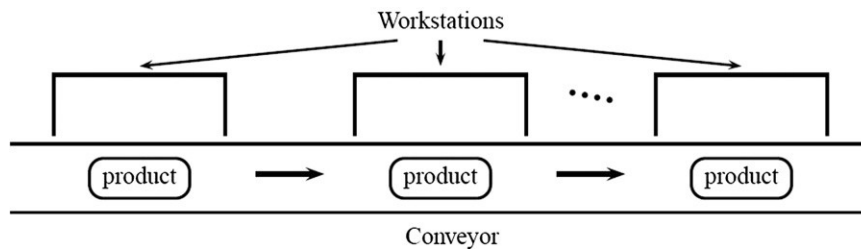


Figura 1 – Layout linear

2.2.1.1.2 Linha montagem linear com postos de trabalho em paralelo, em série e mistos

Nestas linhas apresentadas na figura 2, os postos de trabalho são instalados de forma a que os trabalhadores ou equipamentos associados a cada posto, possam produzir de forma sequencial e simultaneamente. Estas configurações traduzem-se numa rápida resposta a variações na procura dos produtos e alterações no número de postos de trabalho em uso. Verifica-se ainda que o tempo de ciclo tende a aumentar melhorando por sua vez o balanceamento das linhas uma vez que permite um número maior de combinações possíveis.

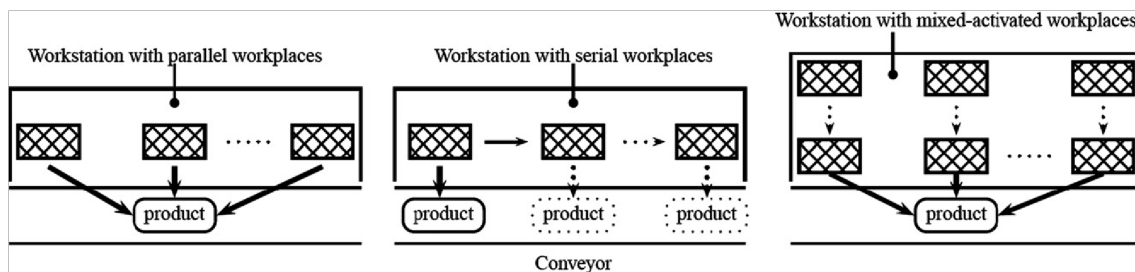


Figura 2 - Linha linear com postos de trabalho em paralelo, em série e mistos

2.2.1.1.3 Linha montagem em forma de U

Nesta configuração de linha apresentada na figura 3, os trabalhadores são posicionados na parte interior da curva facilitando as trocas e a comunicação entre eles, o que não era tão fácil numa linha reta. Nesse caso, vários subconjuntos de tarefas associados a diferentes postos de trabalho são executados pelo mesmo trabalhador. Nos modelos matemáticos dessas linhas, as restrições de precedência e de tempo de ciclo não são tratadas da mesma maneira que para as linhas retas. Além disso, os postos ao longo da linha conseguem produzir vários designs de produtos simultaneamente, tornando assim a instalação mais flexível.

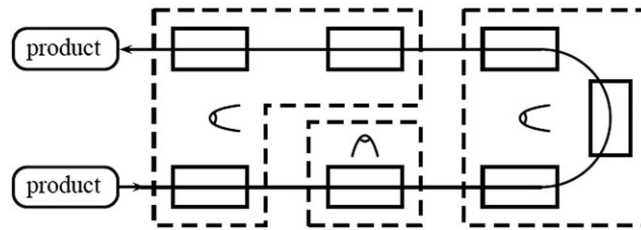


Figura 3 - Linha em U

2.2.1.1.4 Linha de montagem circular

Na figura 4 é apresentada a linha circular, onde os postos de trabalho estão dispostos em círculo e o produto está fixo a um sistema rotativo que permite que o produto percorra cada um dos postos de trabalho.

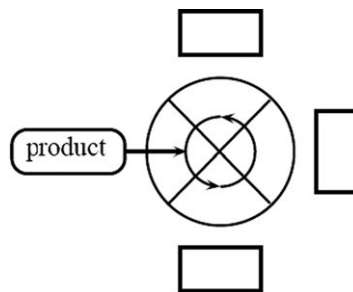


Figura 4 - Linha circular

A montagem de diversas linhas traduz-se em vantagens como:

- Adaptar a produção conforme a procura
- A falha de uma linha não afeta necessariamente o ritmo de outras
- Os custos de produção reduzidos
- Adição de linhas aquando da necessidade, etc...

A grande desvantagem será o custo de investimento em comparação com a montagem de uma única linha.

2.2.2 Algoritmos para a gestão de linhas de produção

Um algoritmo pode ser definido como uma sequência finita de ações executáveis com o objetivo de obter uma solução para um dado tipo de problema. Os algoritmos são procedimentos precisos, não ambíguos, mecânicos, eficientes, corretos e devem eventualmente resolver um problema. Desta forma e para a gestão de linhas de produção podem ser mencionados os seguintes algoritmos [16]:

- Algoritmo genético (AG)
- Algoritmo de otimização de enxame de partículas (PSO)
- Algoritmo de procura tabu (TS)
- Algoritmo de otimização da colônia de formigas (ACO)

- Algoritmo de otimização de forrageamento bacteriano (BFOA),
- Algoritmo de otimização do vento (WDO),
- Algoritmo de busca de harmonia (HSA)
- Algoritmo de otimização do lobo cinzento (GWOA)

2.2.2.1 Algoritmo genético (AG)

O AG tem como base o estudo da evolução genética de forma a compreender as informações que são transmitidas de pais para filhos pelos genes. Nesse sentido, o AG tem sido usado para diferentes problemas de otimização em ramos como as ciências, a engenharia, biologia, economia, processamento de imagens e física. O AG foi introduzido por John Holland no ano de 1970 e vem da família dos Algoritmos Evolucionários. Assim, em problemas de otimização, gera soluções utilizando técnicas de evolução de inspiração natural. Este método tem como objetivo avaliar cada indivíduo quanto ao seu desempenho ditando assim a sua sobrevivência na população. Os indivíduos com desempenho melhor são os que sobrevivem e que se reproduzem para criar uma nova geração e assim por diante. Desta forma, a cada nova geração apenas as combinações genéticas dos melhores indivíduos da geração anterior é que sobrevivem. Assim, naturalmente cada espécie tende a melhorar o seu desempenho médio ao longo das gerações. É um processo iterativo em que cada iteração é uma geração, e é necessário definir a população inicial, qual o método de cruzamento e/ou mutação, qual a medida de desempenho e qual o critério de paragem. [17]

Tabela 1 - Aplicações do algoritmo AG

Referências Bibliográficas	Descrição do trabalho
Shao et al., 2018 [18]	Foi usado um algoritmo genético aprimorado (IGA) para investigar sistematicamente a estabilidade estrutural de nanopartículas Au-Ag bimetálicas. Os resultados obtidos mostram que o IGA possui capacidade de convergência e estabilidade superiores. Entretanto, o tamanho da população e a taxa de cruzamento exercem maior influência na velocidade de evolução, mas têm menor impacto no resultado final da otimização.
Yun et al., 2019 [19]	Neste estudo foi usado um GA baseado num algoritmo de escalonamento de tarefas em tempo de projeto com eficiência energética (AGATS), para programar tarefas de eficiência energética num sistema multiprocessador assimétrico no <i>chip</i> . Os resultados experimentais mostram que o AGATS reduziu o consumo de energia em até 29,3% em comparação aos métodos existentes e que identificou soluções viáveis de forma eficaz, o que não acontecia com os métodos existentes sob rígidas restrições de tempo.

2.2.2.2 Algoritmo de otimização de enxame de partículas (PSO)

PSO é um dos algoritmos com mais sucesso implementados que imita o comportamento da procura de alimentos dos enxames de abelhas, moscas ou cardumes de peixes. Utiliza poucos parâmetros matemáticos e oferece recursos vantajosos em comparação com o (AG), como a simplicidade computacional; facilidade de implementação, convergência mais rápida e menos requisitos de memória. Ao contrário do GA, o PSO não executa nenhuma forma de sobrevivência da operação mais adequada, resultando numa melhor estabilidade da população. Podem ser usadas funções objetivo diretamente como funções de adequação, para guiar a busca em PSO que fornecem um tratamento mais rápido nos problemas de otimização não lineares e não diferenciáveis. A vertente do PSO binário (BPSO) simplifica ainda mais a complexidade computacional do PSO de domínio contínuo, visto que, elimina as técnicas de manipulação de limites e peso inercial variável no tempo [20].

Referências Bibliográficas	Descrição do trabalho
Cortez et al., 2022 [21]	Este trabalho propõe um novo algoritmo de PSO projetado especificamente para identificação de parâmetros de sistemas físicos. A característica principal do algoritmo proposto é que leva em consideração a Riqueza Espectral do sinal usado para excitar o sistema durante o procedimento de identificação. O algoritmo proposto é definido como Spectral Richness Particle Swarm Optimization (SR-PSO), reduz a variabilidade das estimativas dos parâmetros ao usar um sinal de excitação com um baixo valor de riqueza espectral em comparação com o PSO de última geração algoritmos, e mantém o mesmo desempenho se a riqueza espectral for alta.
Ma, Yuhua Liang et al., 2022 [22]	A identificação precoce e precisa dos pacientes com cancro do colo do útero pode aumentar muito a taxa de cura. Neste estudo, os dados de amostras de soro foram recolhidos de pacientes com cancro de colo do útero, NIC (neoplasia Intra epitelial cervical) I, NIC II, NIC III e histeromioma usando a tecnologia FT-IR (Fourier-transform infravermelha espectroscopia). O modelo PSO-CNN para rastreamento precoce foi projetado usando um PSO para construir automaticamente uma estrutura CNN com número variável de camadas e parâmetros de classe de camada variáveis. Os resultados experimentais mostraram que o PSO-CNN foi o melhor em comparação com os modelos clássicos Lenet, AlexNet, VGG16 e GoogLeNet, e a precisão do PSO-CNN em discriminar cinco tipos de amostras pode chegar a 87,2%.

2.2.2.3 Algoritmo de procura tabu (TS)

É um algoritmo de melhoria iterativa que usa memória limitada de movimentos anteriores recentes para ajudar na diversificação do procedimento de pesquisa [23]. É um método que usa uma função de memória para evitar ficar preso aos mínimos locais, descrevendo as soluções visitadas. Assim, se uma possível solução foi anteriormente visitada, é marcada como “tabu”, e o algoritmo não considera essa solução de forma repetida. Inicializa-se este processo a partir de uma solução inicial e escolhe para solução seguinte a melhor solução na vizinhança atual, ou de uma sub-vizinhança. Esta escolha da solução ótima ocorre, independentemente de ser pior ou melhor que a solução atual.

Tabela 2 - Aplicações do algoritmo TS

Referências Bibliográficas	Descrição do trabalho
Zhang et al., 2008 [24]	Foi usado o TS para resolver o problema de codificação do DNA e melhorar o algoritmo para integrar as restrições combinatórias e termodinâmicas necessárias para a computação do DNA. Como a estrutura vizinha deste algoritmo pode sobrepor-se a todo o espaço da solução, pode concluir-se que este pode gerar um dos maiores conjuntos de sequências de DNA que satisfaçam as restrições exigidas.
Y. Xu et al., 2022 [25]	O algoritmo de busca tabu, foi utilizado para obter o dimensionamento ótimo de um sistema híbrido de armazenamento de energia fotovoltaica/bateria, em termos de economia e confiabilidade. Foram avaliados e investigados de forma abrangente as variações do dimensionamento ótimo do sistema com base em diferentes tipos de índice de confiabilidade e parâmetros de busca tabu, como soluções iniciais, estrutura de vizinhança, número de execuções e iterações. Os resultados mostram que com os parâmetros ótimos do algoritmo, é mais fácil encontrar as variáveis de decisão ótimas para o sistema gerar eletricidade verde de baixo custo.

2.2.2.4 Algoritmo de otimização da colônia de formigas (ACO)

O ACO tem como base o hipotético comportamento das formigas na procura de alimento. Durante a procura as formigas segregam feromonas para marcar o seu caminho, mas com o tempo elas evaporam. Na natureza, as formigas que percorrem o caminho mais curto voltam ao formigueiro mais rapidamente, esse fenómeno acontece porque o caminho percorrido por esses indivíduos tem maior concentração de feromonas. Esse caminho atua como isca para outras formigas e, com o tempo, todos os indivíduos da colônia tendem a percorrer esse caminho mais curto. [26]

Tabela 3 - Aplicações do algoritmo ACO

Referências Bibliográficas	Descrição do trabalho
Ranzan et al., 2014 [27]	Foi usado ACO com o objetivo de prever o conteúdo de proteína em diferentes marcas de farinha com base em dados espectrais. Concluiu-se que, usado como ferramenta de filtragem possibilitou a seleção de importantes regiões espectrais, aumentando em 60% o coeficiente de determinação dos modelos gerados em relação a outros métodos que utilizaram o espectro total. Provou também que a tendência de aumentar a concentração de feromona em torno dos componentes espectrais, apresenta maior correlação com o estado variável avaliada, permitindo que esta informação seja utilizada como uma pré-fase do tratamento dos dados espectrais.
Yan, F., 2018 [28]	Aplicou-se o ACO para resolver o problema no roteamento de veículos autônomos tradicionais. Os resultados experimentais obtidos levam a concluir que o algoritmo pode atingir os objetivos esperados levando em consideração o custo de entrega e a satisfação do piloto.

2.2.2.5 Algoritmo de otimização de forrageamento bacteriano (BFO)

O BFO é um algoritmo de otimização de inteligência de enxame de inspiração biológica, que simula o comportamento de forrageamento de bactérias para obter a máxima energia durante o processo de procura [29]. Este algoritmo pode ser referido como BF, BFA ou BFOA e imita o enxame bacteriano e comportamentos de forrageamento social da bactéria *E. coli* para lidar com a otimização distribuída e o problema de controlo. Devido á sua fácil implementação, computação paralela, robustez e boa exploração, o BFO é usado para solucionar e otimizar análises de redes, escalonamentos, despachos ambientais e econômicos, seleção de recursos, entre outros. Como desvantagens pode mencionar-se a sua lenta velocidade de convergência, o seu desempenho decrescente com o aumento da dimensão do espaço de procura e da complexidade do problema e o comprimento de passo fixo [30].

O BFOA é um algoritmo que tenta simular o comportamento de procura da bactéria “*E. coli*” para a otimização de problemas [31]. Consiste em quatro etapas básicas:

- 1 – Quimiotaxia - simula o movimento de cada bactéria usando a corrida e a cambalhota. Uma bactéria pode alternar entre esses dois movimentos no espaço da procura.
- 2- *Swarming* - simula a sinalização indireta que passa de célula para célula, entre bactérias informando sobre os nutrientes e materiais nocivos nas proximidades

3- Reprodução - tenta simular a reprodução através de uma medida de saúde bacteriana baseada nos alimentos obtidos. Para evitar a expansão da complexidade o tamanho do enxame é mantido constante.

4- Eliminação e Dispersão - tenta simular as restrições ambientais através de uma probabilidade de mutação nas bactérias.

Tabela 4 - Aplicações do algoritmo BFO

Referências Bibliográficas	Descrição do trabalho
M. Jansi Rani et al., 2021 [32]	O BFO foi aplicado para identificar genes que são regulados de forma diferenciada por doenças diferentes. Esta seleção é feita para escolher os genes com variações máximas que são os mais informativos e importantes. Concluiu-se que o BFO oferece o melhor esclarecimento para várias dificuldades onde os métodos sistemáticos mais avançados são incompatíveis e têm como benefícios a carga computacional e a convergência global.
Majumder et al., 2019 [33]	Neste estudo o BFO aprimorado (IBFO) foi usado para determinar a sequência ótima de peças e movimentos do robô, com o intuito de minimizar o tempo de ciclo de duas células robotizadas com tempos de configuração dependentes da sequência. Os resultados obtidos revelam que o algoritmo supera os algoritmos de última geração existentes, enquanto mantém seu tempo médio de CPU comparável.

2.2.2.6 Algoritmo de otimização do vento (WDO)

O WDO é uma nova técnica de otimização global heurística, iterativa e populacional com o potencial de implementar restrições no domínio da procura semelhante à otimização baseada em partículas para problemas multidimensionais e multimodais [34]. É usada para resolver os problemas de otimização que se inspiram nos movimentos do vento na Terra.

O algoritmo tem vantagens como soluções construídas a partir de operações aleatórias para evitar ficar preso em ótimos locais, robustez na interdependência de parâmetros e capacidade de lidar com grandes problemas multimodais.

Uma das principais desvantagens do algoritmo WDO é que sua velocidade e precisão ao explorar o espaço de busca são relativamente baixas. Para resolver essa desvantagem e outras limitações este algoritmo pode ser otimizado (IWDO).

Tabela 5 - Aplicações do algoritmo WDO

Referências Bibliográficas	Descrição do trabalho
Ibrahim et al., 2020 [35]	Neste estudo o IWDO é proposto para identificar os nove parâmetros desconhecidos num modelo de célula de díodo triplo. Conclui-se que tem melhor precisão e velocidade de convergência em qualquer condição de operação baseada em intervalos de 15 minutos.
Laishram et al., 2021 [36]	As massas são uma das manifestações do cancro de mama impercetível, visíveis somente nas mamografias cuja detecção e diagnóstico é uma tarefa desafiadora devido à sua natureza sutil. Neste estudo é utilizado o algoritmo de WDO que em combinação com o limiar multinível da Otsu identifica os potenciais candidatos a lesões em massa. De forma a reduzir os falsos positivos e diagnosticar as massas malignas, é utilizado um recurso de padrão quinário local multi-gradiente baseado em textura (M-GQP), o que torna mais consistente a computação de informações de gradiente das áreas uniformes e quase uniformes. A proposta para a detecção e caracterização de massas mamográficas é avaliada por dois bancos de dados de referência - mini-MIAS e DDSM compreendendo 68 e 500 mamografias, respetivamente, e pode observar-se uma sensibilidade de 100% e 98% em casos malignos para MIAS e DDSM, respetivamente.

2.2.2.7 Algoritmo de busca de harmonia (HSA)

O HSA é um algoritmo de otimização que simula o processo de improvisação dos músicos quando procuram um estado de harmonia perfeito [37]. Existe uma analogia entre música e otimização, em que cada instrumento musical corresponde a cada variável de decisão; a nota musical corresponde a um valor variável; e a harmonia corresponde a um vetor de solução. Assim as variáveis no HSA têm valores aleatórios ou valores bons previamente memorizados para encontrar a solução ideal.

Devido à sua facilidade de aplicação e simplicidade, tem sido usado com sucesso para lidar com vários problemas de otimização, como programação hidrotérmica de curto prazo, detecção de ponto de fuga para carro autónomo, problema de corte máximo, escala de serviço de enfermagem entre outros [38].

