



**IPL**

escola superior de tecnologia e gestão  
instituto politécnico de leiria

# **ANÁLISE E MELHORIA DA LINHA DE PRODUÇÃO DE ESPAÇADORES DE BETÃO**

**MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**– PRODUÇÃO INDUSTRIAL**

**PROJETO**

*Bruno Miguel Santos Leal*

**Leiria, março 2024**



(Esta página foi intencionalmente deixada em branco)



# **ANÁLISE E MELHORIA DA LINHA DE PRODUÇÃO DE ESPAÇADORES DE BETÃO**

**MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**– PRODUÇÃO INDUSTRIAL**

**PROJETO**

*Bruno Miguel dos Santos Leal*

Projeto realizado sob a orientação do Professor Doutor Mário António Simões Correia, do Professor Doutor Marcelo Rodolfo Calvete Gaspar e do Professor Jorge Manuel Soares Julião

**Leira, março 2024**



(Esta página foi intencionalmente deixada em branco)



# **Originalidade e Direitos de Autor**

O presente projeto é original, elaborado unicamente para este fim, tendo sido devidamente citados todos os autores cujos estudos e publicações contribuíram para a sua elaboração.

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição de que seja mencionado/a o/a Autor/a e feita referência ao ciclo de estudos no âmbito do qual a/o mesma/o foi realizado, a saber, Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica – Produção Industrial, no ano letivo 2023/2024, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Portugal, e, bem assim, à data das provas públicas que visaram a avaliação destes trabalhos.

# Dedicatória

O caminho para chegar até aqui foi longo e complicado, mas através de muito esforço, dedicação e muitos serões passados junto aos livros e computador posso dar por concluída esta etapa. No final desta etapa, posso concluir que são nas horas e momentos mais complicados que damos valor aos nossos colegas de curso, que nos ajudam nos momentos mais confusos e a toda a nossa família e amigos que nunca nos deixa desistir. Este percurso não foi fácil, sendo que para atingir este patamar, foi preciso conciliar três mundos distintos, o familiar, o profissional e o acadêmico.

Dessa forma, dedico este projeto de mestrado a todos aqueles que nunca me deixaram desistir e aqueles que direta e indiretamente celebram esta etapa ao meu lado.

## **Agradecimentos**

Com a finalização deste projeto, não posso deixar de agradecer a algumas pessoas que, direta ou indiretamente, me ajudaram nesta caminhada tão importante da minha vida pessoal e profissional. Gostaria de dirigir os meus sinceros agradecimentos a todos os elementos da VIPREMI, que se disponibilizaram e facultaram todos os dados práticos para a elaboração do presente projeto, assim como todo o tempo disponibilizado para a recolha dos elementos necessários. Destaco ainda o Engenheiro Nelson Mendes da empresa MainTime pela orientação, disponibilidade e apoio. Queria igualmente agradecer aos Professores Mário António Simões Correia e Marcelo Rodolfo Calvete Gaspar pela disponibilidade durante a elaboração da presente dissertação. Ao Corpo Docente e Não Docente do Instituto Politécnico de Leiria – Escola Superior de Tecnologia e Gestão que fizeram parte do meu percurso académico desde a Licenciatura até ao Mestrado e que, de várias formas, contribuíram para a minha formação, a nível académico e profissional. Por fim, mas não por último, agradeço à minha família, amigos e namorada pelo apoio incondicional prestado e por terem acreditado sempre no meu esforço e empenho.

# Resumo

Atualmente as empresas tem como desafio produzir mais com menos recursos e de forma rápida e eficiente, tendo em conta que os mercados onde estão inseridas é cada vez mais competitivo, e para isso é necessário que as empresas apostem na melhoria contínua dos seus processos produtivos.

O principal objetivo deste projeto consiste na otimização de uma linha de produção de espaçadores de betão, de forma a aumentar a sua produtividade com vista à melhoria continua e consequentemente reduzir os recursos e tempo de produção. Este trabalho teve lugar na Vipremi, uma empresa dedicada ao fabrico e comercialização de elementos pré-fabricados em betão. Com vista a alcançar os objetivos em causa foi desenvolvido um plano para implementação das ferramentas *Lean Manufacturing*.

O projeto foi desenvolvido para uma linha de produção de espaçadores de betão previamente existente, sendo que foram facultados e registados os dados iniciais, de forma a poder otimizar e ir de encontro com os objetivos definidos, nomeadamente os valores de produção diária (12 000 espaçadores de betão) e o tempo de produção de cada espaçador (159 segundos). Após descrição do funcionamento e fluxo da linha inicial, foi realizada uma análise de forma a poder verificar quais os princípios desperdícios assim como formas de os eliminar.

O objetivo consistia na otimização da linha e na eliminação de desperdício, sendo este um aspeto que afeta negativamente a empresa. Foram realizadas alterações à linha de produção com o foco na eliminação dos desperdícios identificados, de forma a tornar o sistema existente num fluxo contínuo e eficiente. Como resultado, foi possível através da implementação das melhorias propostas, o aumento da produção diária de espaçadores de betão para 21 000, redução do tempo de produção para 60 segundos, o que resultou num aumento de produtividade de 75% e ainda uma redução do desperdício de matéria-prima. Estes resultados permitiram assim à Vipremi aumentar a sua produtividade e competitividade. Contudo, como o objetivo do presente projeto é a melhoria continua, foram ainda apresentadas novas alterações de forma a tornar a linha mais eficiente e produtiva.

**Palavras-chave:** *Lean Manufacturing*, melhoria contínua, espaçadores de betão, redução de desperdícios, otimização do processo, fluxo contínuo

# Abstract

Nowadays, the challenge for companies is to produce more with fewer resources and in a fast and efficient way, bearing in mind that the markets in which they operate are increasingly competitive. To achieve this, companies need to invest in the continuous improvement of their production processes.

The main objective of this project is to optimize a concrete spacer production line in order to increase its productivity with a view to continuous improvement and consequently reduce resources and production time. This work took place at Vipremi, a company dedicated to the manufacture and sale of precast concrete elements. In order to achieve the objectives in question, a plan was developed to implement the Lean Manufacturing tools.

The project was developed for a previously existing concrete spacer production line. Initial data was provided and recorded so that it could be optimized and meet the defined objectives, namely the daily production figures (12,000 concrete spacers) and the production time for each spacer (159 seconds). After describing the operation and flow of the initial line, an analysis was carried out to see what the main wastes were and how they could be eliminated.

The aim was to optimize the line and eliminate waste, which is an aspect that negatively affects the company. Changes were made to the production line with a focus on eliminating the waste identified, in order to turn the existing system into a continuous and efficient flow. As a result, by implementing the proposed improvements, it was possible to increase daily production of concrete spacers to 21,000, reduce production time to 60 seconds, which resulted in a 75% increase in productivity and a reduction in raw material waste.

These results have enabled Vipremi to increase its productivity and competitiveness. However, as the aim of this project is continuous improvement, further changes have been made to make the line more efficient and productive.

**Keywords:** Lean Manufacturing, continuous improvement, concrete spacers, waste reduction, process optimization, continuous flow

# Índice

<b>1. Introdução.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Enquadramento.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Objetivo do trabalho .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. Metodologia Utilizada .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4. Estrutura do Projeto .....</b>	<b>3</b>
<b>1.5. Apresentação da Empresa .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Fundamentação Teórica .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1. <i>Lean Manufacturing</i> .....</b>	<b>6</b>
2.1.1. Ferramentas <i>Lean</i> Utilizadas .....	13
<b>3. Linha de Produção de Espaçadores de Betão .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1. Análise do Produto .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2. Linha de Produção Inicial .....</b>	<b>20</b>
3.2.1. Caracterização da Linha de Produção Inicial .....	22
3.2.2. Análise e Síntese de Problemas na Linha de Produção .....	33
<b>3.3. Linha de Produção Atual.....</b>	<b>43</b>
3.3.1. Caracterização da Linha de Produção Atual .....	45
3.3.2. Análise Crítica da Linha de Produção Atual .....	56
<b>3.4. Comparação Linha Inicial vs. Linha Atual.....</b>	<b>71</b>
<b>4. Propostas de Melhoria .....</b>	<b>74</b>
<b>5. Conclusão .....</b>	<b>86</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>91</b>

# Lista de Figuras

Figura 1 - Unidade Fabril Vipremi [3].....	4
Figura 2 - Produtos Vipremi [3] .....	5
Figura 3 - Toyota Production System (TPS) baseado em [7] .....	8
Figura 4 - Cinco princípios do <i>Lean Manufacturing</i> baseado em [10].....	9
Figura 5 - Exemplo dos 3 M's [12] .....	10
Figura 6 - Os 7 desperdícios [13] .....	11
Figura 7 - Esquema Plan-Do-Check-Act baseado em [19].....	16
Figura 8 - Estrutura de betão degradada [22] .....	17
Figura 9 - Aplicação de Espaçadores de Betão [23].....	18
Figura 10 - Régua Z Ondulada em Betão [3] .....	19
Figura 11 - Tarefas associadas aos processos.....	20
Figura 12 - Planta da Linha de Produção Inicial .....	21
Figura 13 - Transportadores de matéria-prima .....	23
Figura 14 - Elevador de Matéria-Prima.....	23
Figura 15 - Depósitos com pesagem.....	24
Figura 16 - Fluxo da matéria-prima até à tremonha .....	25
Figura 17 - Arame antes e após conformação .....	26
Figura 18 - Máquina de Conformação de Arame .....	26
Figura 19 - Aplicação de Desmoldante .....	27
Figura 20 - Esquema do Botão de Pressão .....	28
Figura 21 - Componentes Molde .....	29
Figura 22 - Representação do molde cheio com base de desmoldação .....	29
Figura 23 - Fluxo do Molde.....	30
Figura 24 - Zona de Transportadores de Correntes .....	31
Figura 25 - Espaçadores de Betão Desmoldados.....	32
Figura 26 - Palete de Espaçadores de Betão para Expedição .....	32
Figura 27 – Fluxograma da linha de produção de espaçadores de betão .....	33
Figura 28 - Movimento Desnecessário (alterar) .....	34

Figura 29 - Transporte Desnecessário .....	35
Figura 30 - Centro de Trabalho N°1 .....	38
Figura 31 - Centros de Trabalho Linha de Produção Atual.....	43
Figura 32 - Planta da Linha de Produção Atual .....	44
Figura 33 - Centros de Trabalho .....	45
Figura 34 - Estrutura Móvel.....	46
Figura 35 - Início de Linha.....	47
Figura 36 - Lubrificação Molde .....	47
Figura 37 - Centro 1 (1° Enchimento).....	48
Figura 38 - Plataforma de Enchimento .....	49
Figura 39 - Molde com Reforço (Vista Planta).....	49
Figura 40 - Fim da Zona de Enchimento.....	50
Figura 41 - Zona de Empilhamento.....	51
Figura 42 - Entrada/ Saída Zona de Cura.....	52
Figura 43 - Ferramenta de desmoldagem .....	53
Figura 44 - Paletização dos Espaçadores de Betão .....	54
Figura 45 - Palete de Espaçadores de Betão Finalizada .....	55
Figura 46 - Linha de Produção Contínua .....	57
Figura 47 - Centro de Trabalho N°1 .....	61
Figura 48 - Centro de Trabalho N°2.....	61
Figura 49 - Centro de Trabalho N°3 .....	62
Figura 50 – Gabarito .....	67
Figura 51 - Controlo da Paletização.....	70
Figura 52 - Tabuleiros de retenção.....	70
Figura 53 - Ferramenta Gestão Visual [32].....	75
Figura 54 - Sensores de Nível na Tremonha .....	76
Figura 55 - Sensores de Nível no Balde Doseador.....	76
Figura 56 - Pesagem do Molde .....	78
Figura 57 - Sem-Fim Existente .....	78
Figura 58 - Sem-Fim Passo Duplo .....	79