Tabela 6 - Aplicações do algoritmo HSA

Referências Bibliográficas	Descrição do trabalho
Güney et al., 2011 [37]	O HSA neste estudo foi usado para supressão de interferência de um conjunto de antenas lineares, controlando a amplitude, a fase e a posição separadamente. Consegue verificar-se que o HSA é capaz de sintetizar os padrões de matriz com nulos simples, múltiplos e amplos impostos nas direções das interferências. O nível máximo do lóbulo lateral e o nível de profundidade nula do padrão de anulação podem ser facilmente controlados.
Kumar et al., 2022 [39]	Este estudo utiliza o algoritmo HSA para melhorar o problema de eficiência de uma Rede de Sensores Sem Fio (WSN). O sistema de cluster que fornece a transferência de dados com eficiência energética existente, utiliza a hierarquia de Clustering Adaptativa de Baixa Energia (LEACH) e as abordagens de otimização enfrentam problemas. Com vista a solucionar esses problemas, é aplicado a combinação do algoritmo HSA e da CSO (Competitive Swarm Optimization) para a seleção eficiente de energia do cluster head (CH) para fornecer uma pesquisa com uma taxa de convergência rápida. O método possui uma alta eficiência de procura HSA e uma capacidade dinâmica de CSO que prolonga a vida útil dos nós sensores. O desempenho do algoritmo HSA-CSO é medido pela energia residual e pelo rendimento e concluiu-se que este supera os métodos atuais.

2.2.2.8 Algoritmo de otimização do lobo cinzento (GWOA)

O GWOA simula o sistema hierárquico e o mecanismo de caça dos lobos cinzentos na natureza, o que se traduz numa analogia entre o processo de rastreamento e cerco da presa e o processo de otimização. Tem sido amplamente utilizado em diversas áreas devido às suas vantagens simples e eficientes, no entanto o GWOA original está sujeito a problemas como otimização local, baixa precisão e baixa robustez para problemas de otimização multiobjectivo de alta dimensão [40]. O algoritmo do lobo cinzento tradicional tem velocidade de convergência rápida e poucos parâmetros, já o algoritmo de otimização do lobo cinzento tradicional usa os dados produzidos estocasticamente como a informação da população original. A otimização do lobo cinzento é melhorada pela teoria do caos Tent para garantir a diversidade da população de lobos e melhorar a capacidade de pesquisa global porque o mapeamento cúbico tem melhores características de aleatoriedade e regularidade [41].

Tabela 7 - Aplicações do algoritmo GWOA

Referências bibliográficas	Descrição do trabalho
Kadali et al., 2017 [42]	O GWO foi usado para determinar o cronograma de geração térmica ideal que corresponde à operação econômica de emissão econômica combinada. Conclui-se que o algoritmo satisfaz a restrição de equilíbrio de potência real dentro dos limites inferior e superior operacionais, tem um preço mais acessível para a energia elétrica e pode ser uma alternativa robusta e eficaz para resolver problemas de despacho de carga econômica biobjetivo.
Sun et al., 2022 [43]	Este estudo propõe um método de controle unificado GWOA aprimorado para melhorar o desempenho dos motores de relutância comutada (SRMs) para lidar com várias condições de operação. O algoritmo foi projetado para garantir uma comutação suave. A solução ótima é obtida com a entrada do grupo coiote para evitar que esta caia na solução ótima local. Os resultados experimentais comprovam a eficácia do método de controle o que pode reduzir a ondulação de torque até 23,5% na faixa de velocidade nominal.

2.2.3 Casos de estudo e recentes desenvolvimentos na gestão de linhas de produção

O desenvolvimento implementado na gestão das linhas de produção deve-se essencialmente à implementação da Indústria 4.0. Consiste numa indústria altamente eficiente baseada numa produtividade de alta qualidade que reduz os custos provenientes do tempo e dos recursos econômicos e humanos.

Com a implementação da indústria 4.0 é imperativo que os processos sejam automatizados e as linhas de montagem sejam eficientes, recorre-se assim à visão artificial devido à sua alta precisão, baixo custo e conveniência [44].

Os sistemas baseados em visão artificial permitem melhorar o controlo de qualidade, reduzir os custos de fabricação, reduzir erros durante o processo de produção na linha de montagem e com a grande vantagem de ter um preço acessível.

Ao utilizar sistemas de visão artificial na linha de montagem a automatização dos processos de produção é maior, resultando em produtos de maior necessidade a um custo produtivo menor.

Tabela 8 - Aplicações do sistema de visão artificial

Referências bibliográficas	Descrição do trabalho
Martin et al., 2018 [45]	Os algoritmos de rastreamento do ponto de potência máxima devem rastrear e extrair a potência máxima dos sistemas fotovoltaicos sob quaisquer condições ambientais. Dessa forma estes autores usaram a visão artificial para atingir o ponto de potência máximo em condições de sombreamento parcial. Conclui-se com este estudo que eficiência de rastreamento está entre 98,1% e 99,6% e que os resultados validam a detecção das sombras, o cálculo da irradiância da sombra e o alcance do ponto de potência máxima em condições de sombreamento parcial.
Changsheng et al., 2020 [46]	Neste caso a visão artificial foi usada para detetar defeitos numa máquina com supervisão fraca baseada na simulação de defeito artificial. Através dos resultados experimentais obtidos conclui-se que o método alcançou um desempenho satisfatório.

2.3 Balanceamento de linhas de produção e montagem

O balanceamento de uma linha de produção é um método de análise, que tem como objetivo distribuir de igual forma o trabalho a ser executado pelos diferentes postos de trabalho, de tal forma que o número de trabalhadores ou postos de trabalho na linha de produção sejam minimizados e rentabilizados de forma equiparada [47]. O balanceamento visa anular o “gargalo” de produção, proporcionando um aumento da produtividade e da eficiência mantendo o ritmo de trabalho adequado do processo produtivo.

2.3.1 Necessidade de balanceamento de linhas de produção

Sendo as linhas de produção parte essencial das indústrias atuais e o problema de balanceamento de linhas de produção um problema que surge no dia-a-dia, a resolução rápida e eficaz deste problema torna-se fundamental [48].

Uma característica muito importante para o balanceamento das linhas é o tempo de processamento das tarefas. Estas podem, porém, ter um conjunto de outros atributos que devem ser tidos em conta ao serem atribuídas a um posto de trabalho, como é o caso de processos e parâmetros de ergonomia, probabilidade de falha, o custo, etc. Neste género de linha, quando existe um desequilíbrio entre a velocidade dos trabalhadores, o trabalhador mais lento atrasa toda a linha. Como resultado, a taxa de produção para a linha também diminuirá [14].

O tempo de processamento de uma linha é igual à soma dos tempos de todas as tarefas dos vários postos de trabalho. Às vezes, também é adicionado um tempo suplementar, representando a parte do trabalho de carga/descarga, assim como a mudança ou deslocamento de ferramentas e uma percentagem para a fadiga ou necessidades pessoais dos trabalhadores [48].

O tempo de processamento dos postos de trabalho tem de ser inferior a um valor calculado com base no rendimento da linha sendo isto conhecido como a restrição do tempo de ciclo. Contudo, a fórmula para calcular os tempos de processamento dos postos de trabalho, nem sempre é simples pois depende do *layout* de linha, equipamentos utilizados, etc. [15].

2.3.2 Técnicas para o balanceamento de linhas de produção

O balanceamento de linhas de produção/montagem é um problema de distribuição de operações pelas diferentes estações de trabalho ao longo da linha de produção [49]. Desta forma deve-se em primeiro lugar determinar o número mínimo de postos de trabalho, e agrupar as tarefas individuais.

De seguida através das variáveis descritas é possível calcular a eficiência da linha

- TC = tempo de produção/quantidade produzida no tempo de produção;
- N = tempo total para produzir um componente na linha/tempo de ciclo;
- NR = número real de operadores;
- E = eficiência do balanceamento. $E = N/NR$.

O problema de balanceamento de linhas, é um problema complexo de tratar devido ao número de combinações possíveis. Os métodos que têm sido utilizados para resolver estes problemas são:

- Tentativa e erro;
- Métodos heurísticos;
- Métodos computacionais que avaliam diferentes opções até encontrarem a solução melhor;
- Programação linear e/ou programação dinâmica;

Nenhum destes métodos garante um balanceamento ótimo, mas alguns deles devolvem soluções boas e viáveis que se aproximam, em maior ou menor grau, da solução ótima.

2.3.2.1 Métodos heurísticos

Uma “heurística”, é uma regra prática derivada da experiência. Como não existe uma prova conclusiva de sua validade, é esperado que a heurística funcione muitas vezes, mas não sempre. Uma heurística pode ajudar a encontrar boas soluções, mas nem sempre serão as ótimas.

2.3.2.1.1 *Heurística de Helgeson-Birnie*

Este método considera o tempo de ciclo, o tempo de cada operação e as relações de precedência entre operações. Desta forma ao considerar o peso do tempo mais longo no cálculo do equilíbrio da linha de montagem este método elimina o gargalo porque a operação com o tempo mais longo é realizada primeiro [50].

O modo de aplicação desta heurística passa por:

1. ordenar as tarefas por ordem decrescente de tempo de operação;
2. atribuir tarefas a uma estação, até perfazer o tempo de ciclo, respeitando as precedências das tarefas;
3. repetir a tarefa 2 para todas as estações.

Este método pode ser aplicado em problemas de pouca complexidade e onde se respeitem as precedências.

2.3.2.1.2 *Heurística de Kilbridge e Wester*

Este método seleciona as tarefas pela ordem com que estas ocorrem, até atingir o tempo de ciclo [48].

Os passos a seguir para a aplicação desta heurística são:

- Construir um diagrama de precedências que coloque verticalmente em colunas as tarefas que tenham uma precedência idêntica;
- Listar os elementos por uma ordem crescente de colunas e bem como os tempos de operação e o somatório dos tempos de operação de cada coluna;
- Atribuir elementos a postos começando pelas tarefas das colunas de ordem inferior;
- Repetir este processo até alcançar o tempo de ciclo.

2.3.2.2 *Métodos computacionais para auxiliar o balanceamento de linhas*

Existem vários *softwares* de auxílio ao balanceamento de linhas. Desta forma enunciam-se de seguida alguns desses softwares

2.3.2.2.1 *AVIX Resource Balance*

É uma aplicação de balanceamento de linhas de produção, que ajuda a otimizar a linha de produção [51].

Esta aplicação permite ao utilizador:

- Criar instruções de trabalho padronizadas
- Trabalhar com múltiplas variáveis
- Identificar e reduzir perdas de balanceamento de uma linha
- Aumentar o desempenho da linha suavizando o fluxo
- Planear a produção de um novo produto, entre outras

Esta aplicação permite também efetuar o balanceamento manualmente através da deslocação de tarefas entre estações. Após cada passo tomado no balanceamento, a aplicação mostra a sua influência na produtividade e na eficiência da linha de produção.

2.3.2.2.2 *Proplanner*

O módulo de balanceamento de linha da *Proplanner* inclui a maioria dos recursos, capacidades e desempenho de outras aplicações de balanceamento [52]. Consegue rapidamente equilibrar e visualizar milhares de tarefas, centenas de modelos e pedidos de clientes e satisfazer o maior número de restrições rígidas e flexíveis, incluindo precedência, recursos, zonas de trabalho, agrupamento, ergonomia, inspeção e orientação de produto. Esta aplicação foi projetada especificamente para a indústria automóvel, industrial e de equipamentos agrícolas conseguindo criar, comparar, gerir e analisar vários cenários para combinação de modelos e volume de produção simultaneamente.

2.4 Programação linear

A Programação Linear pode ser considerada uma ciência voltada para a resolução de problemas reais, no ramo da matemática faz parte dos métodos quantitativos de apoio á tomada de decisão [53].

Os problemas de programação matemática dizem respeito normalmente à afetação de recursos escassos a usos alternativos. Por forma a satisfazer um objetivo sujeito a um conjunto de condições ou restrições, a solução que satisfaz simultaneamente a função objetivo e as restrições é chamada a solução ótima do problema.

A programação linear é aplicável a problemas de otimização nos quais a função objetivo e as restrições são todas lineares, ou seja, quando o objetivo e as restrições do problema podem ser traduzidos por funções lineares. Pode ser utilizada na resolução de problemas de diversas áreas como: economia, gestão, física e engenharia.

2.4.1 Modelo de programação linear

Um problema de programação é executado através de um modelo que inclui:

- N variáveis, para as quais se pretende determinar o valor ótimo que satisfaça a função objetivo e as restrições do problema;
- Uma função objetivo, que pode ser tanto de minimização, como de maximização. A função objetivo é retratada por uma função linear;
- M restrições, ou condições, que as variáveis devem respeitar. As restrições são funções lineares e podem ser do tipo \leq , $=$, \geq .
- N restrições para as variáveis.

É necessário assegurar que as N variáveis do problema pertencem a um determinado conjunto de valores, por exemplo se são positivas ou negativas, ou mesmo se só assumem valores inteiros. Quando é pretendido que as variáveis não assumam valores negativos pode dizer-se que estamos perante condições de não negatividade.

2.4.2 Áreas de aplicação

Os domínios de aplicação da Programação Linear são vastos, podendo citar-se fundamentalmente a Economia, a Matemática e Militar [54]. Como exemplos destas áreas de aplicação pode referir-se:

- Gestão de empresas, na determinação das quantidades a produzir dos diferentes produtos de acordo com os recursos disponíveis, as condições tecnológicas existentes e a situação do mercado;
- Problemas de Transportes, onde conhecido o custo de transporte de uma unidade de produto de cada origem para cada destino, determina-se o plano de distribuição que torna mínimo o custo total de transporte;
- «Trim-Loss», que determina o número ótimo de unidades a cortar com determinadas dimensões de modo a minimizar os desperdícios envolvidos. Exemplos: indústria têxtil, do papel e do cartão, siderúrgica, confeções, vidreira, ...);
- Estrutura financeira dos bancos, em que o banco pretende estabelecer a estrutura do ativo que maximiza o seu lucro global, tendo por base o r
- respeito de todas as condições legais e de gestão que asseguram o seu equilíbrio financeiro;
- Problemas de Mistura, onde se pretende obter, com custo mínimo ou lucro máximo, um ou vários produtos, que satisfaçam certos requisitos técnicos, através de vários ingredientes que possuam em grau diferente essas características técnicas. Exemplo: adubos, produtos alimentares e farmacêuticos, rações para animais, ligas metálicas, tintas, gasolinas;
- Planeamento Agrícola, em que o problema consiste em afetar recursos escassos, tais como superfície arável, mão-de-obra, água, etc..., à produção de diversos bens de modo a maximizar o resultado de exploração.

A programação linear destina-se, essencialmente, a administradores, engenheiros, técnicos, ..., com o objetivo de, por exemplo, minimizar custos ou maximizar lucros.

Tabela 9 - Aplicações da programação linear

Referências bibliográficas	Descrição do trabalho
García-Nieves et al., 2019 [55]	A programação linear foi usada como modelo matemático, que visa otimizar o agendamento de atividades repetitivas em projetos de construção. Particularmente, contribui para o conhecimento de programação de atividades repetitivas, implementando com sucesso um modelo robusto de otimização de programação linear num projeto de construção real, considerando o máximo possível de características de programação linear. O modelo considera relacionamentos ao nível de subatividade, condições de continuidade, modos múltiplos, equipas e turnos controlados. O modelo mostra que as condições reais são facilmente integradas adicionando restrições simples ao modelo e os cronogramas gerados são robustos, refletindo em grande parte as condições realistas do local do projeto de construção. O modelo pode ser usado para agendar projetos de viadutos, estradas e arranha-céus.
Şahin et al., 2019 [56]	Neste estudo foi usada uma nova formulação de programação linear inteira mista e heurística híbrida baseada em otimização de enxame de partículas, para o problema de investimento de recursos e balanceamento da linha de montagem com estações de trabalho multifuncionais paralelas. A metaheurística proposta foi comparada com uma busca tabu e um algoritmo de busca. Muitos diagramas de precedência comumente usados na resolução de vários problemas de balanceamento de linha de montagem na literatura têm sido usados para gerar instâncias de teste para o tipo de problema considerado. Depois de resolver essas instâncias de teste usando cada método de solução, observou-se que a metaheurística híbrida proposta produz as soluções que têm desvios aceitáveis dos limites inferiores.
Urbana et al., 2006 [57]	A programação linear foi usada neste estudo, com o objetivo de desenvolver uma metodologia de solução ótima, para o problema de balanceamento de linha U com tempos de tarefa estocásticos. O problema é modelado como um programa linear inteiro usando uma aproximação por partes para as restrições de chance. O modelo proposto demonstrou identificar soluções ótimas para problemas de tamanho realista, com software disponível comercialmente. Os resultados computacionais mostram que o método proposto é capaz de resolver problemas de tamanho prático.

2.5 Análise crítica da literatura

Todas as heurísticas aqui apresentadas são eficazes para resolver diversos problemas, como se pode constatar na revisão bibliográfica. Na presente dissertação, foi utilizada essencialmente a programação linear para a análise e estudo do balanceamento da linha de montagem, porque é um método simples e capaz de resolver o problema proposto.

ESTUDO DO BALANCEAMENTO DE UMA LINHA DE MONTAGEM

3.1 Apresentação do trabalho

3.2 Caracterização da empresa

3.3 Caracterização dos processos

3.4 Caracterização do problema e objetivo

3.5 Balanceamento da linha de montagem

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Apresentação do trabalho

O presente trabalho visa o balanceamento de uma linha de montagem, otimizando os seus processos, com o objetivo de aumentar a produtividade a eficiência da mesma.

Desta forma os objetivos principais consistem em:

- Nivelar a linha e padronizar os métodos;
- Aumentar as peças produzidas, identificando e eliminando desperdícios;
- Reduzir o tempo das operações;
- Melhorar a eficiência dos processos.

3.2 Caracterização da empresa

O trabalho assentou num estágio na empresa POLISPORT PLÁSTICOS SA que pertence ao Grupo Polisport, com a duração de oito meses, orientado pela engenheira Liliana Fernandes.

O Grupo Polisport foi fundado em 1978, pelo seu CEO, Pedro Araújo, que devido á sua paixão pelas duas rodas, fez com que a empresa se focasse e especializasse nesses mercados.

Com vista à internacionalização, inovação e qualidade no atendimento, a Polisport tem vindo a ampliar o seu portfólio de clientes e mercados, estando já presente em mais de 72 países no mundo. Atua no mercado das bicicletas e acessórios off-road, e já se consolidou como líder de mercado com uma presença internacional crescente.