Figura 59 - Substituição do Operador pelo Robot .....	80
Figura 60 - Ferramenta em Contacto com o Arame .....	81
Figura 61 - Espaço Trabalho Robot.....	82
Figura 62 - Layout Otimizado .....	83
Figura 63 - Molde.....	84
Figura 64 - Vista Explodida Molde .....	85

# Lista de tabelas

Tabela 1 - Características Espaçador de Betão [3].....	19
Tabela 2 - Componentes de Espaçador de Betão .....	20
Tabela 3 - Horário de Funcionamento da Linha de Produção .....	22
Tabela 4 - Tempos de Operação.....	40
Tabela 5 - Tempos de Operação da Linha Atual.....	64

## Lista de siglas e acrónimos

APEB	Associação Portuguesa das Empresas de Betão
DMAIC	Definir, Medir, Analisar, Melhorar, Controlar
ESTG	Escola Superior de Tecnologia e Gestão
N <sub>CT</sub>	Número de Centros de Trabalho
LERC	<i>Lean Enterprise Research Centre</i>
MIT	<i>Massachusetts Institute Of Technology</i>
TC	Tempo de Ciclo
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
TPS	<i>Toyota Production System</i>



# 1. Introdução

O presente relatório de projeto foi desenvolvido no âmbito do curso do Mestrado em Engenharia Mecânica – Produção Industrial do Instituto Politécnico de Leiria – Escola Superior de Tecnologia e Gestão (ESTG). O projeto tem como tema a análise e melhoria de uma linha de produção de espaçadores de betão, usando ferramentas de melhoria contínua, numa empresa do setor de fabrico e comercialização de elementos pré-fabricados em betão. No presente capítulo será apresentado o objetivo do projeto, assim como a motivação que levou ao mesmo, objetivos do trabalho, metodologia de investigação adotada e técnicas utilizadas e por último a estrutura do projeto.

## 1.1. Enquadramento

Tendo por base dados fornecidos pela Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto (APEB), pode-se afirmar que nos últimos trinta anos em Portugal, a quantidade de betão produzido em 2020 encontra-se ao mesmo nível que as quantidades produzidas em 1996, sendo que no mesmo intervalo de tempo existiram variações de produção entre os 12 milhões de metros cúbicos e os 2 milhões de metros cúbicos [1]. A enorme variação entre os valores apresentados demonstra o quão resilientes as empresas têm de ser de forma a garantir a sustentabilidade ao longo do tempo e, igualmente, quão bem preparadas devem estar para se alterarem ou modificarem consoante as exigências do mercado. Dessa forma, para qualquer empresa deste ramo permanecer no mercado é fundamental otimizar o seu processo produtivo. A empresa tem que ter a capacidade de redução de custos associados à produção, como por exemplo a diminuição dos desperdícios de matéria-prima, diminuição do tempo de produção, assim como a iniciativa em implementar melhorias constantes e contínuas, como por exemplo implementar metodologias *Lean Manufacturing*.

O conceito de *Lean Manufacturing* é simples sendo que o mesmo consiste basicamente em eliminar os “desperdícios” do processo de fabrico. Os desperdícios aqui indicados consistem em qualquer tipo de atividade que não apresenta valor para a empresa. De acordo com um estudo realizado pela *Lean Enterprise Research Centre* (LERC), cerca de 60% das atividades de produção são desperdícios [2]. Contudo, pelo lado positivo, significa que a maioria das empresas têm muita oportunidade para reduzir os desperdícios aplicando técnicas e melhores

práticas de fabrico. As técnicas de *Lean Manufacturing* têm como principal objetivo e benefício o aumento de produtividade e eficiência, de forma a garantir que as empresas permaneçam competitivas e sobrevivam às crises de um mercado inconstante [2].

A Vipremi - Fabricação de Produtos em Betão, Lda. é uma empresa dinâmica portuguesa, localizada na zona Industrial de Ourém, dedicada à fabricação e comercialização de elementos pré-fabricados em betão, que pretende fornecer aos seus clientes produtos com elevado nível de exigência. A empresa em causa encontra-se inserida num mercado específico de produção de segmentos do sector da construção civil, nomeadamente a cofragem, a impermeabilização e os acabamentos. Pelo fato da empresa estar inserida num mercado específico a mesma é sempre desafiada pelo meio relativamente a aspetos de eficiência de produção, valor e quantidade. Atualmente, a empresa em causa possui a visão de produzir soluções ao setor de construção promovendo uma conduta empresarial e ambiental responsável, centrando-se na otimização das linhas de produção [3].

Este projeto foi desenvolvido tendo em conta o contexto apresentado, com o foco na implementação de processo de trabalho, nomeadamente *Lean Manufacturing* e na identificação e eliminação de desperdícios que não acrescentam valor ao produto, na linha de produção de espaçadores de betão.

## 1.2. Objetivo do trabalho

Tendo em conta o contacto realizado pela empresa de trabalho Vipremi, foi imediatamente verificado que o principal objetivo da empresa seria a otimização da linha de produção de espaçadores de betão de forma a aumentar a produtividade, reduzir o desperdício de matérias-primas (produto não passível de ser comercializado) e na gestão de recursos humanos. Pretende-se com este caso aplicar os princípios do *Lean Manufacturing* e os de gestão e organização de trabalho.

Dessa forma, o principal objetivo será a otimização da linha de produção de espaçadores de betão, de forma a aumentar a sua produtividade (50%) com vista à melhoria continua. Para cumprir com o objetivo principal será igualmente atingido um objetivo parcial e resultante da aplicação de medidas de otimização da linha de produção, nomeadamente:

- Reduzir os desperdícios na linha de produção, matérias-primas, recursos humanos e tempo de produção.

### **1.3. Metodologia Utilizada**

Com o intuito de alcançar os objetivos previamente definidos, a metodologia utilizada para a execução deste projeto fundamentou-se no método DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar) que compreende cinco fases distintas.

A primeira etapa envolve a familiarização (Definir) com o setor, o produto e a matéria-prima, juntamente com a identificação dos fatores que exercem influência sobre o processo.

A segunda etapa, consiste na descrição detalhada do processo e da linha de produção de espaçadores de betão, incluindo a recolha de indicadores e dados diretamente do chão de fábrica (Medir).

A terceira etapa correspondeu à análise aprofundada do processo (Analisar), abordando os desperdícios gerados, os movimentos/transporte desnecessários e ainda o layout da linha de produção.

Na quarta etapa realizou-se o projeto da nova linha de produção, tendo em vista a resolução dos problemas detetados nas etapas anteriores. Sendo posteriormente, realizado uma comparação entre as linhas de produção (Melhorar).

Na quinta e última etapa, foram propostas ações de melhoria, destacando a aplicação de ferramentas de qualidade, iniciativas de manutenção e métodos para controlar e garantir a continuidade das práticas de melhoria contínua (Controlar).

### **1.4. Estrutura do Projeto**

Este projeto será composto por quatro capítulos, sendo que inicia com o presente capítulo, onde é apresentada uma introdução ao projeto, assim como os objetivos, métodos e técnicas de investigação, terminando com uma pequena apresentação da empresa onde está localizada a linha de produção a otimizar.

No segundo capítulo será realizada uma apresentação dos conceitos teóricos sobre as metodologias *Lean Manufacturing*. No terceiro capítulo será apresentada a linha de produção, assim como a descrição do processo inicial e após primeira otimização da linha. Será igualmente realizada uma análise crítica à situação da linha de produção inicial, nomeadamente caracterização e identificação dos problemas da linha existente assim como após primeira alteração. No quarto capítulo serão apresentadas as propostas de melhorias à linha de produção assim como analisados os principais resultados e vantagens da

implementação do projeto em si. No último capítulo serão apresentadas as conclusões do presente projeto.

## 1.5. Apresentação da Empresa

A Vipremi é uma empresa dedicada ao fabrico e comercialização de elementos pré-fabricados em betão, direcionando o seu mercado para o sector da construção civil, nomeadamente para a cofragem, impermeabilização e acabamentos. A empresa encontra-se sediada na zona Industrial de Ourém, dando-lhe assim vantagem relativamente ao acesso e localização. Atualmente é composta por três unidades fabris diferentes, na Figura 1 está apresentada a sede.



Figura 1 - Unidade Fabril Vipremi [3]

A empresa possui como missão a “*fabricação de peças em betão para as áreas da cofragem, da impermeabilização e dos acabamentos, com vista a garantir os elevados níveis de exigência e de performance.*”, tendo sempre a visão de criar soluções para o seu mercado alvo. Dessa forma, define como valores base a confiança dos colaboradores, clientes e fornecedores, o profissionalismo na obtenção de resultados, a inovação constante, a sustentabilidade e a responsabilidade ambiental constante.

Ao longo dos anos a Vipremi tem vindo a destacar-se no setor da construção pré-fabricada. Os pré-fabricados de betão são estruturas pré-moldadas produzidas em ambiente controlado, dessa forma, é garantido ao mesmo uma maior qualidade e precisão.

Atualmente a empresa possui uma vasta listagem de produtos, produzidos através de técnicas avançadas e equipamentos modernos, nomeadamente elementos estruturais como vigas, pilares, lajes, painéis de fachada, entre outros, como se pode verificar na Figura 2.



**Figura 2 - Produtos Vipremi [3]**

Como referido anteriormente o mercado-alvo são os profissionais da construção civil, como empreiteiros, arquitetos, engenheiros e construtores. A empresa oferece os seus serviços e produtos para aqueles que estão envolvidos na conceção, planeamento e construção de projetos de infraestrutura, edifícios comerciais, residenciais, industriais e outros empreendimentos.

A empresa está preparada para integrar projetos de diferentes tamanhos e complexidades, adaptando-se às necessidades específicas de cada cliente. A grande vantagem do uso de pré-fabricados de betão é que estes proporcionam rapidez na execução, economia de recursos e durabilidade, que aliados à sua resistência, versatilidade e facilidade de instalação, estes têm cada vez mais procura garantindo maior eficiência no trabalho [3].

## 2. Fundamentação Teórica

No presente capítulo é realizado um enquadramento dos fundamentos teóricos necessários à elaboração deste projeto, em função da melhoria contínua.

Durante o desenvolvimento e realização do projeto foram implementadas melhorias à linha de produção, algo realizado pela empresa MainTime juntamente com o estudante, e ainda apresentadas algumas propostas de melhoria tendo por base a melhoria contínua. De seguida será efetuada uma revisão bibliográfica, iniciando-se pela metodologia *Lean Manufacturing*, focando-se no que consiste e nos seus princípios, e aprofundando o conhecimento de algumas das ferramentas que foram usadas na melhoria contínua da presente linha de produção de espaçadores de betão.

### 2.1. *Lean Manufacturing*

A meados do século 20 surgiu o conceito de fabricação *Lean*, derivado do *Toyota Production System* (TPS). O conceito *Lean* tem como princípio a definição de um valor a um produto no ponto de vista do consumidor final e melhorar continuamente o processo produtivo de forma que esse valor seja entregue, sendo que para isso sejam eliminados todos os desperdícios e tarefas que não contribuem para o valor do produto final.