O Grupo Polisport exporta 97% da sua produção, e aos dias de hoje é composto por cerca de 530 colaboradores distribuídos por 7 empresas, que permitem trabalhar as várias marcas do seu portfólio e que abrangem, em grande medida, todo o processo produtivo do Grupo:

- Polisport Plásticos SA
- Polinter Plásticos SA
- Polisport Molds, Lda
- Capacetes Headgy
- Bobike
- Polisport Brasil
- Polipromotion

3.3 Caracterização dos processos

Processo pode ser definido como as atividades realizadas com o intuito de transformar uma entrada em uma saída. Dito isto, pode afirmar-se que as empresas são, normalmente compostas por processos operacionais e processos de suporte. Os operacionais são definidos como um conjunto de atividades relacionadas entre si, que envolvem procedimentos, pessoas, equipamentos e informações, que visam criar valor para o cliente. Já os de suporte assentam num conjunto de atividades que asseguram o funcionamento adequado dos processos operacionais.



Figura 5 - Processo de negócio Polisport (fonte: Polisport)



Figura 6 - Processo de suporte Polisport (fonte: Polisport)

A Polisport é constituída por sete linhas de montagem, denominadas por CT's (centros de trabalho). Duas linhas dedicam-se à montagem de cadeiras para automóvel, uma linha multiproduto onde podem ser montadas cadeiras para automóvel ou cadeiras para bicicleta/porta-bebés e as restantes quatro linhas estão dedicadas à montagem de porta-bebés.

3.4 Caracterização do problema e objetivo

O desperdício de tempo a efetuar algumas tarefas no processo de montagem, é um dos principais problemas do sistema de montagem da Polisport. Desta forma, pretende-se analisar uma linha de montagem de cadeiras de bebés para bicicletas/porta-bebés, identificando as possíveis melhorias e os desperdícios existentes.

Tendo em vista o objetivo final que será obter um sistema produtivo mais eficiente, o objetivo desta análise passa por:

- Balancear as tarefas na linha de montagem;
- Melhorar e adaptar as instruções de trabalho à realidade;
- Implementar melhorias no processo;
- Rever tempo de ciclo standard.

Através do estudo dos tempos de montagem da cadeira, pretende-se efetuar um balanceamento da linha de montagem. O estudo desses tempos é importante para perceber onde estão os problemas, as causas, os efeitos e qual o impacto destes na produção final.

Para caracterizar o problema em questão, é necessário conhecer o produto em análise. Desta forma, o trabalho consiste na análise do produto “p.bebé BabySeat 100 FF” com a referência 8406400001, ilustrado na Figura 7.



Figura 7 – Porta bebé BabySeat 100 FF (fonte: Polisport)

De seguida, é necessário conhecer os componentes que compõem a cadeira, são eles:

1. Estrutura da cadeira obtida por injeção numa empresa do grupo;
2. Base de fixação BS100;
3. Uma anilha recartilhada e um parafuso;
4. Autocolante “warning”;
5. Tampa frontal;
6. Cinto e fivela;
7. Rivete;
8. Pousa pés;
9. Cinco velcros autocolantes;
10. Uma abraçadeira de serrilha;
11. Estofa da cadeira;
12. *Buckle*;
13. Alças do cinto;
14. Manual de instruções e chave *umbrako*;
15. Autocolante refletor;
16. Abraçadeira e quatro parafusos;
17. Varão de suporte da cadeira;
18. Autocolante de Ordem de Fabrico;
19. Autocolante RFID

Todos os componentes identificados acima estão representados na Figura 8 onde, estão identificados com a mesma numeração descrita acima.



Figura 8 - Componentes da cadeira

O processo de montagem da cadeira é efetuado atualmente com oito operadores na linha e é em si, um processo bastante manual que segue uma sequência de tarefas bem definidas, com restrições e precedências. Consiste então na junção de peças, maioritariamente plásticas, utilizando equipamentos como aparafusadoras, máquinas de cola, máquinas de cravar, máquinas de testes de qualidade e algumas ferramentas mecânicas de apoio à montagem. Para se entender o funcionamento da linha foi elaborado um levantamento das tarefas necessárias para produzir uma unidade de produto acabado. As respetivas tarefas foram registadas na Tabela 9, assim como a média dos tempos relativa às 52 medições efetuadas e as precedências de cada uma.

Tabela 10 – Identificação das tarefas, tempos e precedências

Nº Tarefa	Posto	Tipo	Descrição Tarefa	Média Tempo (seg)	Preced
	0	Desperdício	Espera	47,00	
1	0	Desperdício	Colocar perto do posto 1	6,40	
	0	Desperdício	Retirar caixa da palete	11,00	
2	0	Desperdício	Abrir caixa	10,80	1
3	0	Desperdício	Retirar sacos das cadeiras e colocar no carrinho	9,20	2
4	0	Desperdício	Virar caixa vazia ao contrário	5,20	3
5	0	Desperdício	Reforçar parte inferior com fita-cola	16,80	4
6	0	Desperdício	Virar novamente caixa	4,25	5
7	0	Desperdício	Levar caixa vazia ao final da linha	8,80	5
8	0	Desperdício	Levar palete vazia ao local de paletes	20,00	1
9	0	Desperdício	Levar carro dos sacos e esferovite ao final de linha	30,00	3
10	1	Movimentação	Ir buscar cadeira (1) para bancada trabalho	3,55	3
11	1	Tarefa	Retirar esferovite e fita-cola que está na zona dos pausa-pés	3,12	10
12	1	Tarefa	Clipar tampa na zona frontal (5) da cadeira	3,82	11
13	1	Tarefa	Colocar cinto (6) na cadeira	5,80	12
14	1	Tarefa	Passar cinto pelo passador e fechar cinto	8,42	13
15	1	Tarefa	Aplicar 3 velcros machos (9) na cadeira	6,00	14
	1	Tarefa	Aplicar 2 velcros machos (9) na cadeira	4,09	14
16	2	Movimentação	Ir buscar cadeira ao Posto 1	2,29	
17	2	Tarefa	Aplicar rivete (7) na ponta do cinto	6,62	15
18	2	Tarefa	Colocar cinto na máquina, cravar rivete	4,76	17
19	2	Movimentação	Mudar posição da cadeira	1,04	18
20	2	Desperdício	Ir buscar pausa pés direito	1,52	
21	2	Tarefa	Encaixar pausa-pés direito (8) na última posição	1,21	20
22	2	Desperdício	Ir buscar pausa pés esquerdo	1,64	
23	2	Tarefa	Encaixar pausa-pés esquerdo (8) na última posição	1,18	22
24	2	Movimentação	Mudar posição da cadeira	1,00	23
25	2	Tarefa	Aplicar cinta plástica (10) na cadeira	2,32	24

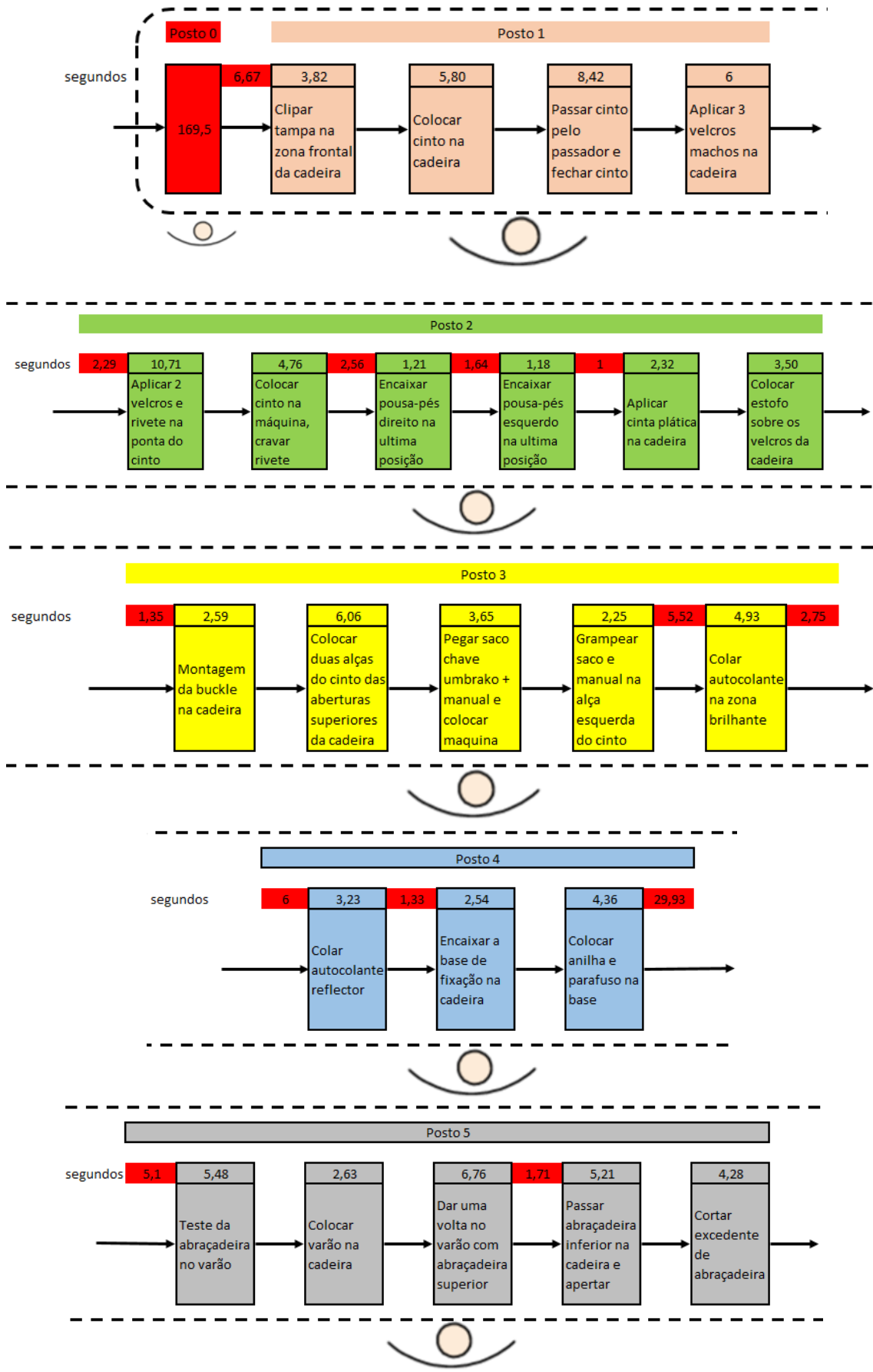
26	2	Tarefa	Colocar estofo (11) sobre os velcros da cadeira	3,50	25
27	3	Movimentação	Ir buscar cadeira ao Posto 2	1,35	
28	3	Tarefa	Montagem da <i>buckle</i> (12) na cadeira	2,59	26
29	3	Tarefa	Colocar duas alças (13) do cinto das aberturas superiores da cadeira	6,06	28
30	3	Tarefa	Pegar saco chave <i>umbrako</i> + manual (14) e colocar máquina	3,65	29
31	3	Tarefa	Grampear saco e manual na alça esquerda do cinto	2,25	30
32	3	Movimentação	Mudar posição da cadeira	1,85	31
33	3	Desperdício	Ir buscar autocolante <i>warning</i> (4) e retirar proteção	3,67	
34	3	Tarefa	Colar autocolante na zona brilhante	4,93	33
35	3	Desperdício	Pegar cinto	2,75	34
36	4	Movimentação	Ir buscar cadeira ao Posto 3	2,46	
37	4	Desperdício	Ir buscar autocolante refletor e retirar proteção	3,54	
38	4	Tarefa	Colar autocolante refletor (15)	3,23	37
39	4	Movimentação	Mudar posição da cadeira	1,33	38
40	4	Tarefa	Encaixar a base de fixação (2) na cadeira	2,54	39
41	4	Tarefa	Colocar anilha e parafuso (3) na base	4,36	40
42	4	Desperdício	Pegar na máquina e apertar parafuso	4,93	41
43	4	Desperdício	Colocar sacos da chave de <i>umbrako</i> para cima da bancada	22,00	42
44	4	Desperdício	Ir buscar bases para cima da bancada de trabalho	3,00	
45	5	Movimentação	Ir buscar cadeira ao Posto 4	2,24	
46	5	Desperdício	Ir buscar varão e abraçadeira	2,86	
47	5	Tarefa	Teste da abraçadeira (16) no varão	5,48	46
48	5	Tarefa	Colocar varão na cadeira	2,63	47
49	5	Tarefa	Dar uma volta no varão (17) com abraçadeira superior	6,76	48
50	5	Desperdício	Ir buscar abraçadeira	1,71	49
51	5	Tarefa	Passar abraçadeira inferior na cadeira e apertar	5,21	50
52	5	Tarefa	Cortar excedente de abraçadeira	4,28	51
53	6	Movimentação	Ir buscar cadeira ao Posto 5	2,52	
54	6	Tarefa	Controlo de qualidade da cadeira	10,21	52

55	6	Tarefa	Colar autocolante OF (18) na zona inferior do estofo no assento	3,52	54
56	6	Tarefa	Colar autocolante RFID (19) e etiqueta da (18) OF no manual	5,64	55
57	6	Movimentação	Movimentação da Cadeira para bancada controlo	1,79	56
58	6	Tarefa	Colocar saco na cadeira	5,67	57
59	7	Movimentação	Ir buscar cadeira ao Posto 6	2,04	
60	7	Desperdício	Pegar caixa vazia	11,80	59
61	7	Desperdício	Fazer caixa nova	31,00	59
62	7	Desperdício	Pegar cadeira	2,77	60
63	7	Desperdício	Colocar EPS na zona dos pousa-pés	7,77	62
64	7	Desperdício	Colocar uma cadeira dentro da caixa	5,67	63
65	7	Desperdício	Colocar um separador por cima da cadeira	6,67	64
66	7	Desperdício	Fechar caixa	18,40	65
67	7	Desperdício	Colocar Autocolante OF na caixa	7,20	66
68	7	Desperdício	Transporte e paletizar caixa na palete	12,00	67
69	7	Desperdício	Ir buscar palete vazia	13,00	68

As 69 tarefas identificadas na Tabela 10, correspondem a uma análise minuciosa de todas as tarefas e tempos gastos para a realização de cada uma delas. Desta forma e somando todos os tempos, obtemos um tempo total de 486 segundos que corresponde ao tempo necessário para obter uma cadeira de produto final.

A montagem do porta-bebé iniciasse no posto 0, onde acontece toda a preparação e verificação para dar início á montagem da cadeira, e termina no posto 7 onde é efetuado o embalamento da mesma para seguir para o cliente.

A Figura 9, ilustra o esquema de montagem dos oito postos, com os respetivos tempos gastos para executar as tarefas associadas a cada posto. No esquema estão apresentados a vermelho os tempos de espera, desperdício e movimentações, em segundos. Estão também representados os postos com cores diferentes e com as suas respetivas tarefas. A instrução de trabalho e controlo do produto cedida pela empresa, pode ser consultada nos anexos do presente trabalho.



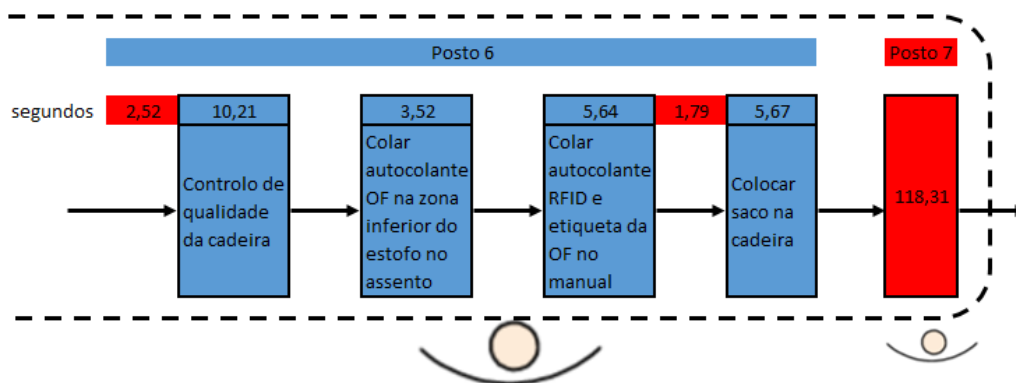


Figura 9 - Esquema de montagem da cadeira na linha

3.5 Balanceamento da linha de montagem

O VSM – Value Stream Mapping, ou em português Mapeamento do Fluxo de Valor, é uma das ferramentas da metodologia Lean, que visa sobretudo encontrar desperdícios nos processos produtivos.

Para a construção do VSM (Figura 10) foi necessário saber:

- O produto a analisar;
- Os dados do processo, como tempos de ciclo, número de colaboradores...;
- O fluxo de informação que faz mover todo o produto.

O produto a analisar e os dados do processo já foram explicados anteriormente. Quanto ao fluxo de informação os dados são:

- Os clientes efetuam os pedidos mensalmente com os prazos desejados;
- O controlo de produção efetua um plano semanal para a montagem das cadeiras de acordo com as encomendas dos clientes;
- As encomendas aos fornecedores são programadas e efetuadas semanalmente.

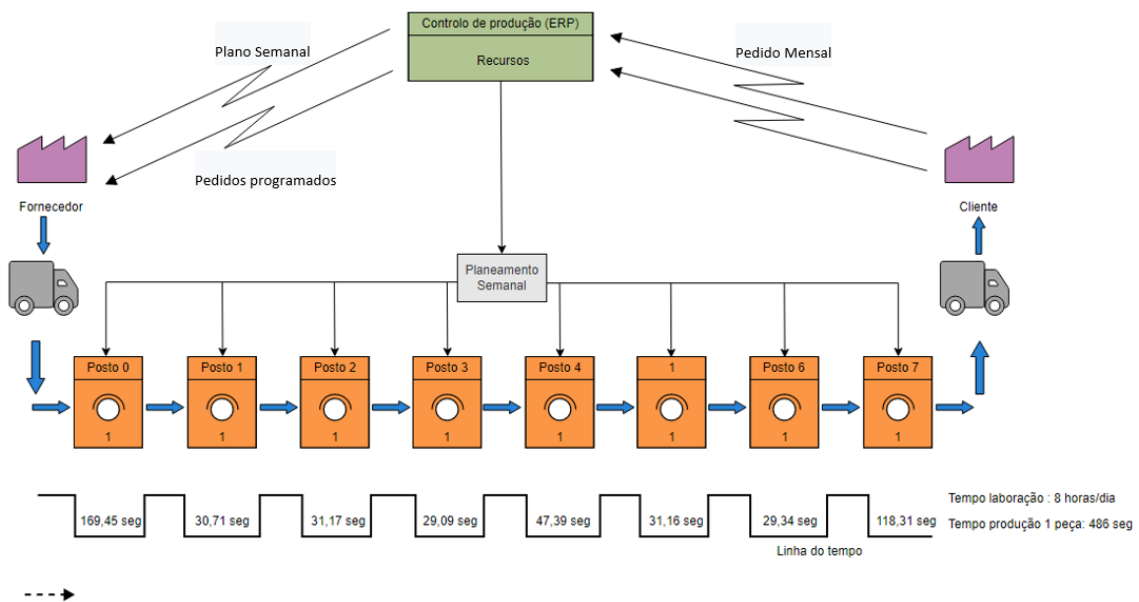


Figura 10 - VSM (Value Stream Mapping)

3.5.1 Cenário inicial – Definições e considerações

O balanceamento de linhas corresponde à distribuição de atividades sequenciais pelos diferentes postos de trabalho, de modo a permitir uma eficiente utilização de mão de obra, trabalho ou de equipamentos, e claro minimizar o tempo em vazio.