Por outras palavras o conceito *Lean* está centrado em dar o maior valor ao produto com o menor trabalho possível, ou seja, fornecer ao consumidor final um produto através de um processo produtivo sem qualquer tipo de desperdício.

De forma a compreender o conceito, será melhor voltar à sua origem, início da fabricação moderna. Henry Ford foi o primeiro homem a criar um sistema de produção, denominado por “*mass-production*”, onde eram fabricadas grandes quantidades de produtos padronizados. Dessa forma, foi criado o que mais tarde se denominou por produção em fluxo, que significa uma produção com movimentos contínuos [4].

Henry Ford utilizou este processo pela primeira vez na fabricação e montagem dos veículos, de forma a montar componente em poucos minutos, processo que anteriormente demorava horas ou mesmo dias. Este processo conseguiu permitir à *Ford Motor Company* uma produção de 15 milhões de carros *Model T* em 19 anos. A cadeia de montagem, introduzida em 1913, fazia com que o chassis do veículo, que estava numa linha, se deslocasse e os

operadores unicamente montavam as peças. Cada tarefa realizada tinha um tempo específico para execução o que fazia com que o processo obtivesse a máxima produtividade.

Se compararmos a produção da quantidade de veículos produzidos, antes e após a implementação da linha de produção estamos a falar que no ano de 1909, antes da linha de produção, foram produzidos 17 700 veículos e em 1923, 10 anos após implementação da linha, foram produzidos 1 817 891 veículos [5].

Na Segunda Guerra Mundial, os militares começaram a adotar o sistema de produção em massa de *Ford*, tornando o sistema mais conhecido mundialmente.

No ano de 1926, Sakichi Toyoda criou a *Toyoda Automatic Loom Works*, contudo unicamente em 1945, iniciou a sua procura pela construção em grande escala de veículos. Nesta altura, foi necessário repensar o sistema de produção existente no Japão, sendo que o sistema de produção dos Estados Unidos estava muito mais avançado. Desta forma foi iniciado os planos para implementação de um sistema produtivo sistemático de identificação e eliminação perdas [6].

A primeira fase no desenvolvimento da melhoria do sistema de produção japonês foi a análise do sistema de produção *Ford*, contudo foi rapidamente identificado um problema no sistema, a produção em massa unicamente produz um tipo de veículo. O mercado japonês era muito pequeno e diversificado, ou seja, não poderiam implementar um sistema de produção que não iria ter em conta os clientes.

Dessa forma, foi desenvolvido um sistema de produção que em vez de unicamente dar voz à quantidade de produto produzido daria voz ao cliente, TPS.

O sistema TPS foi criado com base em dois conceitos, o primeiro denominado por "*Jidohka*", que traduzido significa "automação com um toque humano", ou seja, se ocorrer algum problema o equipamento para imediatamente, fazendo com que não sejam criados produtos defeituosos e ainda implementar medidas para corrigir esses mesmos erros, mantendo sempre a elevada qualidade. O segundo denomina-se por "*Just-in-Time*", que traduzido significa "mesmo a tempo", ou seja, cada processo produz unicamente o que é necessário para o próximo processo em fluxo contínuo evitando assim o desperdício. Na Figura 3 está apresentado o sistema TPS [4].

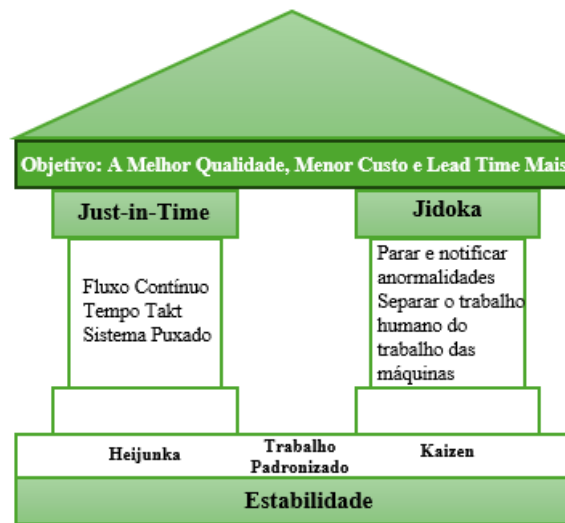


Figura 3 - Toyota Production System (TPS) baseado em [7]

Em 1990, foi lançado o livro “*The Machine that Changed the World*” por de James P. Womack, Daniel T. Jones e Daniel Roos, onde foi publicado pela primeira vez o termo “*Lean*”. O livro apresentava um estudo sobre a indústria automobilística mundial, realizado pelo *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) e referia-se a este tipo de produção como *Lean Manufacturing* [8].

Em 1996, Womack e Jones [9], propuseram que o processo *Lean* deveria de ser composto por cinco etapas, ou melhor, cinco princípios, Figura 4:

- Princípio 1: Valor (Identificar o valor do produto do ponto de vista do cliente);
- Princípio 2: Fluxo de valor (Identificar a cadeia de valor dos produtos e remover as etapas que não criam valor ao mesmo);
- Princípio 3: Fluxo Contínuo (Criar um sistema onde as etapas que criam valor estejam ligadas);
- Princípio 4: Produção Puxada (Fazer com que a produção seja puxada pela procura);
- Princípio 5: Busca da Perfeição (Gerir em direção à perfeição).



Figura 4 - Cinco princípios do *Lean Manufacturing* baseado em [10]

Para além dos princípios do *Lean*, para a melhoria contínua, terão de ser igualmente analisados três termos que podem prejudicar a empresa na procura de um melhor desempenho. Esses fatores são conhecidos como os 3 M's (Muda, Mura e Muri) e descrevem as práticas que geram desperdício, descritas abaixo:

- **Muda**

Corresponde a qualquer tipo de atividade realizada no processo produtivo que não cria valor para o cliente e consome recursos.

Nesta prática é necessário fazer uma análise relativamente ao tipo de Muda, sendo que pode ser do tipo 1, que correspondem às atividades que não podem ser rapidamente eliminadas, por fazerem com que o produto final tenha uma certa qualidade. Por sua vez um Muda do tipo 2 já corresponde a atividades que podem ser rapidamente eliminadas ou substituídas por outras.

Para o Muda foi criado uma lista com os 7 desperdícios mortais, que correspondem aos sete tipos de desperdícios que devem ser eliminados, sendo abordados mais a frente.

- **Mura**

Esta prática prende-se na falta de regularidade no sistema de produção. Ou seja, a existência de picos de trabalho, existindo alturas em que os operadores estão sobrecarregados com o trabalho de forma a acharem que não conseguem fazer tudo e alturas em que estão a aguardar por novas tarefas/trabalhos.

- **Muri**

Esta prática corresponde na sobrecarga dos equipamentos e/ou operadores. Onde é exigido aos operadores um ritmo de trabalho intenso, com elevada força e/ou esforço, de forma, a que naquele período de tempo o mesmo não seja possível de suportar [11].

Na Figura 5 está apresentado um exemplo simples e pratico dos 3M's, de forma a poder verificar a sua aplicabilidade e analisar como podemos eliminar os mesmos num processo produtivo.

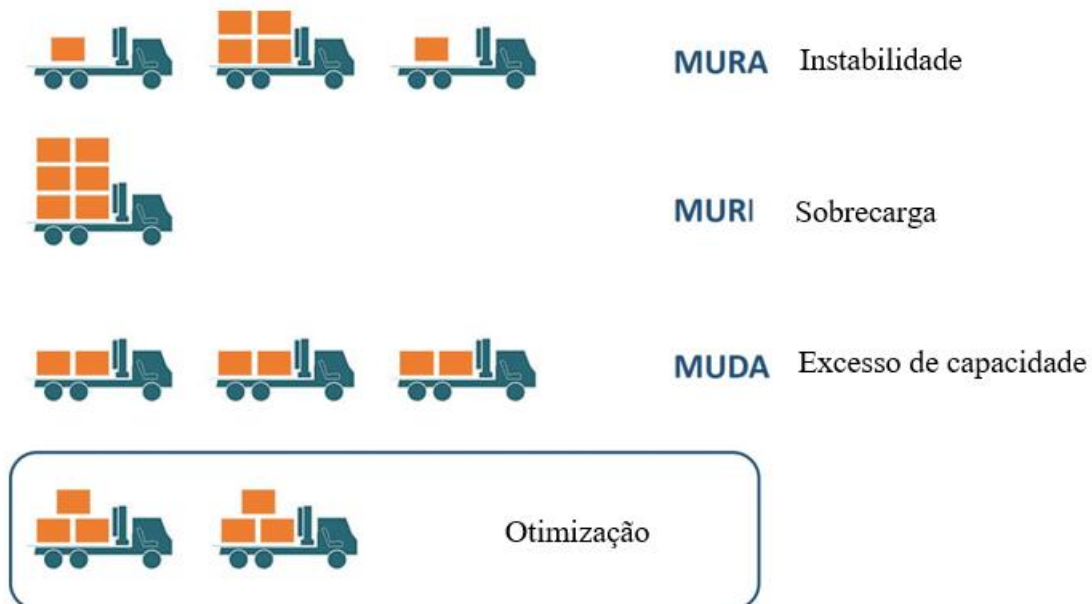


Figura 5 - Exemplo dos 3 M's [12]

Como foi indicado acima, o Muda é composto por uma lista de 7 desperdícios mortais, sendo que para qualquer tipo de melhoria da linha de produção os mesmos devem ser analisados.

Este conceito dos 7 desperdícios foi pioneiramente desenvolvido por Taiichi Ohno. Na Figura 6 estão apresentados os 7 desperdícios. Posteriormente é apresentada uma explicação de cada um dos desperdícios.



Figura 6 - Os 7 desperdícios [13]

## 1 – Sobreprodução

Este primeiro desperdício consiste na produção desnecessária de produto. Cada etapa do processo deve unicamente produzir o necessário ou suficiente para dar continuidade ao processo produtivo.

Este desperdício foi apresentado em primeiro devido ao mesmo resultar em outros tipos de desperdícios, nomeadamente a criação de *stocks*, o aumento de transportes e recursos desnecessários.

## 2 – Tempos de Espera

Como indicado anteriormente, um dos objetivos do sistema *Lean* é que todos os processos ocorram em fluxo contínuo, como analisado na Figura 4, os tempos de espera acontecem quando o fluxo não é contínuo.

Este desperdício ocorre sempre que um equipamento ou operador esteja parado, independente do motivo (exemplo: espera de material). Contudo, em termos práticos, existem sempre tempos de espera inevitáveis, nesses casos, o objetivo será sempre reduzir os mesmos.

### **3 – Processamento desnecessário (Sobreprocessamento)**

Este desperdício está relacionado com a realização de operações ou procedimentos que não geram valor ao produto. Este desperdício prende-se às funções desnecessárias (por exemplo: funções que faziam parte do processo produtivo antigo e que atualmente não geram qualquer tipo de valor ao produto).

### **4 – Inventário/Stock**

Este desperdício está relacionado com produtos concluídos armazenados internamente. Se o produto não é consumido, quer pelo consumidor final quer pela fase seguinte do processo produtivo, é criado um *stock*, que é um dos principais indicadores de um sistema com problemas.

O *stock* pode ser muitas vezes visto como uma mais-valia, nomeadamente considerado como uma segurança caso haja uma quebra ou mesmo problemas produtivos ou falhas nas matérias-primas, contudo produto armazenado apresenta um custo financeiro e não gera lucro à empresa.

### **5 – Transporte desnecessário**

Se for analisada a logística do trabalho, é evidente que o transporte corresponde a um custo elevado, quer seja internamente quer seja externamente.

Este desperdício ocorre sempre que um operador, equipamento ou produto realize movimentos desnecessários, criando um desperdício em termos de tempo e não adiciona qualquer tipo de valor ao produto.

## **6 – Movimentos desnecessários**

No seguimento do desperdício apresentado acima, é considerado como desperdício qualquer tipo de movimentos desnecessários realizados pelo operador ou equipamento que levarem a um aumento do tempo de execução das tarefas sem aumentar no valor do produto. Para um sistema de produção ideal, os únicos movimentos realizados na linha de produção estão ligados à produção e não transporte.

## **7 – Produção Defeituosa**

Num processo produtivo ideal, não existe este tipo de desperdício, sendo que o produto é produzido corretamente à primeira vez, contudo, isso não acontece num processo real.

Este desperdício é considerado o de maior impacto, pois caso exista, leva a diversos custos nomeadamente o tempo de correção ou mesmo para produção de um novo e o custo direto da perda do produto [14].

### **2.1.1. Ferramentas *Lean* Utilizadas**

São várias as ferramentas *Lean*, contudo tendo em conta o objetivo definido para este projeto, neste capítulo serão unicamente abordadas as ferramentas que direta ou indiretamente serão fundamentais para a otimização da linha de produção.

### **Trabalho Padronizado**

A prática do trabalho padronizado tem por base a execução de tarefas ou processos da forma mais consistentes e padronizada. O que quer dizer que todas as fases do processo, incluindo as mais críticas, serão realizadas de forma consistente e otimizada.

Uma das formas de aplicação da presente ferramenta é a elaboração de instruções de trabalho, otimizadas, de forma a fornecer aos operadores a forma mais eficiente para a elaboração de qualquer tipo de tarefa [15].

## 5 S

Originária do Japão, esta ferramenta provém de 5 palavras iniciadas por S, sendo estes os cinco sentidos, *Seiri* (Utilização), *Seiton* (Organização), *Seiso* (Limpeza), *Seiketsu* (Padronização) e *Shitsuke* (Autodisciplina).

Esta ferramenta tem como objetivo a eliminação dos desperdícios e maximização do processo, através da identificação do que é essencial e dispensável.

O *Seiri* baseia-se na distinção do que é útil do que não é, organizando assim o local de trabalho de forma a garantir que tudo o que é dispensável é retirado, evitando distrações.

O *Seiton* consiste na organização da área de trabalho, no sentido a que tudo deve estar no local certo e devidamente identificado, para uma fácil aplicação e utilização.

O *Seiso* é algo que está diretamente relacionado com os operadores, sendo que consiste na limpeza/organização do local de trabalho. Se o local de trabalho estiver limpo existirá um melhor desempenho e um ambiente mais agradável para toda a equipa.

O *Seiketsu* consiste em algo que fará com que os primeiros três sentidos apresentados, após implementação, não voltem a trás, fazendo com que tudo o que seja desenvolvido seja mantido, através de regras ou mesmo rotinas, por exemplo.

O *Shitsuke* tem como o objetivo de promover a continuação do processo, de forma que os operadores possam intervir e ajudar na melhor gestão, fazendo como que resultados sejam favoráveis [16].

### ***Kaizen***

Originado no Japão, significa melhoria contínua, o que indica rapidamente o seu propósito. Este tipo de ferramenta é fundamental para o sucesso de uma empresa ao longo do tempo, sendo que uma vez implementada fará com que exista sempre uma procura pela melhoria contínua.

Esta ferramenta é composta por nove princípios [17], sendo os mesmos:

1. Aprender com a prática;
2. Eliminar qualquer tipo de desperdício;
3. Todos devem fazer parte do processo de melhoria;

4. De forma a atingir uma maior produtividade devem ser realizadas ações e não investimento de capital;
5. Esta ferramenta deve ser aplicada em todos os locais;
6. Todas as melhorias obtidas através da aplicação do método devem ser partilhadas de forma a todos saberem que o esforço está a ser compensado;
7. Deve ser identificado o local com maior necessidade e começar pelo mesmo;
8. As ações implementadas devem ser sempre direcionadas para a melhoria dos processos;
9. Dar prioridade igualmente na melhoria das pessoas.

### ***Plan-Do-Check-Act***

Esta ferramenta é composta por quatro passos, e é utilizada para a melhoria contínua e controlo dos processos produtivos e de produtos, Figura 7:

***Plan*** (Planear) – identificar os objetivos que pretendem atingir com a implementação da ferramenta e todos o procedimento/etapas que deveremos realizar para o atingir os mesmos;

***Do*** (Fazer) – Iniciar a implementação e execução dos procedimentos/etapas definidas anteriormente;

***Check*** (Verificar) – Analisar os resultados obtidos bem como a verificação da implementação de todos os procedimentos/etapas. Identificando assim aspetos que criaram problemas para atingir os objetivos ou por outro lado verificar se os mesmos foram atingidos;

***Act*** (Agir) – Caso os resultados obtidos não estejam de acordo com os determinados, implementar ações corretivas. Caso os objetivos tenham sido alcançados, devem ser realizadas ações de padronização do processo [18].

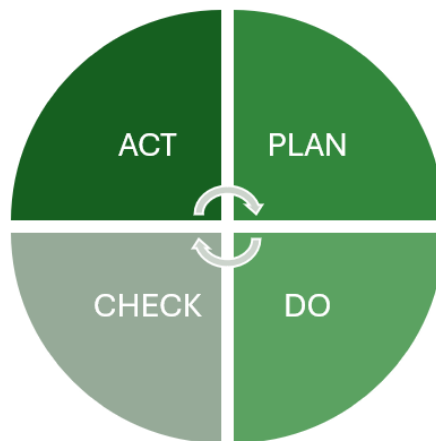


Figura 7 - Esquema Plan-Do-Check-Act baseado em [19]

### Manutenção Produtiva Total (TPM)

O sistema *Lean Manufacturing* tem sempre tentado integrar a ferramenta TPM na sua vasta listagem de ferramentas, com o objetivo de alcançar uma maior estabilidade.

Como explicado anteriormente o *Lean Manufacturing* assenta-se em dois pilares o *Just in Time* e o *Jidohka*, contudo estes dois precisam de ser sustentados na previsibilidade de funcionamento de um processo produtivo, entrando aí os princípios da ferramenta TPM.

A ferramenta tem como objetivo a minimização dos erros e falhas, implementando uma manutenção produtiva total. Esta ferramenta tem como foco a manutenção de equipamentos de forma a aumentar a quantidade de produtos fabricados sem existirem produtos com defeito [20].

### Gestão Visual

A ferramenta *Andon* é comum em ambientes de produção para destacar visualmente problemas, interrupções ou anomalias durante o processo de fabricação/produção. Esta geralmente consiste em luzes coloridas, *displays* ou outros indicadores visuais colocados estrategicamente ao longo da linha de produção. Assim que ocorre qualquer tipo de problema, é acionado o sistema *Andon* para alertar a necessidade de supervisão/manutenção imediata, permitindo uma resposta rápida e eficaz para minimizar o tempo de inatividade e maximizar a eficiência da produção [21].

### 3. Linha de Produção de Espaçadores de Betão

No presente capítulo será apresentada a linha de produção de espaçadores de betão desde o ponto de partida até à linha existente atualmente na empresa Vipremi. Esta será alvo de uma análise e otimização ao longo do presente projeto.

O processo de otimização será apresentado por duas fases, a primeira fase consiste numa alteração estrutural de *layout*, já a segunda fase será composta por uma avaliação e consequente otimização dos fatores limitantes da mesma.

#### 3.1. Análise do Produto

Como apresentado anteriormente, a Vipremi produz vários produtos, nomeadamente espaçadores de betão.

Os espaçadores de betão são importantes para a construção, tendo o papel de garantir a distância adequada entre armação de ferro e a cofragem. Dessa forma, os espaçadores irão influenciar a qualidade e durabilidade das estruturas de betão, sendo que previnem problemas de corrosão, desalinhamento e mau posicionamento da armação de ferro e ainda garantem uma espessura correta de revestimento da armação.

Os espaçadores são igualmente importantes para a resistência e estabilidade da estrutura garantindo que as forças sejam distribuídas igualmente.

Como indicado em cima, os espaçadores irão atuar num dos maiores problemas nas estruturas de betão, a oxidação. A oxidação é influenciada pelas condições atmosféricas, sendo que as mesmas aceleram o processo de corrosão e levam à degradação das estruturas de betão, como se pode verificar na Figura 8.



Figura 8 - Estrutura de betão degradada [22]

Em seguida serão apresentados vários cenários onde é mais propício a oxidação e igualmente onde será fundamental a implementação de espaçadores.

- **Ambientes marítimos:** Regiões próximas do mar, ou seja, regiões onde existe maior concentração de sal no ar.
- **Regiões com altos níveis de poluição:** Locais com alta concentração de poluentes atmosféricos, como áreas industriais ou cidades com tráfego intenso.
- **Ambientes com alta humidade:** Lugares com alta humidade constante, como áreas tropicais ou regiões com elevado índice pluviométrico.
- **Estruturas enterradas ou submersas:** Elementos de betão subterrâneos, como fundações, ou estruturas submersas, como piscinas ou reservatórios.

Concluindo, os espaçadores são importantes para garantir a integridade estrutural, prolongar a vida útil e garantir a segurança das construções de betão, nomeadamente em edifícios críticos, como hospitais, pontes ou prédios, sendo que os mesmos exigem altos níveis de segurança e durabilidade. Este tipo de construções devem receber uma atenção especial para prevenir a corrosão e garantir a integridade estrutural ao longo do tempo. Na Figura 9 está representada o modo de aplicação dos espaçadores de betão.



**Figura 9 - Aplicação de Espaçadores de Betão [23]**

Na Vipremi são produzidos três tipos de espaçadores de betão: Régua Z ondulada em betão, Régua Z lisa em betão e Régua direita em betão.

A base ondulada que reduz a superfície de contacto com a cofragem e a estabilidade garantida através da sua forma em Z, fazem com que o espaçador Régua Z ondula em betão seja o mais utilizado. Este espaçador é utilizado em armaduras horizontais tal como em pavimentos, vigas e estruturas pesadas.

É no espaçador de Régua Z 50 ondulada em betão que nos vamos focar ao longo do projeto. Este é um produto com bastante utilização e consequentemente de elevada produção. Posto isto, é importante fazer a análise da linha de produção e conseguir observar qualquer oportunidade de melhoria. Na Figura 10 e Tabela 1, podem-se observar o espaçador com a forma Z e a base ondulada tal como referido anteriormente, assim com as suas características físicas nomeadamente dimensões.