O cenário inicial aqui apresentado foi obtido através dos cálculos relativos ao tempo de ciclo, tempo total de paragem, atraso do balanceamento, eficiência da linha e número teórico mínimo de postos necessários.

Deste modo, a linha de montagem de porta-bebés que serve de base para esta análise, está representada na Figura 11, tem as seguintes características:

- oito postos de trabalho
- oito operadores
- trabalha oito horas/dia excluindo o tempo de pausas
- produz 120 unidades/dia

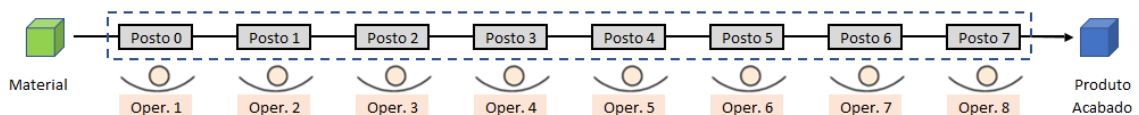


Figura 11 - Ilustração da linha de montagem

Tem como objetivo esta análise:

- Com um tempo de ciclo, encontrar o menor número de postos de trabalho necessários.
- Com um certo número de postos de trabalho, minimizar o tempo de ciclo.

3.5.1.1 Definições e cálculos

Para o balanceamento de linhas existem diversos conceitos e fórmulas a aplicar, desta forma, considerando uma linha de produção constituída por diversas tarefas e postos de trabalho, tem-se:

N - Número de postos de trabalho que compõem a linha;

Um posto de trabalho é ocupado por um único operador, que pode realizar várias ou uma única tarefa. Um operador, pode intervir em mais do que um posto de trabalho.

C - Tempo de ciclo;

O tempo de ciclo é o tempo entre a saída de itens sucessivos. Corresponde ao máximo tempo necessário em cada posto de trabalho.

T_i - Tempo de operação para a i -ésima operação; cada operação é afeta a um e só um posto de trabalho.

$\sum_i T_i$ - Tempo total necessário para a produção de uma unidade. Soma dos tempos de execução de todas as tarefas.

$N_{\min} = \frac{\sum_i T_i}{C}$ - Corresponde ao número mínimo de postos de trabalho necessárias à linha.

$$E = \frac{\sum_i T_i}{NC} - \text{Eficiência} \quad (1)$$

NC - Tempo necessário para produzir cada unidade, incluindo tempos de paragem

$iT = NC - \sum_i T_i$ - Tempo total de paragem

Os dados fornecidos pela empresa foram, de uma taxa de saída de 120 unidades por dia de trabalho (8 h), e um tempo de ciclo teórico de 4 minutos. Deste modo pode definir-se o T_t

$$T_t = \frac{8 \text{ horas/dia}}{120 \text{ unidades}} = \frac{8 \cdot 60}{120} = \frac{480}{120} = 4 \text{ min/unid} \quad (2)$$

(2) *Takt time* - é o ritmo a que se tem de produzir para responder à procura do cliente.

Foram feitas 52 medições dos tempos e a respetiva média, posteriormente foram somados esses tempos por posto de trabalho, e obtiveram-se os valores apresentados na Tabela 11, que retrata o *layout* atual da linha de trabalho em funcionamento na fábrica. O número de medições ficou condicionado aos dados fornecidos pela empresa, onde foi realizado o estudo do balanceamento.

Tabela 11 - Somatório dos tempos das tarefas por posto

Posto	Tempo (seg)
Posto 0	122,45*
Posto 1	30,71
Posto 2	31,17
Posto 3	29,09
Posto 4	47,39
Posto 5	31,16
Posto 6	29,34
Posto 7	118,31

* - não foi considerado o tempo de espera (47 segundos)

Balanceamento atual

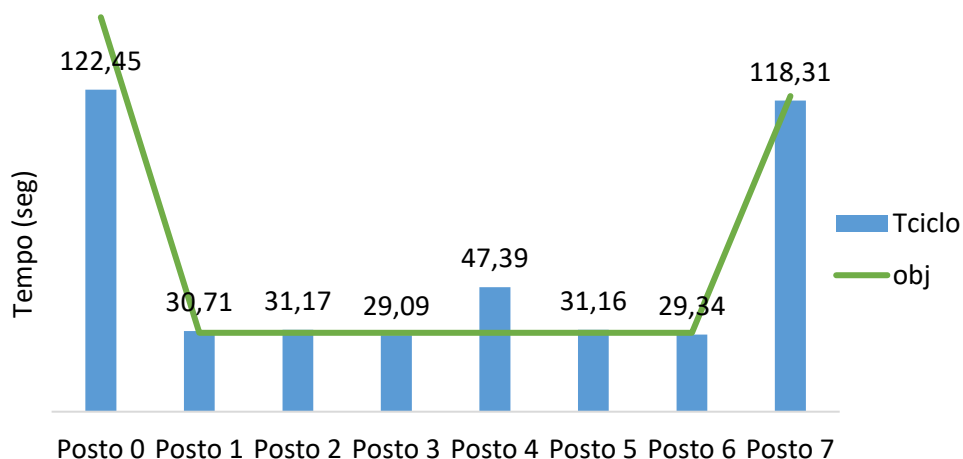


Figura 12 - Gráfico ilustrativo do balanceamento entre os postos. (fonte: Polispport)

No gráfico da Figura 12 está demonstrado o balanceamento entre os postos de acordo com os tempos associados a cada um. Pode ver-se que o posto zero e o sete são os que têm os tempos mais longe do objetivo pretendido. Desta forma o objetivo passa por colocar um Pivot em linha para auxiliar nas tarefas que não acrescentam valor.

- Posto dois e o posto cinco têm o mesmo tempo de ciclo 31,17 seg, estando acima dos 30 seg objetivo para esta cadeira.
- Os restantes postos estão com tempo ciclo similar, estando pouco abaixo do tempo de ciclo objetivo (com exceção do posto 4).

Na Figura 13 está representado o digrama dos postos de trabalho numerados de zero a sete. A linha trabalha oito horas por dia.

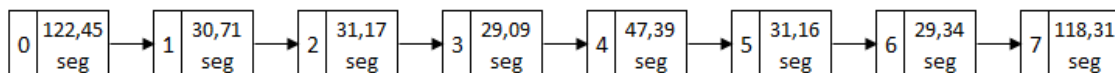


Figura 13 - Diagrama dos postos da linha de montagem

Assim sendo o tempo de ciclo

$$C = \max\{122,45; 30,71; 31,17; 29,09; 47,39; 31,16; 29,34; 118,31\} = 122,45 \text{ seg} \quad (3)$$

(3) tempo de ciclo é dado pelo maior valor encontrado para executar as tarefas associadas a cada posto

$$\sum_i T_i = 486 \text{ segundos} \quad (4)$$

(4) Tempo necessário para a produção de uma unidade (soma dos tempos de todas as operações, incluindo o tempo de espera inicial de 47 segundos)

$$N_{\text{atual}} = \text{Número atual de postos} = 8 \text{ postos}$$

$$E = \frac{\sum_i T_i}{NC} = \frac{486}{8 \times 122,45} = \frac{486}{979,6} \approx 0,496 = 49,6 \% \quad (1)$$

(15) Eficiência atual da linha de montagem

$\sum_i T_i$ - Tempo total necessário para a produção de uma unidade. Soma dos tempos de execução de todas as tarefas.

NC - Tempo necessário para produzir cada unidade, incluindo tempos de paragem

A linha é operada por forma a que, em cada instante, todos os postos devem estar ocupados, pelo que, quando num determinado posto de trabalho o tempo de ciclo é ultrapassado, a montagem deve ser transferida para o posto seguinte, recebendo o primeiro uma montagem

do posto anterior. O tempo de ciclo determina, assim, a eficiência da linha de montagem, que neste caso é aproximadamente 50%.

A diferença positiva entre o tempo de ciclo e o tempo necessário para realizar a totalidade das tarefas afetas a um posto de trabalho é denominada, tempo inativo do posto, é calculado da seguinte forma,

$$\begin{aligned}
 Ti_{p_0} &= 122,45 - 122,45 = 0 \text{ seg (tempo de espera)} \\
 Ti_{p_1} &= 122,45 - 30,71 = 91,74 \text{ seg} \\
 Ti_{p_2} &= 122,45 - 31,17 = 91,28 \text{ seg} \\
 Ti_{p_3} &= 122,45 - 29,09 = 93,36 \text{ seg} \\
 Ti_{p_4} &= 122,45 - 47,39 = 75,06 \text{ seg} \\
 Ti_{p_5} &= 122,45 - 31,16 = 91,29 \text{ seg} \\
 Ti_{p_6} &= 122,45 - 29,34 = 93,11 \text{ seg} \\
 Ti_{p_7} &= 122,45 - 118,31 = 4,14 \text{ seg}
 \end{aligned} \tag{6}$$

(6) Cálculo do tempo inativo de trabalho por posto de trabalho.

Já o somatório dos tempos inativos de todos os postos de trabalho é denominado tempo inativo da linha, ou tempo total de paragem

$$\begin{aligned}
 iT &= \sum_i Ti_{ip} = 0 + 91,74 + 91,28 + 93,36 + 75,06 + 91,29 + 93,11 + 4,14 = \\
 &= 539,98 - 47(\text{tempo espera}) = 492,98 \text{ seg}
 \end{aligned} \tag{7}$$

ou

$$iT = NC - \sum_i T_i = 8 \times 122,45 - \sum_i T_i = 979,6 - 486 = 493,6s \approx 494 \text{ seg}$$

(7) Tempo total de paragem obtido pela soma dos tempos inativos de cada posto de trabalho.

3.5.1.2 Análise da solução encontrada

Os dados fornecidos pela empresa e os obtidos através dos cálculos efetuados, mostram que se trata de uma linha pouco eficiente, com um valor aproximados de 50%, e com alguns “gargalos”,

que se traduzem em tempos inativos de trabalho. Ou seja, existem alguns operadores encarregues de tarefas mais morosas e que geram o “gargalo” na linha, enquanto outros aguardam que a cadeira chegue ao seu posto para a montagem. Estes tempos inativos em cada posto de trabalho, traduzem-se no final da linha em 494 segundos de não trabalho.

O tempo total que leva a fazer a montagem de uma unidade de produto acabado também é bastante elevado. Os 486 segundos que são a soma dos tempos de todas as tarefas descritas acima, são compostos por muitos desperdícios, já identificados na Tabela 9, por tarefas que não acrescentam valor, movimentações e tempos de espera.

O objetivo seria retirar da linha as tarefas que não acrescentam valor, e reduzir a movimentação entre postos.

3.5.2 Apresentação da melhoria proposta

A proposta do presente trabalho, consiste em criar um programa com o Excel utilizando a linguagem Visual Basic, que indique qual o número teórico de operadores necessários dado o nº de encomendas requeridas para um dado período de tempo.

Este programa recorre a um problema de otimização que é resolvido com recurso do Solver no Excel para efetuar a afetação das diferentes tarefas aos operadores.

O trabalho consiste em definir o nº de operadores a afetar aos 8 postos de montagem, para tal, utilizou-se a atual afetação das tarefas pelos 8 postos e foram considerados os tempos de movimentação entre postos e outros que surgem no decorrer das diferentes tarefas. As tarefas de alguns postos de trabalho foram agrupadas em grupos de tarefas de modo a que permitisse um melhor balanceamento da linha.

O programa define o número de trabalhadores/postos a definir de acordo com o nº de unidades a produzir e de acordo com o período de tempo definido para a sua execução, otimizando a eficiência da linha.

3.5.2.1 Modelo matemático

Analisando a linha de produção verifica-se que as precedências das tarefas são sempre da tarefa i para a tarefa $i+1$, o modelo matemático adaptado a este caso vai definir o número ótimo de postos.

Índices:

i – tarefas

k – posto de trabalho

Variáveis de decisão:

$$x_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{se a tarefa } i \text{ é afeta ao posto de trabalho } k \\ 0 & \text{Caso contrário} \end{cases}$$

Função objetivo:

$$\text{Min} \sum_k (C - \sum_i t_i x_{ik}) \quad (8)$$

(8) A função objetivo é responsável por efetuar o balanceamento dos diferentes postos, visto que, minimiza a diferença entre o tempo máximo de ciclo e o tempo de processamento de cada posto.

Restrições:

$$\sum_k x_{ik} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, N \quad (9)$$

$$\sum_k k x_{ik} - \sum_k k x_{jk} \leq 0 \quad \forall i = 1, \dots, N; j \in \text{Suc}\{i\} \quad (10)$$

$$\sum_k t_i x_{ik} \leq C \quad \forall k = 1, \dots, S \quad (11)$$

N - Nº de tarefas;

S - Nº máximo de postos

C - Tempo máximo do ciclo

$\text{Suc}\{i\}$ - Conjunto de tarefas que podem ser executadas depois da tarefa i

(9) Garante que todas as tarefas são executadas uma única vez em alguma estação

(10) Impõe as restrições de precedência

(11) Garante que o tempo de processamento de cada posto não ultrapassa o tempo máximo do ciclo

Visto que as precedências das tarefas são sempre da tarefa i para a seguinte, tarefa $i+1$, a restrição (10) do modelo pode assumir a seguinte forma,

$$x_{ik} - \sum_{l=1}^k x_{(i-1)k} \leq 0 \quad \forall i = 1, \dots, N; \forall k \quad (10')$$

(10') Impõe as restrições de precedência

3.5.2.2 Agrupamento de tarefas

O procedimento a seguir para analisar problemas de balanceamento de linhas, inclui:

- determinar o número de postos e o tempo disponível em cada um;
- agrupar as tarefas individuais, formando grupos para cada posto;
- avaliar a eficiência do agrupamento escolhido.

Sempre que o tempo num dado posto exceda o tempo que pode ser gasto por um operador, é necessário acrescentar mais operadores ao posto.

O segredo para um bom balanceamento, está em agrupar as tarefas de forma a que os tempos de produção em cada posto correspondam ao tempo de ciclo (ou a um múltiplo do tempo de ciclo se for necessário mais do que um operador) ou que estejam pouco abaixo. Um balanceamento eficiente minimiza o tempo em vazio.

Desta forma atribuíram-se tarefas a um posto, até perfazer o tempo de ciclo objetivo que é de 30 segundos, respeitando sempre as precedências. Na Tabela 12, estão registados os grupos que surgiram devido ao agrupamento das tarefas por forma a otimizar o balanceamento da linha.

Tabela 12 – Agrupamento de tarefas por tempos de ciclo

Nº Tarefa	Posto	Tipo	Descrição Tarefa	Tempo (seg)	Tempo (seg)
	0-0	Desperdício	Espera	47,00	47,00
1	0-1	Desperdício	Colocar perto do posto 1	6,40	28,20
	0-1	Desperdício	Retirar caixa da paleta	11,00	
2	0-1	Desperdício	Abrir caixa	10,80	
3	0-2	Desperdício	Retirar sacos das cadeiras e colocar no carrinho	9,20	31,20
4	0-2	Desperdício	Virar caixa vazia ao contrário	5,20	
5	0-2	Desperdício	Reforçar parte inferior com fita-cola	16,80	
6	0-3	Desperdício	Virar novamente caixa	4,25	33,05
7	0-3	Desperdício	Levar caixa vazia ao final da linha	8,80	
8	0-3	Desperdício	Levar paleta vazia ao local de paletes	20,00	
9	0-4	Desperdício	Levar carro dos sacos e esferovite ao final de linha	30,00	30,00
10	1	Movimentação	Ir buscar cadeira para bancada trabalho	3,55	30,71
11	1	Tarefa	Retirar esferovite e fita-cola que está na zona dos pausa-pés	3,12	

12	1	Tarefa	Clipar tampa na zona frontal da cadeira	3,82	
13	1	Tarefa	Colocar cinto na cadeira	5,80	
14	1	Tarefa	Passar cinto pelo passador e fechar cinto	8,42	
15	1	Tarefa	Aplicar 3 velcros machos na cadeira	6,00	
	2	Tarefa	Aplicar 2 velcros machos na cadeira	4,09	31,17
16	2	Movimentação	Ir buscar cadeira ao Posto 1	2,29	
17	2	Tarefa	Aplicar rivete na ponta do cinto	6,62	
18	2	Tarefa	Colocar cinto na máquina, cravar rivete	4,76	
19	2	Movimentação	Mudar posição da cadeira	1,04	
20	2	Desperdício	Ir buscar pousa pés direito	1,52	
21	2	Tarefa	Encaixar pousa-pés direito na última posição	1,21	
22	2	Desperdício	Ir buscar pousa pés esquerdo	1,64	
23	2	Tarefa	Encaixar pousa-pés esquerdo na última posição	1,18	
24	2	Movimentação	Mudar posição da cadeira	1,00	
25	2	Tarefa	Aplicar cinta plástica na cadeira	2,32	
26	2	Tarefa	Colocar estofa sobre os velcros da cadeira	3,50	
27	3	Movimentação	Ir buscar cadeira ao Posto 2	1,35	29,09
28	3	Tarefa	Montagem da <i>buckle</i> na cadeira	2,59	
29	3	Tarefa	Colocar duas alças do cinto das aberturas superiores da cadeira	6,06	
30	3	Tarefa	Pegar saco chaves <i>umbrako</i> + manual e colocar máquina	3,65	
31	3	Tarefa	Grampear saco e manual na alça esquerda do cinto	2,25	
32	3	Movimentação	Mudar posição da cadeira	1,85	
33	3	Desperdício	Ir buscar autocolante <i>warning</i> e retirar proteção	3,67	
34	3	Tarefa	Colar autocolante na zona brilhante	4,93	
35	3	Desperdício	Pegar cinto	2,75	
36	4-1	Movimentação	Ir buscar cadeira ao Posto 3	2,46	
37	4-1	Desperdício	Ir buscar autocolante refletor e retirar proteção	3,54	
38	4-1	Tarefa	Colar autocolante refletor	3,23	
39	4-1	Movimentação	Mudar posição da cadeira	1,33	

40	4-1	Tarefa	Encaixar a base de fixação na cadeira	2,54	
41	4-1	Tarefa	Colocar anilha e parafuso na base	4,36	
42	4-1	Desperdício	Pegar na máquina e apertar parafuso	4,93	
43	4-2	Desperdício	Colocar sacos das chaves de <i>umbrako</i> para cima da bancada	22,00	25,00
44	4-2	Desperdício	Ir buscar bases para cima da bancada de trabalho	3,00	
45	5	Movimentação	Ir buscar cadeira ao Posto 4	2,24	31,16
46	5	Desperdício	Ir buscar varão e abraçadeira	2,86	
47	5	Tarefa	Teste da abraçadeira no varão	5,48	
48	5	Tarefa	Colocar varão na cadeira	2,63	
49	5	Tarefa	Dar uma volta no varão com abraçadeira superior	6,76	
50	5	Desperdício	Ir buscar abraçadeira	1,71	
51	5	Tarefa	Passar abraçadeira inferior na cadeira e apertar	5,21	
52	5	Tarefa	Cortar excedente de abraçadeira	4,28	
53	6	Movimentação	Ir buscar cadeira ao Posto 5	2,52	29,34
54	6	Tarefa	Controlo de qualidade da cadeira	10,21	
55	6	Tarefa	Colar autocolante OF na zona inferior do estofo no assento	3,52	
56	6	Tarefa	Colar autocolante RFID e etiqueta da OF no manual	5,64	
57	6	Movimentação	Movimentação da Cadeira para bancada controlo	1,79	
58	6	Tarefa	Colocar saco na cadeira	5,67	
59	7-1	Movimentação	Ir buscar cadeira ao Posto 6	2,04	13,84
60	7-1	Desperdício	Pegar caixa vazia	11,80	
61	7-2	Desperdício	Fazer caixa nova	31,00	31
62	7-3	Desperdício	Pegar cadeira	2,77	22,87
63	7-3	Desperdício	Colocar EPS na zona dos pousa-pés	7,77	
64	7-3	Desperdício	Colocar uma cadeira dentro da caixa	5,67	
65	7-3	Desperdício	Colocar um separador por cima da cadeira	6,67	
66	7-4	Desperdício	Fechar caixa	18,40	25,60
67	7-4	Desperdício	Colocar Autocolante OF na caixa	7,20	

68	7-5	Desperdício	Transporte e paletizar caixa na palete	12,00	25,00
69	7-5	Desperdício	Ir buscar palete vazia	13,00	

3.5.2.3 Otimização usando o programa

Após o agrupamento das tarefas, é tempo de proceder-se à otimização da linha. Para isso, e com recurso ao solver, calcula-se o novo tempo de ciclo e o número de postos de trabalho que traduzem uma maior eficiência da linha, tendo por base os seguintes valores.