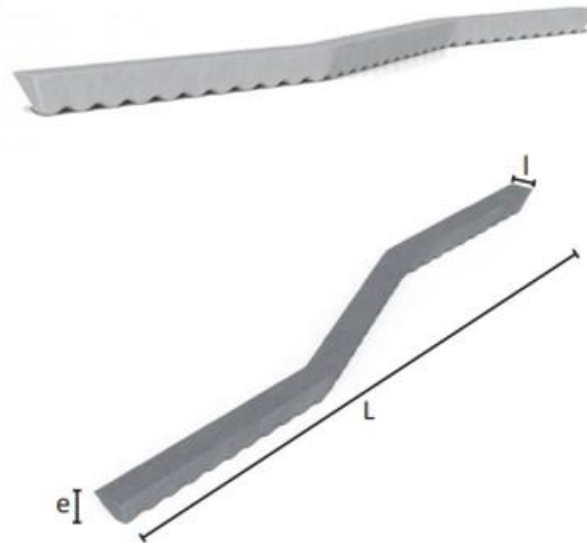


Figura 10 - Régua Z Ondulada em Betão [3]

Tabela 1 - Características Espaçador de Betão [3]

Designação	Dimensões (e x I x L)	Peso un. (kg)
Régua Z Ondulada 50	50 x 35 x 800	1,860

Relativamente à composição do espaçador Régua Z Ondulada em betão, tentou-se encontrar a melhor combinação dos componentes, sem comprometer as propriedades mecânicas deste. Previamente, a empresa Vipremi realizou vários ensaios/testes mecânicos, de forma a obter as fórmulas/percentagens de componentes que obtenham os melhores resultados. A percentagem de componentes em que se verificou melhor comportamento vs. custo encontra-se exposta na Tabela 2.

Tabela 2 - Componentes de Espaçador de Betão

<b>Espaçador Régua Z ondulada em Betão</b>	
<b>Componentes</b>	<b>Quantidade (%)</b>
Leca	3
Aditivo	6
Cimento	15
Brita 0.5	11
Brita 0.25	19
Areia	37
Água	8
Aditivo Plastificante	1

### 3.2. Linha de Produção Inicial

Neste capítulo será descrita a linha de produção de espaçadores de betão inicial, sem qualquer tipo de melhoria.

A linha de produção inicial é composta por dois centros de trabalho, enchimento e paletização.

Em cada um dos centros de trabalho existem tarefas associadas, que serão descritas posteriormente com maior detalhe, na Figura 11.

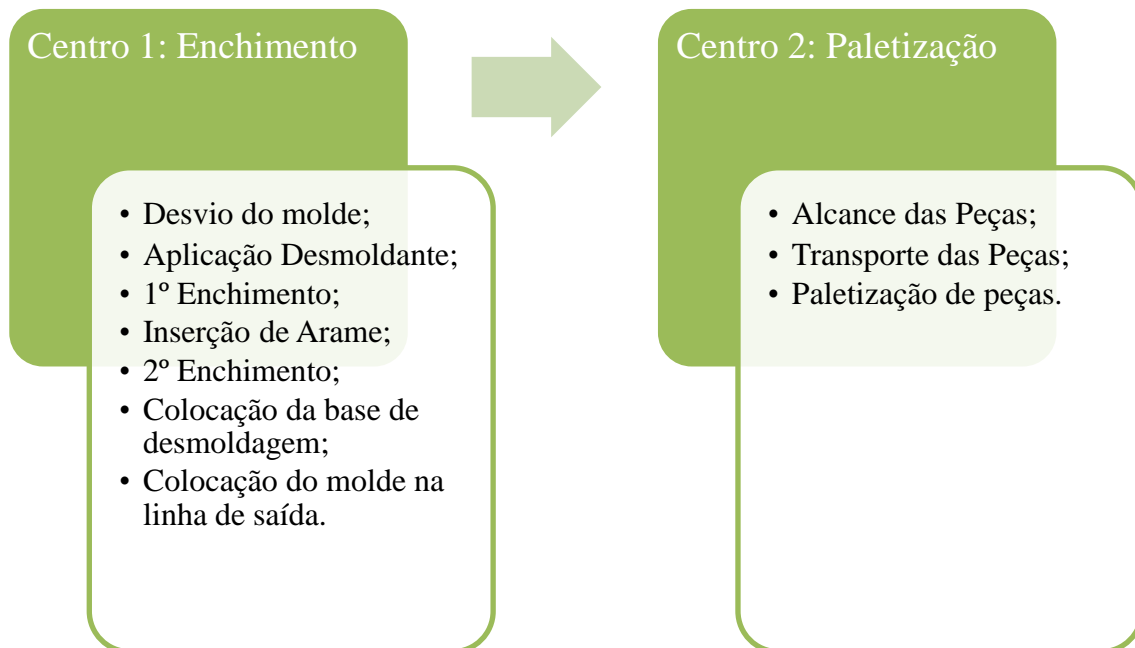


Figura 11 - Tarefas associadas aos processos

Na linha de produção de espaçadores de betão estão a laborar um total de 6 operadores.

No centro 1, estão a laborar 4 operadores, sendo que cada um está alocado a uma estação de enchimento e é responsável por todas as tarefas posteriormente descritas. Os outros 2 operadores são responsáveis pelo abastecimento de acessórios e consumíveis da linha (arame conformado, bases de desmoldagem, desmoldante, cimento e moldes) como também pela paletização manual dos espaçadores de betão, encontrando-se a laborar no centro 2.

Na Figura 12, podemos ver a planta da linha de produção de espaçadores de betão com os respetivos locais de trabalho, assim como os dois centros de trabalho. No Anexo A será apresentado igualmente a linha de produção inicial, de forma a ser mais compreensível.

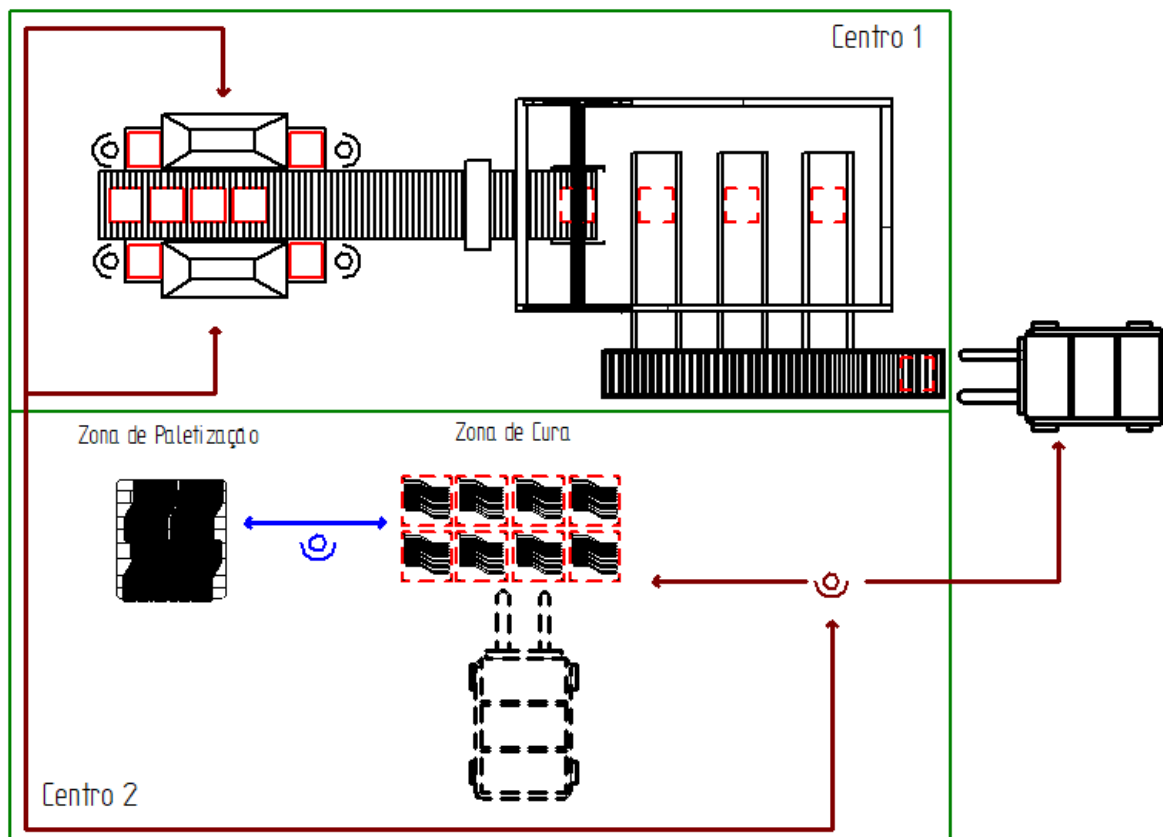


Figura 12 - Planta da Linha de Produção Inicial

Na planta, Figura 12, podemos ver os operadores e os seus locais de trabalho, sendo que os mesmos estão representados com o símbolo . Na presente figura é igualmente apresentado o fluxo do molde, sendo que o mesmo encontra-se representado a vermelho.

Na Tabela 3 encontramos disposto o horário de funcionamento da linha de produção de espaçadores de betão, com os respetivos turnos. Cada turno é composto por 6 operadores.

**Tabela 3 - Horário de Funcionamento da Linha de Produção**

<b>Turno</b>	<b>Hora de entrada</b>	<b>Pausa</b>	<b>Hora de Saída</b>
Turno 1	5:00	30 min	13:30
Turno 2	13:30	30 min	22:00

### **3.2.1. Caracterização da Linha de Produção Inicial**

Neste subcapítulo será descrita a linha de produção de espaçadores de betão, assim como explicado todo o processo de produção.

A linha de produção inicia quando é dada a ordem para a matéria-prima necessária à produção do espaçador de betão deslocar-se até à betoneira (local onde se procede a mistura). A betoneira está na zona mais alta da fábrica para permitir que o betão seja movimentado através da gravidade. Para que a matéria-prima se consiga deslocar até ao nível da betoneira existem diferentes transportadores (transportadores de tela e transportadores helicoidais).

Os sem-fins (transportadores helicoidais) transportam as matérias-primas, o cimento e o aditivo (o aditivo tem duas funções na mistura, a função estrutural, sendo que irá ajudar no preenchimento dos vazios deixados pelos agregados mais grossos e a função de interação com o betão) [24] diretamente do silo para a balança, na Figura 13, do lado esquerdo, está representado um sem-fim a fazer a descarga do silo. À medida que a matéria-prima vai caindo na balança, esta é pesada em tempo real e quando alcançar a quantidade desejada, através da abertura de uma válvula, a matéria-prima entra na betoneira.

Os transportadores de tela transportam as matérias-primas, a brita, a brita fina, a areia e a leca, dos tegões (local onde foram descarregadas as matérias-primas) para um “elevador”, que irá transportar as mesmas para a betoneira. Todos estes produtos são mensurados através do caudal, havendo um temporizador para cada descarga de produto. É importante referir que cada tegão possui um transportador de tela individual, e esses transportadores individuais descarregam as matérias-primas de cada tegão para um transportador de tela comum a todos os tegões. Na Figura 13, do lado direito, estão representados os transportadores individuais com o respetivo tegão e o transportador comum. Esse

transportador comum é o que irá transportar a globalidade das matérias-primas para o “elevador” anteriormente referido.



**Figura 13 - Transportadores de matéria-prima**

Na Figura 14, lado esquerdo, está representado o depósito do elevador e do lado direito o trajeto realizado pelo mesmo, desde a descarga do transportador comum até à betoneira, juntando assim às matérias-primas cimento e filer.



**Figura 14 - Elevador de Matéria-Prima**

As restantes matérias-primas, o aditivo plastificante e a água, têm o mesmo processo de pesagem que o cimento e o aditivo. O transporte do aditivo plastificante é realizado através de uma bomba, que transporta o mesmo desde o reservatório (local onde está armazenado) até à balança onde se efetua a pesagem. A água não precisa de sistema para ser transportada porque a rede de águas do edifício está ligada diretamente à balança.

Na Figura 15 estão apresentadas duas balanças com os seus reservatórios, sendo que a matéria-prima é depositada nos mesmos para a efetuar a pesagem.



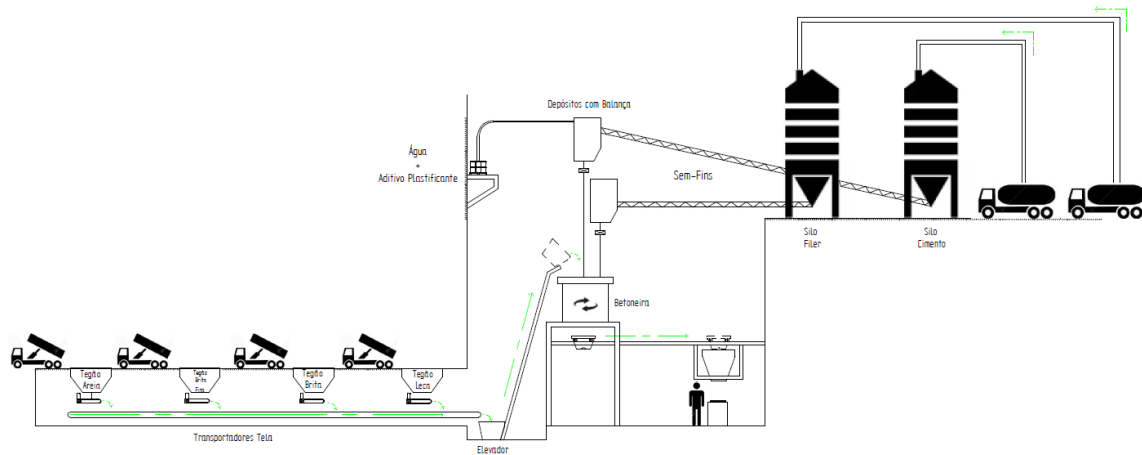
**Figura 15 - Depósitos com pesagem**

Quando toda a matéria-prima tiver sido pesada e depositada no interior da betoneira, esta inicia o seu ciclo de trabalho, ou seja, inicia a mistura das matérias-primas durante um período de tempo estipulado na automação (cerca de 3 minutos).

No final do ciclo, obtemos uma mistura homogénea, o betão, que se encontra em condições para ser usado no processo produtivo.

O betão no final do ciclo será vazado da betoneira para o balde doseador. O balde doseador transporta o betão da betoneira para as tremonhas (depósito), localizadas na zona de trabalho. O betão encontra-se agora disponível para ser colocados nos moldes, resultando mais tarde nos espaçadores.

De forma a ser mais perceptível o processo descrito anteriormente, na Figura 16, está representado o fluxo de matéria-prima desde os locais de armazenamento das matérias-primas até à zona de trabalho. Devido ao tamanho da Figura 16, esta será apresentada igualmente no Anexo B.

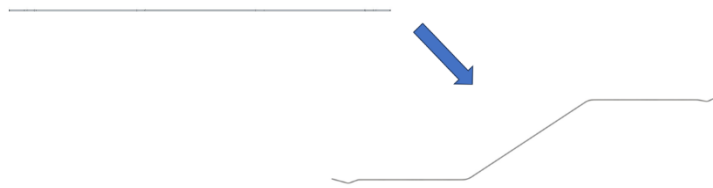


**Figura 16 - Fluxo da matéria-prima até à tremonha**

Antes dos operadores procederem ao enchimento dos moldes, existe um processo que terá de ser realizado antecipadamente, a conformação de arame. Esta não faz diretamente parte da linha de produção, contudo é imprescindível.

O betão é um material resistente à compressão, mas possui baixa resistência à tração e à flexão, sendo por isso adicionado o arame em aço com a finalidade de melhorar as propriedades mecânicas, ajudando a garantir a forma do espaçador de betão até à sua utilização. O arame adicionado ao molde tem a forma do espaçador de betão e é produzido por uma máquina responsável pela conformação e corte do arame de forma autónoma.

A conformação de arame tem como primeira fase a passagem num processo de alinhamento para remover curvas e torções indesejadas, seguindo para a fase em que ferramentas processam a dobragem em vários ângulos e direções, como apresentado na Figura 17. Após o arame passar pelas duas fases anteriormente descritas, é cortado através de uma guilhotina para acertar o comprimento.



**Figura 17 - Arame antes e após conformação**

O operador não intervém no processo de produção dos arames conformados, devido a este estar completamente automatizada. No entanto, quando a bobine ficar sem arame o operador é responsável pela troca da bobine vazia pela nova. Na Figura 18, está representada a máquina responsável por este processo de conformação de arame, assim como a bobine de arame em posição de trabalho.



**Figura 18 - Máquina de Conformação de Arame**

No final de toda a preparação indicada anteriormente, produção de betão e conformação do arame, inicia-se o processo de enchimento dos moldes.

Os moldes são compostos por 10 zonas moldantes para espaçadores de betão. O que significa uma produção de 10 unidades de espaçadores de betão por cada molde desmoldado corretamente. Na produção, nem sempre existem 10 espaçadores produzidos, devido a falhas durante a produção do espaçador de betão, como por exemplo espaçadores que se degradam devido à desmoldagem.

O molde é colocado na linha de produção e atravessa um pórtico de lubrificação, que ativado por sensores liberta o desmoldante através da gravidade. Cada vez que o molde faz um ciclo, tem passagem obrigatória por este pórtico.

Após a passagem do molde pelo pórtico, o operador retira o molde do tramo de rolos superior para a sua bancada de trabalho. Na bancada, o operador espalha o desmoldante, com o auxílio de um pincel, por todo o molde, Figura 19.

O desmoldante colocado no molde é utilizado como agente de libertação de modo a facilitar a remoção de peças (espaçadores de betão) dos moldes. Este produto é aplicado na superfície interna dos moldes formando uma película fina entre o betão e o molde, que facilita a separação das duas superfícies.

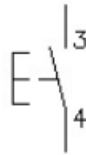


**Figura 19 - Aplicação de Desmoldante**

Este passo não pode ser ignorado porque todos os moldes são de desmoldagem imediata. Os moldes de desmoldagem imediata não têm tempo de cura, ou seja, quando os moldes chegam à parte da desmoldagem, a matéria-prima ainda está “fresca” e ao mínimo atrito entre o molde e a peça (espaçador de betão) esta desfazer-se-á porque não está endurecida/curada o tempo suficiente.

O operador depois de aplicar o desmoldante por todo o molde, este está apto para receber o betão. O operador posiciona e orienta o molde na saída de betão (descarga da tremonha) e dá a ordem para a descarga do betão, através de um “clique”. O tempo que o operador estiver a pressionar o botão, corresponde ao tempo que a tremonha estará a descarregar o betão.

Sendo que o botão é um botão de pressão, normalmente aberto, em que só envia sinal quando está em pressão, na Figura 20 está representado o esquema do botão.



**Figura 20 - Esquema do Botão de Pressão**

A gestão do enchimento é feita pelo operador, uma vez que é o operador que controla a descarga de betão.

À medida que o betão é depositado no molde, o operador, com o auxílio de uma ferramenta (colher de pedreiro), uniformiza o enchimento do molde durante a primeira fase de enchimento, ou seja, o molde encontra-se preenchido com metade da sua capacidade.

Com a primeira fase de enchimento efetuado, o operador alcança os arames, conformados anteriormente, e coloca um arame em cada espaço do molde.

Quando o operador terminar de aplicar os 10 arames, um por cada espaço do molde, terá de pressionar novamente no botão de pressão para terminar o enchimento, cobrindo os arames conformados. No final, o operador uniformiza novamente o preenchimento do molde, desta vez totalmente cheio.

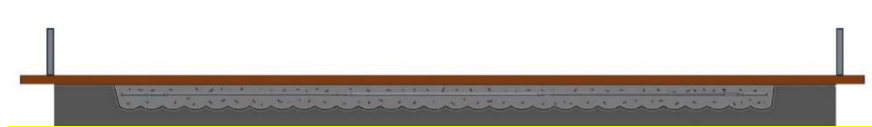
Com o objetivo de o betão ficar sem espaços vazios durante o enchimento e uniformização do mesmo, existe um pedal que aciona um moto-vibrador fixo na parte inferior da bancada de trabalho, que auxilia o processo. A utilização do mesmo é facultativa, sendo que o operador irá avaliar a sua utilização.

Na Figura 21, está um esquema com a ordem dos componentes do molde, no final do processo de enchimento.



**Figura 21 - Componentes Molde**

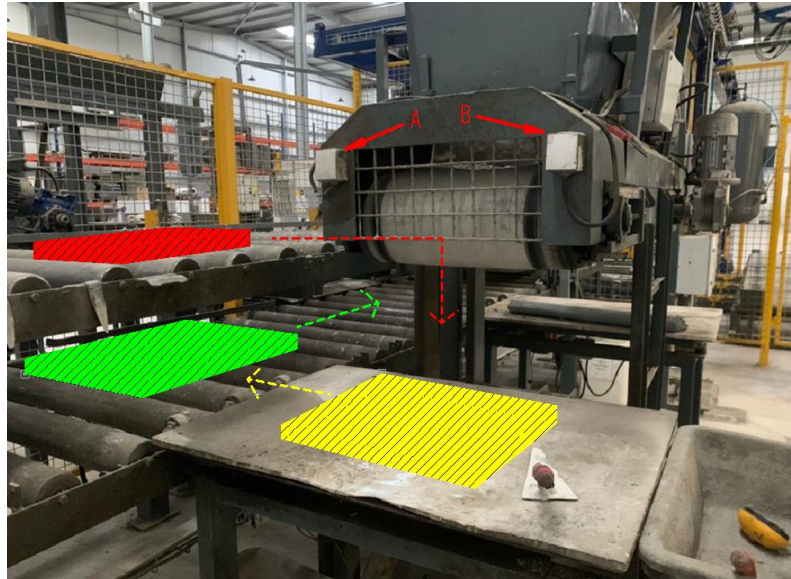
Depois de terminado o enchimento do molde, são colocadas bases de desmoldagem na parte superior do molde, como apresentado na Figura 22.



**Figura 22 - Representação do molde cheio com base de desmoldação**

De seguida, o operador terá de voltar a posicionar/deslocar o molde, agora totalmente cheio, para o tramo de rolos inferior, que está ao nível da bancada de trabalho. Estando o molde posicionado e orientado o operador pressiona o botão de ciclo para o molde avançar. Este processo, desde que o operador retira o molde do tramo de rolos superior até que o volta a colocar no tramo de rolos inferior, tem uma duração de 2 minutos e 39 segundos.

Na Figura 23 podemos observar a bancada de trabalho do operador assim como o trajeto do molde ao longo do processo descrito acima. Também na figura se encontra representado o botão de ciclo (A) e o botão de enchimento (B).



**Figura 23 - Fluxo do Molde**

Na Figura 23, está representado a vermelho o molde na posição inicial, ou seja, quando está em repouso à espera de que o operador o retire. A amarelo está representado o molde já na bancada de trabalho, onde o operador executa todas as tarefas anteriormente referidas, ou seja, a aplicação do desmoldante, as duas fases do enchimento, a inserção de arame e a colocação da base de desmoldagem. A posição do molde representada a verde consiste no sítio que o molde está quando o operador dá ordem para que o molde avance em direção à desmoldagem.