Tack time

$$T_t = 4 \text{ min} = 240 \text{ seg} \quad (2)$$

Tempo necessário á produção de uma unidade (soma dos tempos de todas as operações)

$$\sum_i T_i = 486 \text{ seg} \quad (4)$$

Número teórico de postos necessários

$$N_{mim} = \frac{\sum_i T_i}{c} = \frac{486}{240} = 2,025 \approx 3 \text{ postos} \quad (12)$$

(12) Representa o número mínimo de postos para o funcionamento da linha.

O programa desenvolvido inicia-se pelo botão identificado na Figura 14, que tem como função abrir a janela com o menu principal.

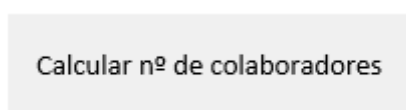
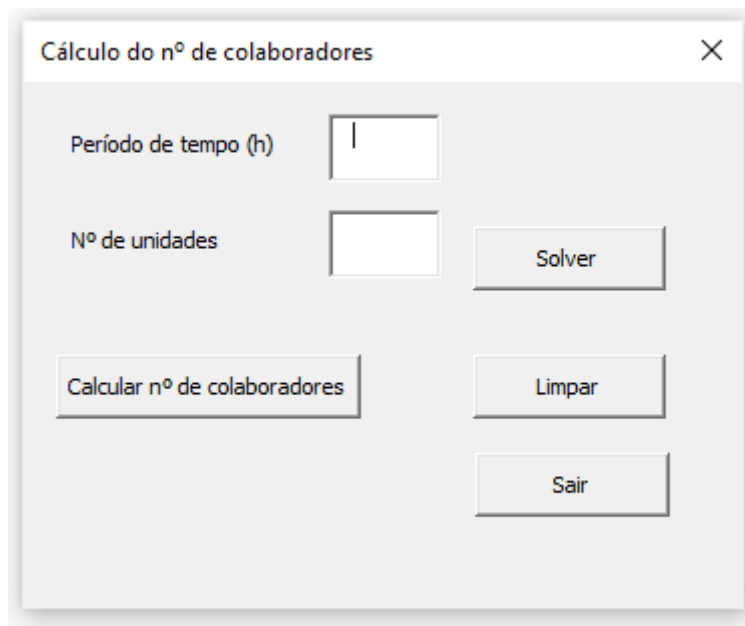


Figura 14 - Botão que inicializa o programa

O menu principal (Figura 15), é responsável pela recolha dos inputs pretendidos pelo utilizador, nomeadamente o tempo para a execução do trabalho e o número de unidades de produto acabado pretendidas.



The image shows a dialog box titled "Cálculo do nº de colaboradores" with a close button (X) in the top right corner. Inside the dialog, there are two input fields. The first is labeled "Período de tempo (h)" and contains the number "1". The second is labeled "Nº de unidades" and is currently empty. Below these fields are four buttons: "Calcular nº de colaboradores" (bottom left), "Solver" (top right), "Limpar" (middle right), and "Sair" (bottom right).

Figura 15 - Menu principal

Após a introdução dos dados pretendidos, pede-se que o programa calcule o número ótimo de operadores (no botão “Calcular nº de colaboradores”) necessários para executar o trabalho. Com esta informação e carregando no botão “Solver”, é pedido ao programa que faça o balanceamento da linha, tendo como objetivo minimizar os tempos de inatividade e aumentar a eficiência da mesma.

O botão “Limpar”, como o nome indica, tem como objetivo limpar todos os dados da otimização feita, para que se possa iniciar uma nova, com os novos dados requeridos. Por fim o botão “Sair”, fecha a janela do menu principal.

O Código de programação do Visual Basic pode ser consultado nos Anexos do presente trabalho.

3.5.2.3.1 Exemplo 1

Pretende-se calcular o número ótimo de operadores e a afetação das tarefas para oito horas de trabalho e 120 cadeiras. A Figura 16 mostra que o número ótimo são três operadores.

Figura 16 - Input de 8 horas e 120 Cadeiras

Aplicando o Solver, os tempos de ciclo para cada posto estão demonstrados na Figura 17, bem como a Função Objetivo que é a responsável por minimizar os tempos de inatividade da linha.

FO	233.38			
		169.45	169.52	147.65
		<=	<=	<=
		194.4	194.4	194.4

Figura 17 - Função objetivo e tempos de ciclo dados pelo Solver para três operadores

Face ao exposto, o programa devolve (Figura 18) o tempo de ciclo, que corresponde valor máximo encontrado que é 169,52 seg, e a eficiência da linha que corresponde a aproximadamente 96%.

C Máximo (segundos)	240
Nº Colaboradores	3
Tempo Ciclo (segundos)	169.52
Eficiência (%)	96%

Figura 18 - Valores da eficiência obtidos pelo Solver para três operadores

Tempo de ciclo

$$C_{max} = 169,52 \text{ seg} \quad (3)$$

Eficiência

$$E = \frac{\sum_i T_i}{NC} = \frac{486}{3 \times 169,52} = \frac{486}{508,56} \approx 0,956 \approx 96 \% \quad (1)$$

Com esses dados é possível calcular o tempo total de paragem da linha que é de 21,94 seg.

$$iT = 21,94 \text{ seg} \quad (7)$$

A Figura 19 demonstra a afetação do grupo de tarefas previamente definido na Tabela 12, pelos três operadores resultantes deste cálculo. Assim, pode ver-se que o operador um tem a seu cargo a espera inicial mais o grupo de tarefas 0-1, 0-2, 0-3 e 0-4. O operador dois é responsável pelo grupo de tarefas 1, 2, 3 4-1, 4-2 e 5. E por fim o operador três fica dedicado ao grupo de tarefas 6, 7-1, 7-2, 7-3, 7-4 e 7-5.

Postos	1			
d	47	1	0	0
0-1	28.2	1	0	0
0-2	31.2	1	0	0
0-3	33.05	1	0	0
0-4	30	1	0	0
1	30.71	0	1	0
2	31.17	0	1	0
3	29.09	0	1	0
4-1	22.39	0	1	0
4-2	25	0	1	0
5	31.16	0	1	0
6	29.34	0	0	1
7-1	13.84	0	0	1
7-2	31	0	0	1
7-3	22.87	0	0	1
7-4	25.6	0	0	1
7-5	25	0	0	1

Figura 19 – Afetação do grupo de tarefas para três operadores

A solução encontrada pode ser então vista no diagrama da Figura 20, onde estão associados os novos tempos a cada posto de montagem

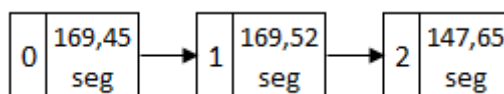


Figura 20 - Diagrama dos três postos de montagem

Na Figura 21, pode ver-se a o programa do Excel em execução, para a otimização explicada.

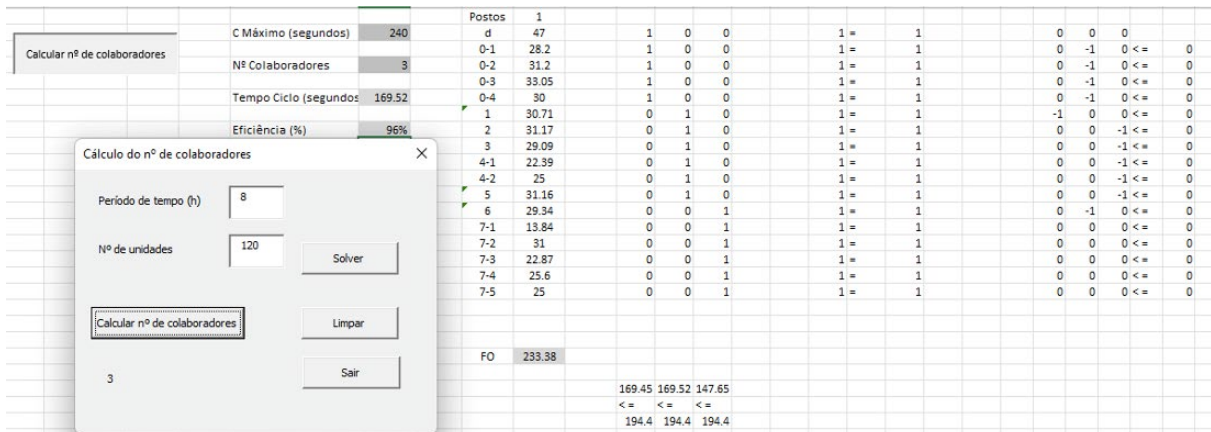


Figura 21 – Otimização do Solver para 8 horas de trabalho e 120 peças

Para manter o mesmo nível de eficiência, na ordem dos 96% com os oito postos de trabalho, o tempo de ciclo deveria ter à volta de 63 seg, o que daria umas 126 cadeiras em duas horas, e por consequência obrigaria a uma nova reafecção das tarefas para balancear a linha.

$$E = \frac{\sum_i T_i}{NC} = \frac{486}{8 \times C} = 96 \% \quad (1)$$

$$C \approx 63 \text{ seg} \quad (3)$$

Apesar do Solver ser uma ferramenta limitada quanto ao número de variáveis que suporta executar, para um determinado número de dados e restrições como o exposto anteriormente, permite uma otimização rápida e fiável, tornando-se uma ferramenta muito útil para quem planeia fazer estes estudos de balanceamento de linhas.

Mediante a inserção de novos dados e executando o programa, este gera novas soluções para o balanceamento, tendo sempre em vista minimizar os tempos de inatividade e aumentar a eficiência da linha.

3.5.2.3.2 Exemplo 2

Neste exemplo, pretende calcular-se o número ótimo de operados para oito horas de trabalho e 250 cadeiras. A Figura 22 representa o input desses dados no programa e o resultado obtido foi cinco operadores.

Figura 22 - Input de 8 horas e 250 Cadeiras

Executando o Solver obtém-se novos tempos de ciclo como mostra a Figura 23, bem como a nova função objetivo.

FO	89.38				
		75.20	94.25	113.36	99.34 104.47
		<=	<=	<=	<= <=
		116.6	116.6	116.6	116.6 116.6

Figura 23 - Novos tempos de ciclo e função objetivo para cinco operadores

Com o tempo de ciclo de 113,36, obtém-se a eficiência da linha que é aproximadamente 86%, como pode ver-se na Figura 24.

C Máximo (segundos)	115.2
Nº Colaboradores	5
Tempo Ciclo (segundos)	113.36
Eficiência (%)	86%

Figura 24 - Cálculo da eficiência pelo Solver para cinco operadores

Resultante disso obtém-se o tempo total de paragem da linha para este cenário que é de 80,18 segundos.

$$iT = 80,18 \text{ seg} \quad (7)$$

A afetação do grupo de tarefas pelos cinco operadores da linha encontra-se na Figura 25, e pode ver-se que as tarefas associadas a cada operador são bastante diferentes da solução obtida no Exemplo 1.

Postos	1						
d	47		1	0	0	0	0
0-1	28.2		1	0	0	0	0
0-2	31.2		0	1	0	0	0
0-3	33.05		0	1	0	0	0
0-4	30		0	1	0	0	0
1	30.71		0	0	1	0	0
2	31.17		0	0	1	0	0
3	29.09		0	0	1	0	0
4-1	22.39		0	0	1	0	0
4-2	25		0	0	0	1	0
5	31.16		0	0	0	1	0
6	29.34		0	0	0	1	0
7-1	13.84		0	0	0	1	0
7-2	31		0	0	0	0	1
7-3	22.87		0	0	0	0	1
7-4	25.6		0	0	0	0	1
7-5	25		0	0	0	0	1

Figura 25 - Afetação das tarefas para cinco operadores

O novo diagrama da linha de montagem pode ser observado na Figura 26, onde se encontram os novos tempos associados a cada posto.

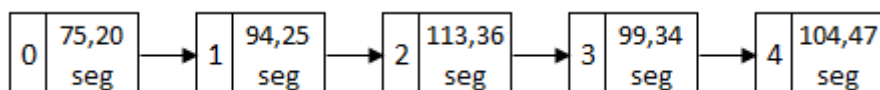


Figura 26 - Diagrama da linha para cinco postos

A Figura 27 mostra o programa a ser executado no Excel, para a solução descrita.

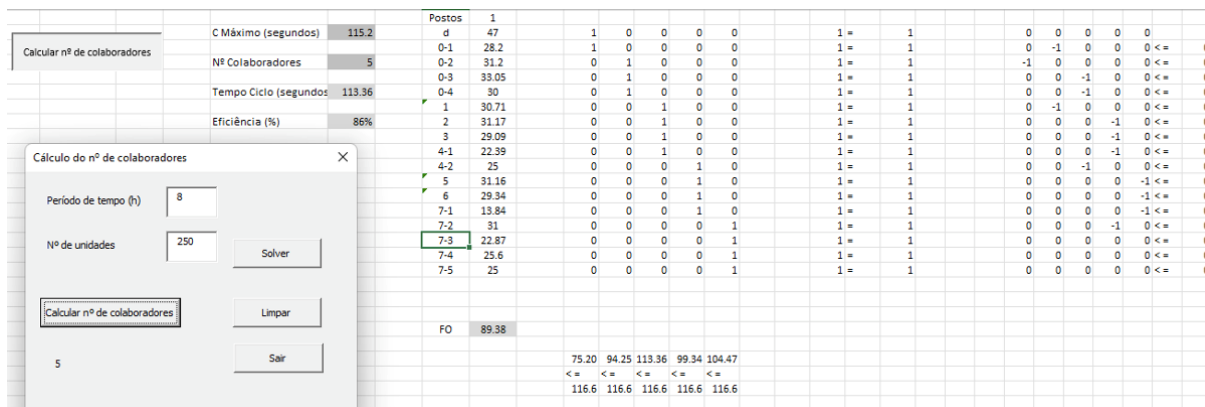


Figura 27 - Otimização do Solver para 8 horas de trabalho e 250 peças

3.5.2.3.3 Exemplo 3

Atualmente a Polisport encontra-se a trabalhar em regime de dois turnos, duplicando assim a sua capacidade de produção. Desta forma, quis saber-se nas 16 horas disponíveis e 400 cadeiras quantos operadores eram necessários. A solução obtida como pode ver-se na Figura 28, é de quatro operadores. Quatro no primeiro turno e quatro no segundo turno.

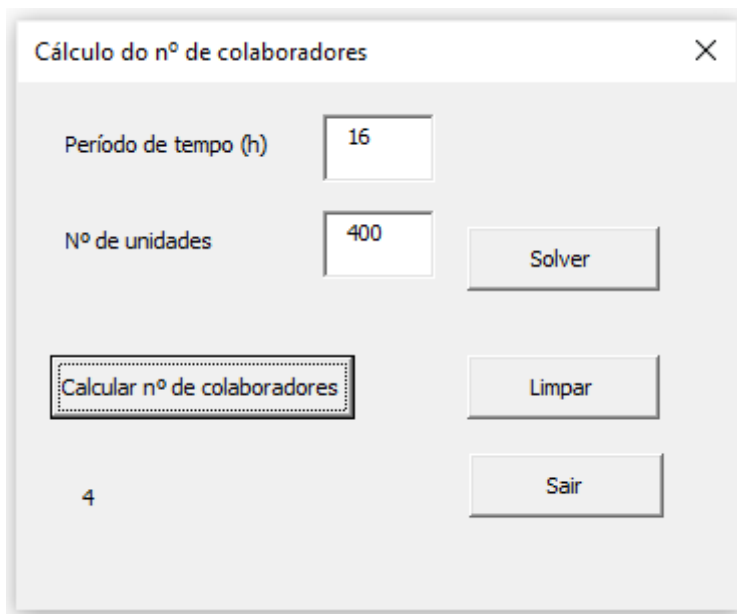


Figura 28 - Input de 16 horas e 400 Cadeiras

De seguida, o programa dá a função objetivo e os novos tempos de ciclo, apresentados na Figura 29.

FO	89.38					
			106.40	124.93	136.98	118.31
			< =	< =	< =	< =
			145.8	145.8	145.8	145.8

Figura 29 - Tempos de ciclo e função objetivo para quatro operadores

O tempo de ciclo, que é dado pelo valor mais elevado de tempo necessário para executar o grupo de tarefas é de 136,98 seg. Com esse valor obtém-se a eficiência da linha (Figura 30), que é de 89%.

C Máximo (segundos)	144
Nº Colaboradores	4
Tempo Ciclo (segundos)	136.98
Eficiência (%)	89%

Figura 30 – Eficiência para quatro operadores na linha

Com estes valores, calcula-se o tempo total de paragem da linha, que para este cenário é de 61,3 segundos.

$$iT = 61,3 \text{ seg} \quad (7)$$

Por fim é obtida a afetação do grupo de tarefas pelos quatro operadores como demonstrado na Figura 31.