Desde a posição de chegada do molde (representada a vermelho) até à posição de avanço para a desmoldagem (representada a verde), o operador é o responsável por todos estes movimentos manualmente.

Depois do molde seguir para a desmoldagem, o equipamento é responsável por retirar o molde do tramo de rolos e rodar o molde 180°, de modo a desmoldar os espaçadores de betão. Após a rotação do molde, o equipamento posiciona a base de desmoldagem com os espaçadores nela contidos, num local previamente definido. A base de desmoldagem é colocada numa outra base de madeira, identificado a verde, anteriormente colocada pelo operador no transportador de correntes, tal como podemos observar na Figura 24.

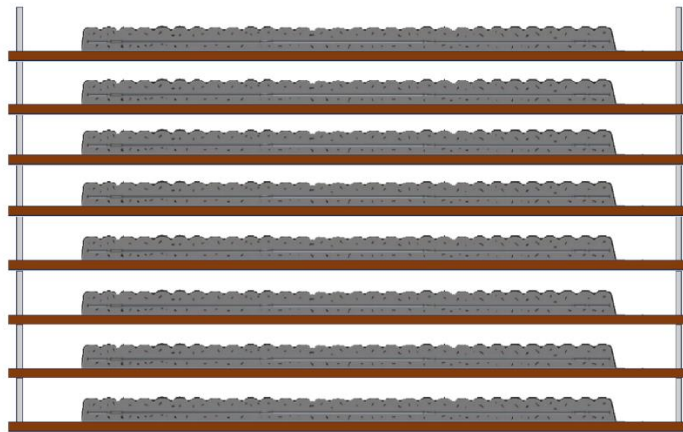


**Figura 24 - Zona de Transportadores de Correntes**

Quando a base de desmoldagem já estiver posicionada na base pretendida, a máquina volta a colocar o molde no tramo de rolos superior de modo a este iniciar o ciclo passando no pórtico de lubrificação novamente.

Depois de colocada a primeira base de desmoldagem com espaçadores no transportador de correntes, as restantes bases de desmoldagem são empilhadas sobre esta. As bases de desmoldagem são compostas por 4 pinos que impedem os espaçadores de betão de serem desfeitos pelas bases de desmoldagem empilhadas.

Assim que a pilha de bases de desmoldagem com os espaçadores de betão desmoldados tiver concluída, esta avança, através de transportadores de correntes e rolos, até ao final da linha. O operador através de um empilhador, transporta as pilhas até à zona de cura. Já na zona de cura, os espaçadores de betão permanecem no processo de cura durante 24 horas. Na Figura 25, temos um exemplo esquemático de como são feitas as pilhas de espaçadores desmoldados com a base de desmoldagem.



**Figura 25 - Espaçadores de Betão Desmoldados**

Passadas as 24 horas de cura, o operador retira os espaçadores de betão das bases de desmoldagem e paletiza-os manualmente. Estando os espaçadores de betão paletizados, a palete é envolvida em filme plástico, com o intuito de acomodar os espaçadores.

Na Figura 26, pode-se ver uma palete completa de espaçadores de betão pronta a ser expedida.



**Figura 26 - Paleta de Espaçadores de Betão para Expedição**

### 3.2.2. Análise e Síntese de Problemas na Linha de Produção

O presente projeto teve como objetivo principal a otimização da linha de produção de espaçadores de betão, nomeadamente a identificação e redução dos desperdícios assim como a redução do tempo de produção e consequentemente o aumento de produção.

A empresa Vipremi solicitou um aumento de produção na ordem dos 50%, sendo que um dos objetivos na otimização da linha será a mesma ter uma produção diária de 18 000 espaçadores de betão.

De acordo com o método identificado acima, DMAIC, foi iniciado o processo de otimização da linha, e dado início à identificação dos fatores que exercem influência sobre o processo. A análise realizada para a identificação irá incluir os equipamentos utilizados no processo e os métodos de trabalho dos operadores.

De forma a ser mais fácil a análise da linha, na Figura 27, está apresentado o fluxograma da linha de produção de espaçadores de betão.

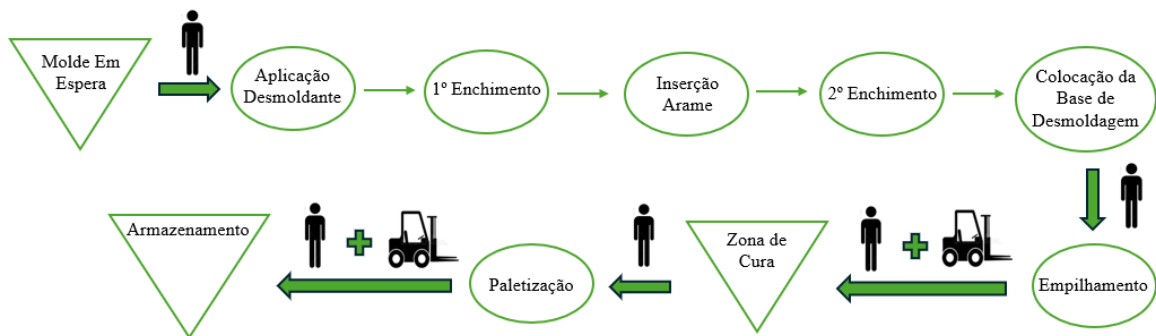


Figura 27 – Fluxograma da linha de produção de espaçadores de betão

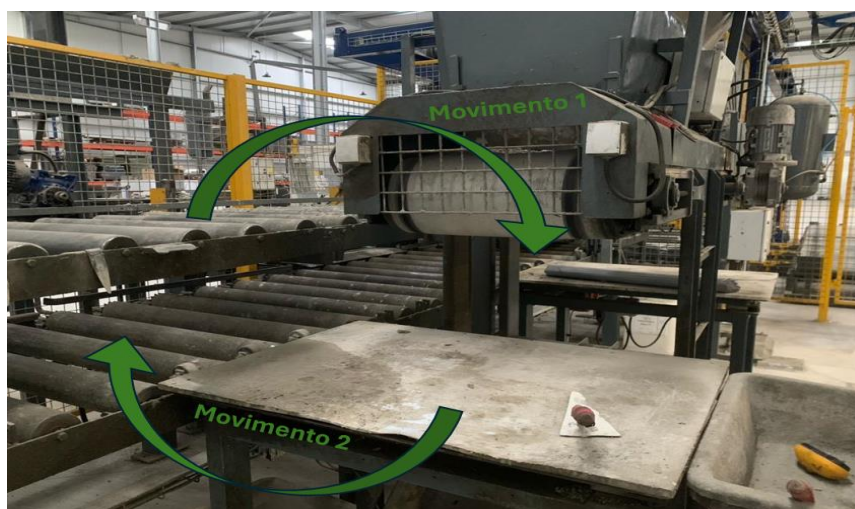
Um dos principais problemas detetados na linha de produção em estudo foi o excesso de desperdício, manifestado por ações realizadas que não acrescentam valor ao produto, atividades que consomem recursos e tempo e, por sua vez, produtos mais dispendiosos para a empresa.

O desperdício é prejudicial para a empresa e afeta negativamente a eficiência operacional e a sua saúde financeira.

Numa primeira análise à linha de produção foram detetados alguns dos desperdícios indicados pelos 3 M's, sendo estes os movimentos desnecessários, o transporte desnecessário, e a produção defeituosa.

### **Movimento Desnecessário**

Relativamente ao primeiro desperdício, movimento desnecessário, o mesmo foi imediatamente detetado logo no início do processo de produção. Como demonstrado na Figura 28, o operador é responsável pelo transporte do molde do tramo de rolos até à bancada de trabalho (movimento 1), para proceder ao enchimento do mesmo. Consequentemente, no final do enchimento do molde o operador é igualmente responsável pela reposição do molde no tramo de rolo (movimento 2) para este ser transportado para a desmoldagem.



**Figura 28 - Movimento Desnecessário (alterar)**

Para além dos movimentos serem desnecessários, contribuem para a quebra de produção de espaçadores de betão, tendo em conta que o operador começa a acusar fadiga/cansaço que por sua vez será refletido no desempenho do mesmo [25].

Todos os movimentos desnecessários, para além de causarem fadiga/cansaço como neste caso específico, aumentam diretamente o tempo de ciclo do produto.

A implementação dos fatores humanos e dos princípios da ergonomia são de extrema importância para proporcionar um ambiente seguro e favorável ao trabalhador. A implementação de princípios de ergonomia ajuda a reduzir a fadiga no corpo humano nas diferentes tarefas, tendo fortes impactos nos resultados esperados e no comportamento dos trabalhadores, contribuindo para a melhoria contínua [25].

### Transporte Desnecessário

No final do processo de enchimento encontramos um transporte desnecessário. Este desperdício encontra-se quando as bases de desmoldagem com os espaçadores de betão são transportadas até à zona de cura com o auxílio de um empilhador, sendo posteriormente transportados (manualmente) os espaçadores de betão desde a zona de cura para a zona de paletização. No final do ciclo o operador é responsável por reabastecer os centros de enchimento com as bases de desmoldagem. Estes transportes requerem um operador vinculado unicamente a estas tarefas que não geram valor ao produto, para além de desperdiçarem o tempo e trabalho do mesmo. Na Figura 29, podemos observar o transporte dos espaçadores para a zona de cura, o transporte da zona de cura para a zona de paletização e o transporte das bases de desmoldagem para o centro de trabalho referente ao enchimento.

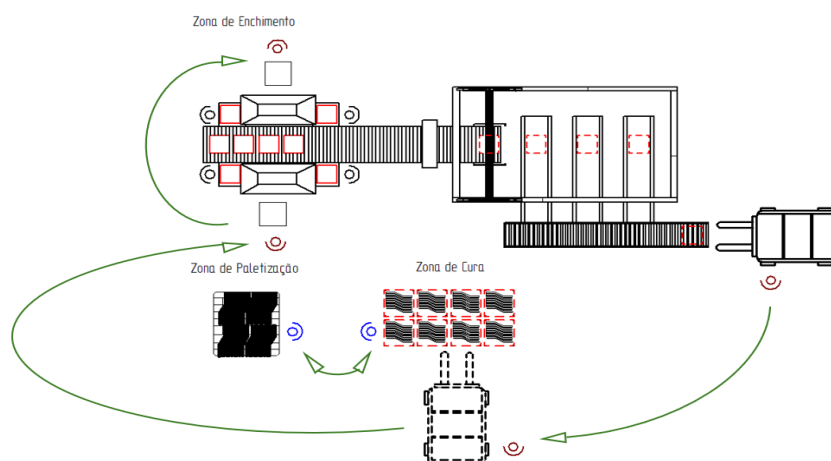


Figura 29 - Transporte Desnecessário

Todas as tarefas que são relativas aos transporte, movimento e manuseamento dos moldes e dos espaçadores de betão, tal como apresentadas anteriormente, fazem parte do desperdício que pode ser alterado e otimizado.

### **Produção Defeituosa**

O último desperdício detetado foi a produção defeituosa, sendo este um dos maiores problemas.

Na linha de produção todos os moldes são de desmoldagem imediata. A desmoldagem imediata consiste na desmoldagem realizada num curto espaço de tempo após o enchimento do molde. No caso da linha de produção, após o enchimento, o molde é imediatamente desmoldado, não existindo qualquer processo de cura antes da desmoldagem.