Postos	1					
d	47	1	0	0	0	
0-1	28.2	1	0	0	0	
0-2	31.2	1	0	0	0	
0-3	33.05	0	1	0	0	
0-4	30	0	1	0	0	
1	30.71	0	1	0	0	
2	31.17	0	1	0	0	
3	29.09	0	0	1	0	
4-1	22.39	0	0	1	0	
4-2	25	0	0	1	0	
5	31.16	0	0	1	0	
6	29.34	0	0	1	0	
7-1	13.84	0	0	0	1	
7-2	31	0	0	0	1	
7-3	22.87	0	0	0	1	
7-4	25.6	0	0	0	1	
7-5	25	0	0	0	1	

Figura 31 - Afetação das tarefas para quatro operadores

O diagrama da Figura 32, mostra a solução encontrada para o cenário em análise.

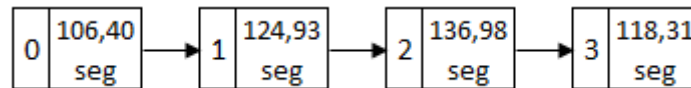


Figura 32 - Diagrama da linha para quatro postos

A figura 33, demonstra o programa para a solução de 16 horas de trabalho e 400 cadeiras

Figura 33 - Otimização do Solver para 16 horas de trabalho e 400 peças

3.5.2.3.4 Exemplo 4

Neste exemplo a abordagem foi diferente, visto que, nos exemplos anteriores foi verificado uma diminuição de número de operadores, associado a um aumento da eficiência.

Posto isto, a proposta passa por eliminar os tempos das movimentações entre postos e os desperdícios de tempo, que o operador gasta para ir buscar componentes ao bordo de linha, que são tarefas que não acrescentam valor ao produto.

Na Tabela 13, pode ver-se que a soma dos tempos de tarefas que não acrescentam valor é de 71,07 segundos.

Tabela 13 - Tempos de desperdício e movimentações

Nº Tarefa	Posto	Tipo	Descrição Tarefa	Tempo (seg)
10	1	Movimentação	Ir buscar cadeira para bancada trabalho	3,55
16	2	Movimentação	Ir buscar cadeira ao Posto 1	2,29
19	2	Movimentação	Mudar posição da cadeira	1,04
20	2	Desperdício	Ir buscar pousa pés direito	1,52
22	2	Desperdício	Ir buscar pousa pés esquerdo	1,64
24	2	Movimentação	Mudar posição da cadeira	1,00
27	3	Movimentação	Ir buscar cadeira ao Posto 2	1,35
32	3	Movimentação	Mudar posição da cadeira	1,85
33	3	Desperdício	Ir buscar autocolante <i>warning</i> e retirar protecção	3,67
35	3	Desperdício	Pegar cinto	2,75
36	4	Movimentação	Ir buscar cadeira ao Posto 3	2,46
37	4	Desperdício	Ir buscar autocolante reflector e retirar protecção	3,54
39	4	Movimentação	Mudar posição da cadeira	1,33
42	4	Desperdício	Pegar na máquina e apertar parafuso	4,93
43	4	Desperdício	Colocar sacos da chave de <i>umbrako</i> para cima da bancada	22,00
44	4	Desperdício	Ir buscar bases para cima da bancada de trabalho	3,00
45	5	Movimentação	Ir buscar cadeira ao Posto 4	2,24
46	5	Desperdício	Ir buscar varão e abraçadeira	2,86
50	5	Desperdício	Ir buscar abraçadeira	1,71
53	6	Movimentação	Ir buscar cadeira ao Posto 5	2,52
57	6	Movimentação	Movimentação da Cadeira para bancada controlo	1,79
59	7	Movimentação	Ir buscar cadeira ao Posto 6	2,04
				71,07

Desta forma se recalcularmos o tempo total para execução de uma peça teríamos

$$\sum_i T_i = 486 - 71,07 = 414,93 \text{ segundos} \quad (4)$$

Após o novo agrupamento das tarefas, demonstrado na Tabela 14, é tempo de proceder-se à otimização da linha.

Tabela 14 - Novo agrupamento de tarefas

Postos	Tempo (seg)
d	47
0-1	28,2
0-2	31,2
0-3	33,05
0-4	30
1	27,16
2	23,68
3	19,48
4	10,13
5	24,35
6	25,04
7-1	11,8
7-2	31
7-3	22,87
7-4	25,6
7-5	25

Com o Solver, calcula-se o novo tempo de ciclo e o número de postos de trabalho que traduzem uma maior eficiência da linha, tendo por base os seguintes valores.

Tack time

$$T_t = 4 \text{ min} = 240 \text{ seg} \quad (1)$$

Tempo necessário á produção de uma unidade (soma dos tempos de todas as operações)

$$\sum_i T_i = 414,93 \text{ seg} \quad (4)$$

Ao executar o Solver com os mesmos inputs dos Exemplos 1,2 e 3 obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - Resultados obtidos com a retirada de movimentações e desperdícios

	Tempo (Horas)	Nº Postos e Operadores	Nº Cadeiras	C (tempo de ciclo) seg.	E (eficiência)	iT (tempo total paragem) seg.
Exemplo 1.1	8	3	120	141,31	98%	8
Exemplo 2.1	8	5	250	94,25	88%	56
Exemplo 3.1	16	4	400	131,89	91%	41,2

A nova afetação das tarefas de cada exemplo está apresentada nas Figuras 34,35 e 36.

Postos	1				
d	47		1	0	0
0-1	28,2		1	0	0
0-2	31,2		1	0	0
0-3	33,05		1	0	0
0-4	30		0	1	0
1	27,16		0	1	0
2	23,68		0	1	0
3	19,48		0	1	0
4	10,13		0	1	0
5	24,35		0	1	0
6	25,04		0	0	1
7-1	11,8		0	0	1
7-2	31		0	0	1
7-3	22,87		0	0	1
7-4	25,6		0	0	1
7-5	25		0	0	1

Figura 34 – Afetação das tarefas para três postos – Exemplo 1.1

Postos	1						
d	47		1	0	0	0	0
0-1	28,2		1	0	0	0	0
0-2	31,2		0	1	0	0	0
0-3	33,05		0	1	0	0	0
0-4	30		0	1	0	0	0
1	27,16		0	0	1	0	0
2	23,68		0	0	1	0	0
3	19,48		0	0	1	0	0
4	10,13		0	0	1	0	0
5	24,35		0	0	0	1	0
6	25,04		0	0	0	1	0
7-1	11,8		0	0	0	1	0
7-2	31		0	0	0	1	0
7-3	22,87		0	0	0	0	1
7-4	25,6		0	0	0	0	1
7-5	25		0	0	0	0	1

Figura 35 - Figura 34 – Afetação das tarefas para cinco postos – Exemplo 2.1

Postos	1						
d	47		1	0	0	0	0
0-1	28,2		1	0	0	0	0
0-2	31,2		1	0	0	0	0
0-3	33,05		0	1	0	0	0
0-4	30		0	1	0	0	0
1	27,16		0	1	0	0	0
2	23,68		0	1	0	0	0
3	19,48		0	0	1	0	0
4	10,13		0	0	1	0	0
5	24,35		0	0	1	0	0
6	25,04		0	0	1	0	0
7-1	11,8		0	0	1	0	0
7-2	31		0	0	0	1	0
7-3	22,87		0	0	0	0	1
7-4	25,6		0	0	0	0	1
7-5	25		0	0	0	0	1

Figura 36 - Figura 34 – Afetação das tarefas para quatro postos – Exemplo 3.1

3.5.2.4 Análise crítica dos resultados obtidos

O desenvolvimento do Algoritmo de Alocação e do programa no Excel/VBA, para além de ser uma ferramenta que melhora a eficiência do ponto de vista da gestão, também dá uma rápida visibilidade para os possíveis gargalos existentes.

Tabela 16 - Tabela das soluções encontradas

	Tempo (Horas)	Nº Postos e Operadores	Nº Cadeiras	C (tempo de ciclo) seg.	E (eficiência)	iT (tempo total paragem) seg.
Exemplo 1	8	3	120	169,52	96%	21,94
Exemplo 2	8	5	250	113,36	86%	80,18
Exemplo 3	16	4	400	136,98	89%	61,3
Exemplo 4						
Exemplo 1.1	8	3	120	141,31	98%	8
Exemplo 2.1	8	5	250	94,25	88%	56
Exemplo 3.1	16	4	400	131,89	91%	41,2

A Tabela 16 mostra o resumo das soluções encontradas nos três exemplos expostos anteriormente. No Exemplo 1 e 2, para as mesmas oito horas de trabalho, mas quantidades de cadeiras pretendidas diferentes, pode ver-se que os valores obtidos diferem significativamente. Os valores que diferem mais são os de tempo de ciclo e de tempo de inatividade da linha. Estes valores são justificados pela nova afetação das tarefas pelos cinco postos de montagem, que mostram um desnivelamento no tempo de execução das tarefas em cada posto.

No Exemplo 3, foi feito o mesmo estudo, mas para a nova realidade da empresa que passou a laborar em dois turnos. Para uma produção diária de 400 cadeiras, a solução encontrada passa por ter quatro operadores na linha em cada turno, com uma eficiência de 89% e um tempo inativo de trabalho de 61,3 segundos.

No Exemplo 4, foram removidos tempos de desperdício e de movimentação, e ao analisar os resultados obtidos consegue perceber-se, que com a retirada desses tempos, a eficiência aumentou e os tempos de ciclo diminuíram assim como os tempos de inatividade da linha. O número de operadores manteve-se igual nos três exemplos efetuados, mas os resultados demonstram um maior balanceamento da linha de montagem.

O programa garante assim um melhor desempenho, e a correta alocação das pessoas para cada tarefa.

CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 Conclusões face aos objetivos

4.2 Proposta de trabalhos futuros

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 Conclusões face aos objetivos

O objetivo deste trabalho era analisar uma linha montagem para uma dada referência de artigo, com o intuito de aumentar a sua produtividade e eficiência, visto que, já tinha sido efetuado um teste em que estes dois fatores aumentaram quando o número de operadores na linha foi diminuído. É certo e sabido que um bom balanceamento de uma linha produtiva faz:

- Aumentar a produtividade;
- Aumentar a eficiência;
- Aumentar o lucro da empresa;
- Reduzir custos de produção.

Para cumprir as precedências, as restrições e os objetivos estabelecidos pela organização, foi necessário conhecer a fundo todo o processo de montagem, distribuir as tarefas de trabalho de forma equilibrada e respeitar o tempo de ciclo.

O método apresentado visa aumentar a eficiência da linha de montagem, alocando as tarefas aos postos de trabalho de acordo com a procura num determinado tempo, e o tempo disponível para executar essa procura. Através destas informações o modelo devolve o número de postos de trabalho que tornam a linha mais eficiente, onde as tarefas são reajustadas, por forma a eliminar os tempos inativos e fazer uma distribuição homogénea da carga de trabalho

Tabela 17 - Resumo das soluções obtidas

	Tempo (Horas)	Nº Postos e Operadores	Nº Cadeiras	C (tempo de ciclo) seg.	E (eficiência)	iT (tempo total paragem) seg.
Estado Inicial	8	8	120	122,45	49,6%	494
Exemplo 1	8	3	120	169,52	96%	21,94
Exemplo 2	8	5	250	113,36	86%	80,18
Exemplo 3	16	4	400	136,98	89%	61,3
Exemplo 4						
Exemplo 1.1	8	3	120	141,31	98%	8
Exemplo 2.1	8	5	250	94,25	88%	56
Exemplo 3.1	16	4	400	131,89	91%	41,2

Os resultados obtidos desta análise estão apresentados na Tabela 17, e são uma mais valia para o gestor da produção decidir a alocação das tarefas aos postos de trabalho e os operadores necessários para a execução das mesmas. Esta tabela mostra com clareza que a linha está mais balanceada e é mais eficiente quando estão menos operadores na linha. A razão principal para este acontecimento tem a ver com a inatividade de cada posto, visto que, o tempo gasto a executar as tarefas em cada posto é muito similar.

Com o último exemplo efetuado (exemplo 4), consegue perceber-se claramente as diferenças obtidas com a eliminação das tarefas que não acrescentam valor ao produto. Esses tempos são passíveis de eliminar com uma nova reorganização da linha, onde os operadores terão de fazer menos movimentações ou mesmo eliminá-las. Obter uma eficiência de 98% na linha é algo que vale a pena ponderar para reestruturar.

O programa elaborado é muito simples e intuitivo, não havendo necessidade de grande formação para obter os dados pretendidos do mesmo. Apesar do Solver ser uma ferramenta limitada quanto ao número de variáveis que suporta executar, para um determinado número de dados e restrições, permite uma otimização rápida e fiável.

Pode afirmar-se que o programa apresentado é flexível, apesar das suas limitações, porque ao introduzir novos dados no campo dos tempos e restrições, basta mandar executar o Solver para obter uma nova solução otimizada.

Face ao exposto, pode concluir-se que, o modelo adotado para a análise feita neste trabalho é viável, e cumpre todos os requisitos e condições críticas para o bom funcionamento do programa, promovendo melhorias relevantes na capacidade de gestão da organização.

Quanto ao impacto na taxa de produção, não foi possível implementar este estudo na empresa, desta forma não foi possível retirar dados que se pudessem analisar para medir essa taxa.

A impossibilidade de implementação na empresa deveu-se às diversas limitações e dificuldades que ocorreram para a realização desta tese, tais como a realização do estágio em tempo de pandemia, a orientadora da empresa ter cessado contrato com a empresa e por fim a impossibilidade de obter quaisquer dados por parte da empresa após a saída da orientadora. O acesso á empresa ou a qualquer tipo de dados ou fotos foram negados, desta forma, a presente dissertação conta somente com dados teóricos do que se poderia melhorar na linha de montagem.

Para concluir pode afirmar-se que, as mudanças e melhorias só são realizadas e pensadas com o conhecimento adquirido no chamado “chão de fábrica”, onde é possível observar e estudar os processos para posteriormente os otimizar. Esta prática deveria ser feita de forma regular, tornando-se num hábito de melhoria continua.

4.2 Proposta de trabalhos futuros

O trabalho de otimização de balanceamentos de linhas deveria ser uma constante nas empresas, visto que, esta otimização traz inúmeras vantagens e redução de custos. Contudo é importante perceber que existem todos os dias problemas, e que é necessário entender a sua origem e tentar resolvê-las para que apareçam cada vez com menos frequência. Todos os dias temos a oportunidade de melhorar, reinventar e inovar.

Como proposta de trabalhos futuros, a sugestão passa por:

- Aplicar a análise aqui efetuada nas restantes linhas de montagem da empresa;
- Passar as tarefas do posto 0 e do posto 7, que não acrescentam valor, para fora da linha, diminuindo assim o tempo de ciclo;
- Reduzir o número de operadores, o que fará diminuir o tempo de movimentações entre postos e os tempos de desperdício.

Numa implementação futura, e de forma a cumprir os objetivos estipulados, o essencial é manter a capacidade de ajustar o processo consoante as necessidades que surgem no momento e efetuar essas alterações de forma rápida e eficaz, para acorrer às necessidades evitando custos desnecessários e cumprindo os prazos estipulados.

A interface criada no Excel que recorre ao Solver para afetar as diferentes tarefas aos operadores, pode ser uma grande ajuda na otimização das linhas de montagem que, por consequente aumentará a produtividade e eficiência das mesmas.

O uso de softwares que auxiliam a programação e balanceamento das linhas de produção torna-se uma ferramenta muito interessante, visto que, com a elevada procura de produtos e a elevada carga produtiva imposta nas indústrias, atualmente é quase impensável fazer um escalonamento e balanceamento manualmente. Com a ajuda do software é possível ganhar tempo de operação, obter uma análise mais precisa das diversas linhas de produto e aumentar o rendimento com um grau de fiabilidade elevado. Por esse motivo e apesar de a aquisição de um software de balanceamento ou de simulação ser mais um encargo para a empresa, é preciso não descartar essa hipótese, tendo em vista todas as vantagens que o mesmo acarreta.

BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

5.1 Bibliografia

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

5.1 Bibliografia

- [1] Carvalho, Dinis (2000). Capítulo III - Programação da produção. 2000.
- [2] Abedini, A., Li, W., Badurdeen, F., and Jawahir, I. S. "A metric-based framework for sustainable production scheduling," *J. Manuf. Syst.*, 2020, doi: 10.1016/j.jmsy.2019.12.003.
- [3] Carvalho, Dinis (2000). Capítulo III - Programação da produção. 2000.
- [4] Roldão, V.S. e Ribeiro, J.S. (2007) *Gestão das Operações-Uma abordagem Integrada; Ed. Monitor.* .
- [5] Courtois, A., Martin-Bonnefous. C., Pillet, M. (2007). *Gestão da Produção, Lidel, 5ª ed.* .
- [6] Kiran, D. R. "Master production schedules," *Prod. Plan. Control*, pp. 331–344, 2019, doi: 10.1016/b978-0-12-818364-9.00023-8.
- [7] R. E. Shannon. *Introduction to the art and science of simulation. Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, 1998.*
- [8] <https://www.sistrade.com/pt/solucoes/gestao-producao/scheduling/>.
- [9] https://www.inodigit.pt/pt-pt/inoplan.html?gclid=EAlaIQobChMIoL6Y58bD7gIVibbtCh0MKAlnEAAAYASAAEgINQ_D_BwE.
- [10] <https://www.paragon.com.br/en/software-en/arena-en/>.
- [11] Bentaha, M. L., Dolgui, A., & Battaïa, O. (2015). A bibliographic review of production line design and balancing under uncertainty. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 70–75. doi:10.1016/j.ifacol.2015.06.060.
- [12] Z. Kang, C. Catal, and B. Tekinerdogan, "Machine learning applications in production lines: A systematic literature review," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 149, no. August, p. 106773, 2020, doi: 10.1016/j.cie.2020.106773.
- [13] CHASE, Richard B.; AQUILANO, Nicholas J. - *Gestão da produção e das operações: perspectiva do ciclo de vida.* Lisboa: Monitor, 1995. ISBN 972-9413-25-8.
- [14] Avikal, S., Jain, R., Mishra, P. K., & Yadav, H. C. (2013). A heuristic approach for U-shaped assembly line balancing to improve labor productivity. *Computers & Industrial Engineering*, 64(4), 895–901. doi:10.1016/j.cie.2013.01.001.
- [15] Battaïa, O., & Dolgui, A. (2013). A taxonomy of line balancing problems and their solution approaches. *International Journal of Production Economics*, 142(2), 259–277.

- doi:10.1016/j.ijpe.2012.10.020.
- [16] S. Ayub, S. Md. Ayob, C. W. Tan, L. Ayub, and A. L. Bukar, "Optimal residence energy management with time and device-based preferences using an enhanced binary grey wolf optimization algorithm," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 41, no. June, p. 100798, 2020, doi: 10.1016/j.seta.2020.100798.
- [17] I. Hilali-Jaghdam, A. Ben Ishak, S. Abdel-Khalek, and A. Jamal, "Quantum and classical genetic algorithms for multilevel segmentation of medical images: A comparative study," *Comput. Commun.*, vol. 162, no. August, pp. 83–93, 2020, doi: 10.1016/j.comcom.2020.08.010.
- [18] Shao, G., Shangguan, Y., Tao, J., Zheng, J., Liu, T., & Wen, Y. (2018). An improved genetic algorithm for structural optimization of Au-Ag bimetallic nanoparticles. *Applied Soft Computing*. doi:10.1016/j.asoc.2018.08.019.
- [19] Y. Yun, E. J. Hwang, and Y. H. Kim, "Adaptive genetic algorithm for energy-efficient task scheduling on asymmetric multiprocessor system-on-chip," *Microprocess. Microsyst.*, vol. 66, pp. 19–30, 2019, doi: 10.1016/j.micpro.2019.01.011.
- [20] Chatterjee, A., Tudu, B., & Paul, K. C. (2012). Towards optimized binary pattern generation for grayscale digital halftoning: A binary particle swarm optimization (BPSO) approach. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 23(8), 1245–1259.
- [21] R. Cortez, R. Garrido, and E. Mezura-Montes, "Spectral Richness PSO algorithm for parameter identification of dynamical systems under non-ideal excitation conditions," *Appl. Soft Comput.*, vol. 128, p. 109490, Oct. 2022, doi: 10.1016/J.ASOC.2022.109490.
- [22] Y. Ma, F. Liang, M. Zhu, C. Chen, C. Chen, and X. Lv, "FT-IR combined with PSO-CNN algorithm for rapid screening of cervical tumors," *Photodiagnosis Photodyn. Ther.*, vol. 39, p. 103023, Sep. 2022, doi: 10.1016/J.PDPDT.2022.103023.
- [23] Rajesh, J., Jayaraman, V. K., & Kulkarni, B. D. (2000). Taboo Search Algorithm for Continuous Function Optimization. *Chemical Engineering Research and Design*, 78(6), 845–848. doi:10.1205/026387600528049.
- [24] Zhang, K., Xu, J., Geng, X., Xiao, J., & Pan, L. (2008). Improved taboo search algorithm for designing DNA sequences. *Progress in Natural Science*, 18(5), 623–627. doi:10.1016/j.pnsc.2008.01.005.
- [25] Y. Xu *et al.*, "Optimization based on tabu search algorithm for optimal sizing of hybrid PV/energy storage system: Effects of tabu search parameters," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 53, p. 102662, Oct. 2022, doi: 10.1016/J.SETA.2022.102662.
- [26] Pessoa, C. M., Ranzan, C., Trierweiler, L. F., & Trierweiler, J. O. (2015). Development of Ant Colony Optimization (ACO) Algorithms Based on Statistical Analysis and Hypothesis Testing for Variable Selection. *IFAC-PapersOnLine*, 48(8), 900–905. doi:10.1016.
- [27] [Ranzan, C., Strohm, A., Ranzan, L., Trierweiler, L. F., Hitzmann, B., & Trierweiler, J. O. (2014). Wheat flour characterization using NIR and spectral filter based on Ant Colony Optimization. *Chemometrics and Intelligent Laboratory*.
- [28] F. Yan, "Autonomous vehicle routing problem solution based on artificial potential field with parallel ant colony optimization (ACO) algorithm," *Pattern Recognit. Lett.*, vol. 116, pp. 195–199, 2018, doi: 10.1016/j.patrec.2018.10.015.

- [29] C. Guo, H. Tang, B. Niu, and C. Boon Patrick Lee, "A survey of bacterial foraging optimization," *Neurocomputing*, vol. 452, pp. 728–746, 2021, doi: 10.1016/j.neucom.2020.06.142.
- [30] H. Chen, Q. Zhang, J. Luo, Y. Xu, and X. Zhang, "An enhanced Bacterial Foraging Optimization and its application for training kernel extreme learning machine," *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 86, no. xxxx, p. 105884, 2020, doi: 10.1016/j.asoc.2019.105884.
- [31] Kamyab, S., & Bahrololoum, A. (2012). Designing of rule base for a TSK- fuzzy system using bacterial foraging optimization algorithm (BFOA). *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 32, 176–183. doi:10.1016/j.sbspro.2012.01.028.
- [32] M. Jansi Rani, M. Karuppasamy, and M. Prabha, "Bacterial foraging optimization algorithm based feature selection for microarray data classification," *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.11.325.
- [33] A. Majumder, D. Laha, and P. N. Suganthan, "Bacterial foraging optimization algorithm in robotic cells with sequence-dependent setup times," *Knowledge-Based Syst.*, vol. 172, pp. 104–122, 2019, doi: 10.1016/j.knosys.2019.02.016.
- [34] P. Ranjan, A. Choubey, and S. K. Mahto, "A novel approach for optimal design of multilayer wideband microwave absorber using wind driven optimization technique," *AEU - Int. J. Electron. Commun.*, vol. 83, pp. 81–87, 2018, doi: 10.1016/j.aeue.2017.08.039.
- [35] I. A. Ibrahim, M. J. Hossain, B. C. Duck, and M. Nadarajah, "An improved wind driven optimization algorithm for parameters identification of a triple-diode photovoltaic cell model," *Energy Convers. Manag.*, vol. 213, no. January, p. 112872, 2020, doi: 10.1016/j.enconman.2020.112872.
- [36] R. Laishram and R. Rabidas, "WDO optimized detection for mammographic masses and its diagnosis: A unified CAD system," *Appl. Soft Comput.*, vol. 110, p. 107620, Oct. 2021, doi: 10.1016/J.ASOC.2021.107620.
- [37] Guney, K., & Onay, M. (2011). Optimal synthesis of linear antenna arrays using a harmony search algorithm. *Expert Systems with Applications*, 38(12), 15455–15462. doi:10.1016/j.eswa.2011.06.015.
- [38] I. Abu Doush *et al.*, "Flow shop scheduling with blocking using modified harmony search algorithm with neighboring heuristics methods," *Appl. Soft Comput.*, vol. 85, p. 105861, 2019, doi: 10.1016/j.asoc.2019.105861.
- [39] A. Kumar *et al.*, "Optimal cluster head selection for energy efficient wireless sensor network using hybrid competitive swarm optimization and harmony search algorithm," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 52, p. 102243, Aug. 2022, doi: 10.1016/J.SETA.2022.102243.
- [40] D. Liu *et al.*, "Spatial-temporal characteristics analysis of water resource system resilience in irrigation areas based on a support vector machine model optimized by the modified gray wolf algorithm," *J. Hydrol.*, vol. 597, 2021, doi: 10.1016/j.jhydrol.2020.125758.
- [41] B. Zhao, Y. Ren, D. Gao, L. Xu, and Y. Zhang, "Energy utilization efficiency evaluation model of refining unit Based on Contourlet neural network optimized by improved grey optimization algorithm," *Energy*, vol. 185, pp. 1032–1044, 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.07.111.
- [42] Kadali, K. S., Rajaji, L., Moorthy, V., & Viswanatharao, J. (2017). Economic generation

- schedule on thermal power system considering emission using grey wolves optimization. *Energy Procedia*, 117, 509–518. doi:10.1016/j.egypro.2017.05.177.
- [43] X. Sun, Y. Xiong, M. Yao, X. Tang, and X. Tian, “A unified control method combined with improved TSF and LADRC for SRMs Using modified grey wolf optimization algorithm,” *ISA Trans.*, May 2022, doi: 10.1016/J.ISATRA.2022.05.013.
- [44] T. Jiang, H. Cui, and X. Cheng, “A calibration strategy for vision-guided robot assembly system of large cabin,” *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 163, p. 107991, 2020, doi: 10.1016/j.measurement.2020.107991.
- [45] Martin, A. D., Vazquez, J. R., & Cano, J. M. (2018). MPPT in PV systems under partial shading conditions using artificial vision. *Electric Power Systems Research*, 162, 89–98. doi:10.1016/j.epsr.2018.05.005.
- [46] C. Li, Y. Huang, H. Li, and X. Zhang, “A weak supervision machine vision detection method based on artificial defect simulation,” *Knowledge-Based Syst.*, vol. 208, p. 106466, 2020, doi: 10.1016/j.knosys.2020.106466.
- [47] Ö. Hazir and A. Dolgui, “A review on robust assembly line balancing approaches,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, no. 13, pp. 987–991, 2019, doi: 10.1016/j.ifacol.2019.11.323.
- [48] Boysen, N., Fliedner, M., & Scholl, A. (2007). A classification of assembly line balancing problems. *European Journal of Operational Research*, 183(2), 674 – 693.
- [49] Ávila, P., (2010) Apontamentos de vertentes da otimização do processo, Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- [50] Gozali, Lina. (2013). Line Assembly Analysis for R-223 Product by Kilbridge Wester Heuristic Method, Helgeson Birnie Method and Moodie Young Method PT. Mulia Knitting Factory.
- [51] <https://www.avix.eu/process-mapping-tools/line-balancing>.
- [52] <https://www.proplanner.com/solutions/assembly-process-planning/line-balancing>.
- [53] Bernardo. M. (2016) Programação Linear, Universidade Aberta.
- [54] Gouveia. M. Programação Linear, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- [55] J. D. García-Nieves, J. L. Ponz-Tienda, A. Ospina-Alvarado, and M. Bonilla-Palacios, “Multipurpose linear programming optimization model for repetitive activities scheduling in construction projects,” *Autom. Constr.*, vol. 105, p. 102799, Sep. 2019, doi: 10.1016/J.AUTCON.2019.03.020.
- [56] M. Şahin and T. Kellegöz, “A new mixed-integer linear programming formulation and particle swarm optimization based hybrid heuristic for the problem of resource investment and balancing of the assembly line with multi-manned workstations,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 133, pp. 107–120, Jul. 2019, doi: 10.1016/J.CIE.2019.04.056.
- [57] T. L. Urban and W. C. Chiang, “An optimal piecewise-linear program for the U-line balancing problem with stochastic task times,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 168, no. 3, pp. 771–782, Feb. 2006, doi: 10.1016/J.EJOR.2004.07.027.

ANEXOS

6.1 Programa do Visual Basic

6.2 Instrução de trabalho e controlo

6 ANEXOS

6.1 Programa do Visual Basic

6.1.1 Botão de calcular número de operadores

```
Private Sub CommandButton1_Click()
```

```
Dim PTempo As Double
```

```
Dim NCadeiras, NEst As Integer
```

```
Dim TCiclo, TCiclo_V, Folga, Aux, FO, Soma, soma2 As Double
```

```
Dim C1 As String
```

```
Dim C2 As String
```

```
Dim C3 As String
```

```
Dim C4 As String
```

```
Dim C5 As String
```

```
Dim C As String
```

```
PTempo = Me.TextBox1.Text
```

```
NCadeiras = Me.TextBox2.Text
```

```
TCiclo = (Val(PTempo) * 60) / (Val(NCadeiras))
```

```
NEst = Int(486.62 / (TCiclo * 60)) + 1
```

```
Me.Label4 = NEst
```

```
Cells(2, 6).Value = TCiclo * 60
```

```
Cells(4, 6).Value = NEst
```

```
For i = 1 To 16
```

```
For j = 1 To NEst
```

```
Next
```

```
Cells(i + 1, NEst + 13).Formula = "=SUM(" & Range(Cells(i + 1, 11), Cells(i + 1, NEst + 11)).Address(False, False) & ")"
```

```
Cells(i + 1, NEst + 14).Value = "="
```

```
Cells(i + 1, NEst + 15).Value = 1
```

```
Next
```

```
For j = 2 To NEst + 2
```

```
For i = 1 To 15
```

```
Cells(i + 2, j + NEst + 17).Formula = "=" & Cells(i + 2, 11).Address & "-" & Cells(i + 1, 11).Address
```

```
Next
```

```
Next
```

```
For j = 2 To NEst + 2
```

```
For i = 1 To 15
```

```
Cells(i + 2, j + NEst + 18).Formula = "=" & Cells(i + 2, j + 10).Address & "-" & Cells(i + 1, j + 10 - 1).Address & "-" & Cells(i + 1, j + 10).Address
```

```
Cells(i + 2, NEst + NEst + 19).Value = "<="
```

```
Cells(i + 2, NEst + NEst + 20).Value = "0"
```

```
Next
```

```
Next
```

```
Folga = (TCiclo * NEst - 486) / NEst
```

```
TCiclo_V = (TCiclo - Folga) * 1.2
```

```
For j = 0 To NEst - 1
```

```
Cells(24, j + 11).Formula = "=SUMPRODUCT(R[-22]C:R[-4]C,R2C9:R20C9)"
```

```
Cells(25, j + 11).Value = "<="
```

```
Cells(26, j + 11).Value = Val(TCiclo_V)
```

```
Next
```

```
Cells(22, 8).Value = "FO"
```

```
Cells(22, 9).Formula = "=SUM(" & Range(Cells(24, 11), Cells(24, NEst + 10)).Address(False, False) & ")" & "+ F" & 4 & "* F" & 2
```

```
C2 = Replace(Split(Cells(2, NEst + 13).Address, "$")(1), ":", "")
```

```
C1 = Replace(Split(Cells(2, NEst + 15).Address, "$")(1), ":", "")
```

```
C3 = Replace(Split(Cells(2, 11).Address, "$")(1), ":", "")
```

```
C4 = Replace(Split(Cells(2, NEst + 10).Address, "$")(1), ":", "")
```

```
a = 2
```

```
b = 13
```

```
aa = 24
```

```
bb = 26
```

```
End Sub
```

6.1.2 Botão do Solver

```
Private Sub CommandButton4_Click()
```

```
Dim NCadeiras, NEst As Integer
```

```
NEst = Cells(4, 6).Value
```

```
C2 = Replace(Split(Cells(2, NEst + 13).Address, "$")(1), ":", "")
```

```
C1 = Replace(Split(Cells(2, NEst + 15).Address, "$")(1), ":", "")
```

```
C3 = Replace(Split(Cells(2, 11).Address, "$")(1), ":", "")
```

```
C4 = Replace(Split(Cells(2, NEst + 10).Address, "$")(1), ":", "")
```

```
a = 2
```

```
b = 17
```

```
aa = 24
```

```
bb = 26
```

```
SolverReset
```

```
SolverOk SetCell:="$i$22", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0, ByChange:=Range(C3 & a & ":" & C4 & b), _
```

```
Engine:=2, EngineDesc:="Simplex LP"
```

```
SolverAdd CellRef:=Range(C3 & a & ":" & C4 & b), Relation:=5, FormulaText:="binário"
```

```
SolverAdd CellRef:=Range(C2 & a & ":" & C2 & b), Relation:=2, FormulaText:=Range(C1 & a & ":" & C1 & b)
```

```
SolverAdd CellRef:="$k$2", Relation:=2, FormulaText:="$i$1"
```

```
For j = 1 To NEst
```

```
  C = Replace(Split(Cells(2, j + NEst + 18).Address, "$")(1), ":", "")
```

```
  SolverAdd CellRef:=Range(C & a & ":" & C & b), Relation:=1, FormulaText:="0"
```

```
Next
```

```
SolverAdd CellRef:=Range(C3 & aa & ":" & C4 & aa), Relation:=1, FormulaText:=Range(C3 & bb & ":" & C4 & bb)
```

```
SolverSolve
```

```
End Sub
```

6.1.3 Botão limpar os dados

```
Private Sub CommandButton2_Click()
```

```
With ActiveSheet
```

```
Range("k1:AV1000").Clear
```

```
End With
```

```
Cells(22, 9).Value = ""
```

```
TextBox1.Value = ""
```

```
TextBox2.Value = ""
```

```
Me.Label4 = ""
```

```
End Sub
```

6.1.4 Botão de sair

```
Private Sub CommandButton3_Click()
```

```
Unload Me
```

```
End Sub
```

6.1.5 Página do Solver

```
Sub Solver()
```

```
'
```

```
' Solver Macro
```

```
'
```

```
SolverOk SetCell:="$I$22", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0, ByChange:="$K$2:$P$20", _
```

```
Engine:=2, EngineDesc:="Simplex LP"
```

```
SolverAdd CellRef:="$K$2:$P$20", Relation:=5, FormulaText:="binário"
```

```
SolverAdd CellRef:="$R$2:$R$20", Relation:=2, FormulaText:="1"
```

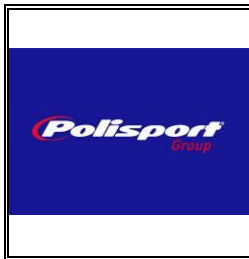
```
SolverAdd CellRef:="$V$3:$V$20", Relation:=1, FormulaText:="0"
```

```
SolverAdd CellRef:="$AB$3:$AB$20", Relation:=1, FormulaText:="0"
```

```
SolverAdd CellRef:="$AC$3:$AC$20", Relation:=1, FormulaText:="0"
```

```
SolverAdd CellRef:="$AD$3:$AD$20", Relation:=1, FormulaText:="0"  
SolverAdd CellRef:="$AF$3:$AF$20", Relation:=1, FormulaText:="0"  
SolverAdd CellRef:="$K$24:$P$24", Relation:=1, FormulaText:="$K$26:$P$26"  
SolverOk SetCell:="$I$22", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0, ByChange:="$K$2:$P$20", _  
    Engine:=2, EngineDesc:"Simplex LP"  
SolverOk SetCell:="$I$22", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0, ByChange:="$K$2:$P$20", _  
    Engine:=2, EngineDesc:"Simplex LP"  
SolverOk SetCell:="$I$22", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0, ByChange:="$K$2:$P$20", _  
    Engine:=2, EngineDesc:"Simplex LP"  
Range("I22").Select  
End Sub
```

6.2 Anexo 2 – Instrução de trabalho e controlo



INSTRUÇÕES DE TRABALHO E CONTROLO

IT Nº 5127

Pág. 1 de 8

- Polisport
- Polinter
- Polisport Molds
- Headgy Helmets

DESIGNAÇÃO: P.BEBÉ BABYSEAT 100 FF – 840640001/4/7/13



ANTES DE COMEÇAR PRODUÇÃO DOS CÓDIGOS 840640007/13

Antes de começar a produção garantir com o departamento LOGISTICO se o preço apresentado está ou não de acordo com a encomenda lançada.



0 000025 383089

Size: *

Baby Seat

Baby seat 100 FF warm grey

Made in Portugal

Imported by: Decathlon Sports India Pvt.Ltd.

Survey Number 78/10 A2, Chikkajala Village

Bellary Road, Bangalore 562157

For consumer complaints/assistance, please contact the above importer address or -

Tel: +91-7676798989 email: care.india@decathlon.com

Art: 2538308

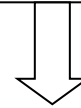
MRP: ₹Rs. **4999,00**

incl. of all taxes

Qty: 1U

Import date: 05/2020

Caso o valor tenha de ser alterado, a responsável de Produção deverá ir ao programa das etiquetas e na opção de configuração das etiquetas deverá alterar o valor do campo 2.