Quando analisamos aspetos relacionados às condições do betão, uma das principais é a resistência do mesmo, sendo essa influenciada por vários fatores, condições de cura, condições de humidade, proporções da mistura, entre outros.

O processo de cura é de extrema importância para garantir as propriedades desejadas. A correta execução da cura contribui para a formação de um betão resistente, durável e com boas características mecânicas [26].

Como indicado anteriormente, o processo de cura não existe até o produto ser desmoldado, sendo esta a razão para que o processo resulte numa percentagem de espaçadores de betão defeituosos, não passíveis de ser comercializados pela degradação destes.

É fundamental a alteração imediata deste desperdício, devido a este ser um desperdício de matéria-prima, recursos humanos e tempo.

Em termos de matéria-prima, o espaçador de betão não será comercializado e todas as matérias utilizadas na sua produção serão desperdiçadas. Importante referir que os espaçadores de betão não podem ser aproveitados ou reparados.

Relativamente aos recursos humanos e tempo, a desmoldagem dos espaçadores é uma tarefa realizada depois de sucessivas tarefas, ou seja, os operadores e equipamentos ocuparam parte do tempo na produção de espaçadores que não serão comercializados. Neste sentido, a

produção será inferior comparativamente com uma produção sem defeitos, utilizando os mesmos recursos.

Na implementação da nova linha de produção serão alterados os três desperdícios indicados, de forma a evitar os mesmos e melhorar a produtividade da linha.

Depois de observados todos os movimentos do molde, dos produtos, das bases de desmoldagem e dos operadores, seguiu-se para a segunda análise, a análise do fluxo do processo, *Layout*.

### ***Layout***

Com a análise do fluxo do processo na linha de produção de espaçadores de betão, depois de efetuados os levantamentos de tempos de produção e realizados cálculos de balanceamento de linhas, posteriormente apresentados, chegou-se à conclusão de que o *layout* processual da linha em estudo não estava otimizado.

O *layout* processual é a forma pela qual as máquinas, instalações, equipamentos e operadores se organizam na operação produtiva [27], sendo este de extrema importância, visto que associado a ele pode estar a minimização do tempo de produção e consequentemente um aumento de produção [28].

Tendo por base artigos [29] [30], o “*layout do setor produtivo é um dos grandes responsáveis pelos desperdícios identificados pela filosofia da Lean Manufacturing*”. Sendo que nestes artigos ainda é explicado que é na análise do *layout* que são identificadas as melhores oportunidades de redução de desperdícios, estando estes muitas vezes ligadas ao transporte, ao movimento e aos tempos de espera entre operações.

O balanceamento da linha consiste na atribuição de tarefas às estações de trabalho de tal forma a que estas tenham requisitos de tempo aproximadamente iguais de forma a aumentar a produção [31]. O balanceamento da linha foi efetuado apenas no centro de trabalho referente ao enchimento.

No enchimento (Centro de Trabalho N°1) foi realizado um balanceamento devido ao facto de existirem 4 operadores com as mesmas tarefas em ciclos repetidos. Na Figura 30, podemos ver o Centro de Trabalho N°1, assim como as tarefas e tempos associados.




Conjunto Linha de Enchimento		Centro de Trabalho: 1 Fase: Enchimento do Molde com Betão		Análise e Melhoria da Linha de Produção de Espaçadores de Betão	
N°	Operação	Transporte	Descrição	Tempos (seg)	
					
1			Transporte do Molde (Tramo de rolos → Bancada)		10
2			Aplicação de Desmoldante no Molde	14	
3			Primeiro Enchimento	35	
4			Inserção de Arame	29	
5			Segundo Enchimento	55	
6			Aplicação Base Desmoldagem	11	
7			Transporte do Molde (Bancada → Tramo de rolos)		5
				144	15
				159	
				5	2
TOTAL				7	

Figura 30 - Centro de Trabalho N°1

O tempo de produção de espaçadores de betão na empresa Vipremi é de 900 minutos, correspondente a 15 horas de trabalho. Os operadores interrompem a produção de espaçadores de betão 30 minutos antes de terminarem os turnos para efetuarem limpezas, o que corresponde a 1 hora por dia (2 turnos). As limpezas realizadas são referentes às ferramentas utilizadas, espaços de trabalho e ainda equipamentos que vão sendo contaminados com betão.

Na linha de produção existente, existem 4 espaços de trabalho, que no final do turno tem de ser limpos. Essa limpeza é realizada devido ao processo de enchimento contaminar a área envolvente, nomeadamente o processo de enchimento e uniformização do molde. Os equipamentos devem ser igualmente limpos, de forma que o betão não seque e prejudique a eficiência dos mesmos. Este passo de manutenção dos equipamentos é fundamental para o

bom funcionamento dos equipamentos (chumaceiras, rolos, entre outros) e não pode ser eliminado.

Com base nos dados fornecidos pela empresa e nos levantamentos efetuados, foi-nos possível realizar os cálculos do Tempo de Ciclo (TC) em produção por unidade (Equação 1) e por molde (Equação 2) e Número de Centros de Trabalho ( $N_{CT}$ ) (Equação 3) tendo em conta os dados facultados pela empresa:

- **Produção Diária:** 12000 Un / Dia;
- **Tempo de Produção Diário:** 900 min;
- **Qtd Unidades por molde:** 10 Un;
- **Duração das Tarefas:** 2,65 min (159 seg).

$$\text{Tempo Ciclo (TC)} = \frac{\text{Tempo de Produção Diário}}{\text{Produção Diária}} = \frac{900}{12000} = 0,075 \text{ un/min} \quad (1)$$

$$\text{TC} = 0,075 \times 10 = 0,75 \text{ molde/min} \quad (2)$$

$$\text{Número de Centros de trabalho } (N_{CT}) = \frac{\text{Duração das Tarefas}}{\text{Tempo de Ciclo}} = \frac{2,65}{0,75} = 3,5 \text{ Centros} \quad (3)$$

Como indicado anteriormente, o Centro de Trabalho n.º 1 é composto por sete tarefas. Já os cálculos apresentados acima indicam que tendo em conta a produção diária deveriam de existir no mínimo quatro centros de trabalho.

No centro de trabalho existente cada operador é responsável por realizar todas as tarefas, ficando assim responsável pela realização de todo o processo de enchimento. Caso seja realizada a alteração do número de centros de trabalho de um para quatro, o operador irá ficar encarregue de realizar unicamente parte das tarefas do processo. Esta alteração irá resultar em tarefas monótonas e em uma diminuição no tempo total do processo.

Tendo em conta o apresentado, podemos verificar que o *layout* não se encontra em equilíbrio, existindo um excesso de tarefas associadas ao único centro de trabalho em vez que dividir

as mesmas por vários centros com tempos semelhantes. A implementação da nova linha de espaçadores de betão irá ao encontro dos resultados aqui obtidos.

Para além da análise aos desperdícios e *layout* foi igualmente analisado, numa terceira análise, o processo na sua globalidade de forma a encontrar pequenos aspetos da linha de produção que podem ser alterados e dessa forma otimizar a mesma, nomeadamente a ineficiência do processo e a conformação do arame.

### **Eficiência do processo**

Se analisarmos a produção da linha, dados facultados pela empresa, a mesma produz um valor médio de 12 000 unidades por dia.

Relativamente aos tempos de produção referentes a cada tarefa do Centro de Trabalho nº 1, foi cronometrado o tempo que demoraria a realizar cada tarefa. De forma a obter o tempo mais aproximado ao real, foram cronometrados os tempos da realização das tarefas em três operadores distintos, obtendo-se no final a média do tempo do Centro de Trabalho n.º 1, apresentados na Tabela 4. Desta forma, o tempo médio necessário para concluir as tarefas do Centro de Trabalho n.º 1 é de 159 segundos.

**Tabela 4 - Tempos de Operação**

<b>Tarefa</b>	<b>Tempos 1º Operador (segundos)</b>	<b>Tempos 2º Operador (segundos)</b>	<b>Tempos 3º Operador (segundos)</b>	<b>Média (segundos)</b>
<b>1</b>	10	8	12	<b>10</b>
<b>2</b>	13	13	16	<b>14</b>
<b>3</b>	32	35	38	<b>35</b>
<b>4</b>	26	28	33	<b>29</b>
<b>5</b>	52	54	59	<b>55</b>
<b>6</b>	9	11	13	<b>11</b>
<b>7</b>	4	6	5	<b>5</b>
<b>Total</b>	<b>146</b>	<b>155</b>	<b>176</b>	<b>159</b>

Com os dados apresentados acima podemos concluir que se o processo fosse 100% eficiente, tendo em conta que os operadores laboram 15 horas por dia (900 minutos), a produção diária seria aproximadamente 13 560 unidades/dia, tal como podemos observar na Equação 4 apresentada de seguida.

- **Tempo de Produção Diário:** 900 minutos;
- **Tempo de ciclo do molde:** 159 segundos (2.65 min).

$$Qtd\ Moldes/Operador = \frac{\text{Tempo de Produção Diário}}{\text{Duração das Tarefas}} = \frac{900}{2.65} = 339\ moldes \quad (4)$$

Devido ao facto de existirem 4 operadores no Centro de Trabalho nº1 (Enchimento) teremos de multiplicar o número de moldes produzidos no tempo de produção diário pelo número de operadores de forma a obter o valor de moldes produzidos por dia (Equação 5) e o número de espaçadores de betão produzidos por dia (Equação 6).

$$Qtd\ Moldes/Dia = 339 \times 4\ operadores = 1\ 356\ moldes \quad (5)$$

$$Unidades\ Produzidas = moldes \times 10 = 1356 \times 10 = 13\ 560\ unidades \quad (6)$$

De acordo com os cálculos apresentados, a produção de espaçadores de betão real e teórica é diferente, sendo que enquanto a produção real é de uma média de 12 000 unidades/dia, a produção teórica é de aproximadamente 13 560 unidades/dia. A produção real representa assim 89% da capacidade de produção da linha, tendo com isto um desperdício de 11% no tempo de operação.

Esta percentagem prende-se essencialmente no tempo de produção que é desperdiçado, podendo este ser dividido em dois tipos: tempo dedicado à produção de espaçadores defeituosos e tempo proveniente da fadiga/cansaço dos operadores.

Sendo que o processo é manual, a fadiga/cansaço dos operadores tem impacto direto, fazendo variar ao longo do dia os tempos de produção dos espaçadores. Sendo que existem 4 operadores a realizar todas as tarefas, o tempo do processo varia igualmente de operador para operador e de período de tempo analisado, como podemos ver na Tabela 4.

Nesta percentagem está igualmente representado o tempo de produção de espaçadores defeituosos. Os valores são desconhecidos devido à sua variação constante, contudo não podemos não indicar o mesmo.

### **Conformação do arame**

De acordo com o indicado na linha de produção é colocado arame no molde com a finalidade de melhorar as propriedades mecânicas, ajudando a garantir a forma do espaçador de betão até à sua utilização.

A conformação do arame é um processo fundamental, contudo o arame deve ter a forma Z do espaçador, como representado na Figura 17, e estar num só plano ao longo do seu comprimento, garantindo a sua planicidade.

Esta particularidade é fundamental sendo que se o mesmo não acontecer o operador ao realizar a segunda uniformização do betão pode embater no arame e deslocar o mesmo no molde. Dessa forma, o operador poderá ter que manualmente voltar a reposicionar o arame.

Este problema é recorrente e deve ser