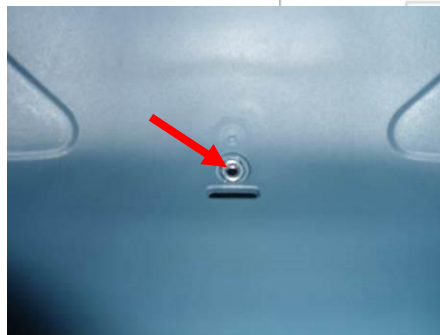
Item 8406400007

Valor 1 2538308

Valor 2 **4999,00**



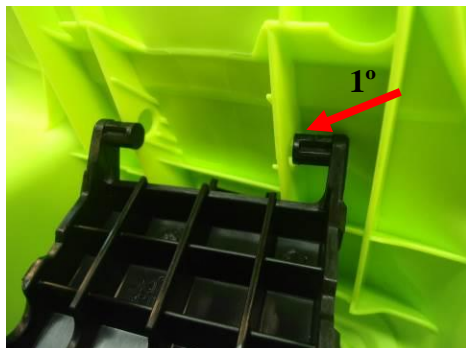
1º Cadeira PBB babyseat 100.



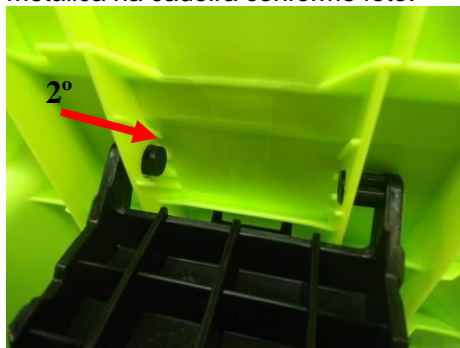
2º Verificar a existência da fêmea metálica na cadeira conforme foto.



3º Base de fixação BS100.



4º Encaixar a base de fixação na cadeira de acordo com fotos.



5º Colocar o suporte de fixação na cadeira, colocar a anilha e o parafuso. (...)

ATENÇÃO: O fornecedor terá de garantir que as peças cheguem à Polisport sem riscos nem empenos.

Todo o material terá de ser entregue em paletes de tara perdida 1200x800, sendo as mesmas devolvidas no acto de entrega.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA



INSTRUÇÕES DE TRABALHO E CONTROLO

IT Nº 5127

Pág. 2 de 8

- | | |
|-------------------------------------|-----------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Polisport |
| <input type="checkbox"/> | Polinter |
| <input type="checkbox"/> | Polisport Molds |
| <input type="checkbox"/> | Headgy Helmets |

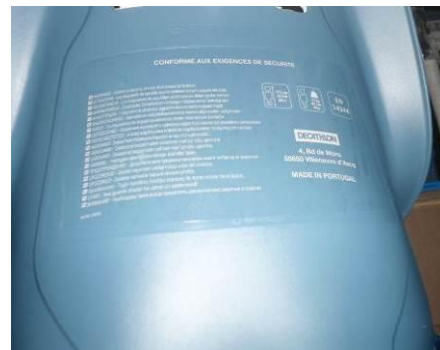
DESIGNAÇÃO: P.BEBÉ BABYSEAT 100 FF – 840640001/4/7/13



(...) Apertar com a máquina pneumática com um torque de 6N.m, conforme fotos.



6º Na zona de brilho nas costas da cadeira, assinalada por um rectângulo, colar o autocolante "warning".



7º Aspecto final da colagem do autocolante.

Garantir que não existe bolhas de ar entre a cadeira e o autocolante (seguir os critérios de aceitação pela amostra padrão).



8º Clipar tampa frontal na zona indicada conforme foto.



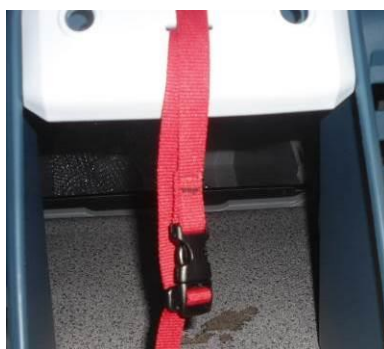
Garantir que a mesma está correctamente aplicada e não cai.



9º Colocar o cinto na cadeira. Passar a ponta pela fivela e fechá-lo passando-o pelo passador, (...)



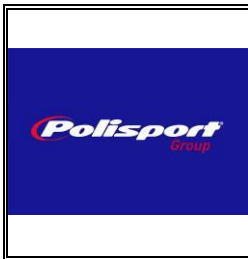
(...) conforme fotos ilustrativas.



10º Aplicar um rivete na ponta do cinto, colocá-lo na máquina e cravá-lo, (...)

ATENÇÃO: O fornecedor terá de garantir que as peças cheguem à Polisport sem riscos nem empenos. Todo o material terá de ser entregue em paletes de tara perdida 1200x800, sendo as mesmas devolvidas no acto de entrega.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA



INSTRUÇÕES DE TRABALHO E CONTROLO

IT Nº 5127

Pág. 3 de 8

<input checked="" type="checkbox"/>	Polisport
<input type="checkbox"/>	Polinter
<input type="checkbox"/>	Polisport Molds
<input type="checkbox"/>	Headgy Helmets

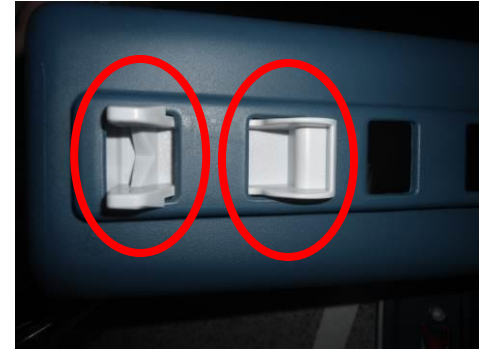
DESIGNAÇÃO: P.BEBÉ BABYSEAT 100 FF – 840640001/4/7/13



(...) ficando conforme fotos.



11º Seguidamente, encaixar os pousa-pés na última posição, conforme foto.



Garantir que aquando encaixe ouve um “click” e as áreas de assinaladas estão conforme foto.



12º Aspecto final da montagem dos pousa-pés.



13º Na cadeira e conforme foto, aplicar 5 velcros machos (ásperos) nas zonas indicadas conforme foto.



14º Seguidamente, na área indicada, conforme foto, colocar a abraçadeira de fixação rápida.



15º Sobre os velcros colocar o estofado da cadeira, conforme foto. **Garantir que o estofado se encontra bem aplicado e que não cai com facilidade.**



16º Prosseguir com a montagem da “buckle”, conforme foto. Encaixar a mesma fazendo pressão de cima para baixo (sentido da seta) até ouvir um “click”.



Depois de ouvir o “click”, deslizar a “buckle” (sentido da seta) para validar que a mesma desliza facilmente.

ATENÇÃO: O fornecedor terá de garantir que as peças cheguem à Polisport sem riscos nem empenos. Todo o material terá de ser entregue em paletes de tara perdida 1200x800, sendo as mesmas devolvidas no acto de entrega.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA



INSTRUÇÕES DE TRABALHO E CONTROLO

IT Nº 5127

Pág. 4 de 8

<input checked="" type="checkbox"/>	Polisport
<input type="checkbox"/>	Polinter
<input type="checkbox"/>	Polisport Molds
<input type="checkbox"/>	Headgy Helmets

DESIGNAÇÃO: P.BEBÉ BABYSEAT 100 FF – 840640001/4/7/13



17º Se o procedimento do passo 11º não acontecer, garantir se o encaixe da “buckle” está correcto e de acordo com foto.



18º Colocar as duas alças do cinto nas aberturas da cadeira, conforme foto.



19º Garantir que as costuras estão voltadas para o exterior, conforme as linhas a vermelho indicativas.



20º No cinto, na alça do lado esquerdo do operador, com um grampo, grampear o saco com chave de umbrako + manual, por esta ordem, conforme foto.



21º Adicionar o autocolante refletor na área indicada conforme foto.

Garantir que não existe bolhas de ar entre a cadeira e o autocolante (seguir os critérios de aceitação pela amostra padrão).



22º TESTE VISUAL DA ABRAÇADEIRA

Verificar a existência das 4 unidades de parafuso na abraçadeira.



23º TESTE FUNCIONAL DA ABRAÇADEIRA E VARÃO.

Seguidamente proceder ao teste da abraçadeira e varão.

Começar com o encaixe do varão, conforme foto.



24º TESTE FUNCIONAL DA ABRAÇADEIRA E VARÃO.

Após encaixe a abraçadeira deverá ficar de acordo com foto. O botão completamente para dentro e não é possível ver o autocolante vermelho.



25º TESTE FUNCIONAL DA ABRAÇADEIRA E VARÃO.

Exemplo de abraçadeira **NOK**. Autocolante vermelho é visível após montagem do varão.

ATENÇÃO: O fornecedor terá de garantir que as peças cheguem à Polisport sem riscos nem empenos.

Todo o material terá de ser entregue em paletes de tara perdida 1200x800, sendo as mesmas devolvidas no acto de entrega.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA



INSTRUÇÕES DE TRABALHO E CONTROLO

IT Nº 5127

Pág. 5 de 8

<input checked="" type="checkbox"/>	Polisport
<input type="checkbox"/>	Polinter
<input type="checkbox"/>	Polisport Molds
<input type="checkbox"/>	Headgy Helmets

DESIGNAÇÃO: P.BEBÉ BABYSEAT 100 FF – 840640001/4/7/13



26º TESTE FUNCIONAL DA ABRAÇADEIRA E VARÃO.

Finalizar o teste com o teste só do botão. Mover o botão para o sentido da seta, para fora, largar e verificar que o botão recolhe e fica de acordo com o passo 24º.

CONTROLO DE PONTOS CRITICOS DE SEGURANÇA



O teste destes passos é necessário realizar em todas as abraçadeiras e varões. Em caso de um ou mais passos desde o 24º, 25º, 26º e 27º não forem positivos, a abraçadeira e/ou varão deverão ser **segregados** para posterior análise.



27º Colocar o varão na cadeira, conforme foto. Colocar 1 abraçadeira de fixação rápida, conforme fotos, e finalizar com uma "laçada".

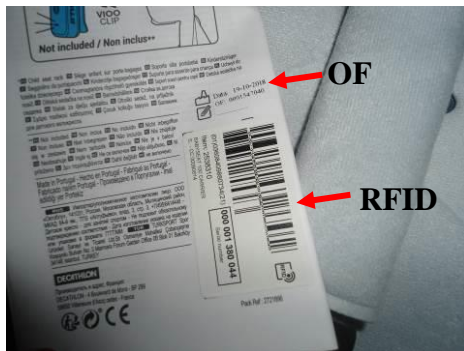


28º Seguidamente, aplicar a passagem de fixação rápida por debaixo da base de fixação e o varão, conforme foto.

Garantir que o excesso da abraçadeira de fixação rápida é cortado e fica sem pontas agressivas.



29º Prosseguir com a colagem do autocolante de 'Ordem de Fabrico' conforme foto, por debaixo do estofo na zona do assento.



30º No manual, colocar o autocolante "RFID" e o de ordem de fabrico conforme foto.



31º **SOMENTE PARA 840640007/13.**

Na frente do manual, colocar o autocolante código de barras Índia, conforme esquema. Poderá tapar linhas, mas nunca texto presente no manual.

ATENÇÃO: O fornecedor terá de garantir que as peças cheguem à Polisport sem riscos nem empenos.

Todo o material terá de ser entregue em paletes de tara perdida 1200x800, sendo as mesmas devolvidas no acto de entrega.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA



INSTRUÇÕES DE TRABALHO E CONTROLO

IT Nº 5127

Pág. 6 de 8

<input checked="" type="checkbox"/>	Polisport
<input type="checkbox"/>	Polinter
<input type="checkbox"/>	Polisport Molds
<input type="checkbox"/>	Headgy Helmets

DESIGNAÇÃO: P.BEBÉ BABYSEAT 100 FF – 840640001/4/7/13

CONTROLO DE PONTOS CRITICOS DE SEGURANÇA

Pontos a verificar:

- » Pousa pés;
- » Não existência de arestas vivas/cortantes;
- » Componentes metálicos isentos de oxidação;
- » Cintos e respetivas costuras;
- » Rebite do cintinho cravado corretamente;

Visualizar vídeo:

<https://polisport.sharepoint.com/ENGENHARIA/Videos/Controlo%20Linha%20PBB/84064%20FF.mp4>



32° Garantir que a buckle encontra-se aberta, conforme foto após validação/controlo final da cadeira.



33° Aspecto final da montagem do sistema de fixação na cadeira.



34° Numa caixa de cartão colocar um separador de cartão na zona indicada pela seta. Iniciar com a colocação de 1 cadeira com a zona dos autocolantes voltadas para o operador.



35° Na 2ª cadeira, conforme foto, colocar um separador de cartão de menores dimensões e posicionar a cadeira de acordo com a 1ª cadeira (encaixada).



36° Finalizar a caixa com a colocação da 4ª cadeira conforme foto **ilustrativa**.



37° Dobrar a aba e "fixar" com fita **DECATHLON** somente na zona de cartão, conforme foto **ilustrativa**.

ATENÇÃO: O fornecedor terá de garantir que as peças cheguem à Polisport sem riscos nem empenos.

Todo o material terá de ser entregue em paletes de tara perdida 1200x800, sendo as mesmas devolvidas no acto de entrega.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA



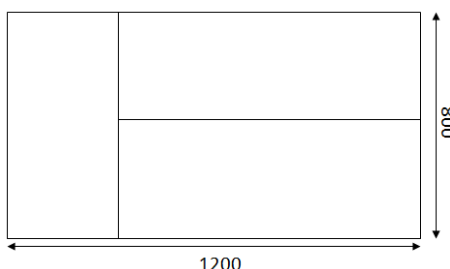
INSTRUÇÕES DE TRABALHO E CONTROLO

IT Nº 5127

Pág. 7 de 8

- Polisport
- Polinter
- Polisport Molds
- Headgy Helmets

DESIGNAÇÃO: P.BEBÉ BABYSEAT 100 FF – 840640001/4/7/13



38° Fechar restante caixa com fita **DECATHLON**. Colar etiqueta largura da caixa sempre do lado direito referenciando quantidade de peças, designação, código Polisport e data de fabrico

39° Na Palete - Colocar 7 caixas por euro palete com a seguinte disposição 3+3+1 deitada.

PLANO DE CONTROLO				
Componente	Critério de aceitação	Inspeção segundo o NQA		Controlo
		Inspeção curso	Inspeção final	
Peças plásticas	Cor uniforme, sem manchas nem queimados.	100%	1	Visual
	Peças sem marcas brancas, ou outras e sem rebarbas.	100%	1	Visual
Peças metálicas	Peças sem riscos, falta de tinta ou marcas de oxidação.	100%	1	Visual
Têxteis	Sem rasgões, sujidade, costuras incompletas e com perfeita adesão entre os dois tecidos.	100%	1	Visual
	Cinto com costuras perfeitas e sem esfiapados.	100%	1	Visual
Manual + Autocolantes + Caixa	Sem falhas de impressão, sem cortes e colagem perfeitos.	100%	1	Visual
Montagem	Verificar que o rivete fica bem cravado	100%	1	Visual/ Funcional
	Verificar que cinto está bem encaixado e não salta fora.	100%	1	Funcional
	Garantir que não existe bolhas de ar na colagem dos autocolantes.	100%	1	Visual
	Garantir que a abraçadeira dos pousa-pés estão bem colocadas e não saem.	100%	1	Visual
	Montagem dos paddings no cinto e existe 1 em cada lado do cinto (no lado esquerdo e direito)	100%	1	Visual
	Fazer o controlo da costura dos cintos.	100%	1	Funcional
	Fazer ensaio funcional à "buckle" do cinto: abre e fecha correctamente e não desaperta só com uma mão.	100%	1	Funcional
	Teste da abraçadeira e varão.	100%		Funcional
Garantir a existência de manual c/RFID e autocolante de OF.	100%	1	Visual	
Peça Individual	De acordo com peça aprovada.	100%	1	Visual
Embalagem colectiva	Quantidade de peças por caixa e disposição correctas.	100%	1	Visual
	Etiqueta correcta no local definido.	100%	1	Visual
	Comparar com OF e estrutura de produto. As peças têm que estar de acordo com o definido nos dois documentos.	100%	1	Visual

Critério de aceitação/rejeição de acordo com peça aprovada.

ATENÇÃO: O fornecedor terá de garantir que as peças cheguem à Polisport sem riscos nem empenos. Todo o material terá de ser entregue em paletes de tara perdida 1200x800, sendo as mesmas devolvidas no acto de entrega.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA



INSTRUÇÕES DE TRABALHO E CONTROLO

IT Nº 5127

Pág. 8 de 8

- Polisport
- Polinter
- Polisport Molds
- Headgy Helmets

DESIGNAÇÃO: P.BEBÉ BABYSEAT 100 FF – 840640001/4/7/13

Aplicável para o Grupo Polisport:

- O campo receção técnica é validado pela QAS na Polinter.
- Definir amostra de inspeção segundo a ITP034 – Inspeção Qualidade
- Para o material rejeitado seguir procedimento obrigatório PO 02 – Controlo do Produto Não Conforme.
- Fichas de segurança dos produtos químicos consultar SharePoint: Sistema de gestão Qualidade - Segurança

GESTÃO DAS ALTERAÇÕES:

Versão	Data	Descrição da Alteração	Versão	Data	Descrição da Alteração
01	22/10/18	Criação do documento (PAC).	06	07/01/20	Inclusão da informação do passo de abraçadeira de fixação rápida na base (Alerta QAS 02/10/19). Inclusão da informação para a variante Índia (autocolante no manual) (PAC).
02	30/04/19	Actualização da IM com o processo de montagem de acordo com linha de montagem. Colocação do vídeo de controlo final da linha. Inclusão da informação de deixar a buckle aberta e novo método de embalamento das cadeiras na caixa final.	07	09/01/20	Actualização da IM com a remoção do antigo passo 4º (desmanchar cintinho e remover passador) e reorganização dos passos de montagem de acordo com a rentabilidade da linha de produção.
03	20/05/19	Atualização do link do vídeo do controlo.	08	16/10/20	Inclusão do código 8406400013 para o cliente INDIA (PAC).
04	10/07/19	Actualização da IM tendo em conta as alterações pedidas na PA20190478 (remoção do passo de colocação dos paddings, esferovite e desmontagem do cintinho vermelho).			
05	25/09/19	Inclusão do teste visual para último check de verificação da existência de 4UN de parafuso na abraçadeira (ACPM125/19).			

ATENÇÃO: O fornecedor terá de garantir que as peças cheguem à Polisport sem riscos nem empenos.

Todo o material terá de ser entregue em paletes de tara perdida 1200x800, sendo as mesmas devolvidas no acto de entrega.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA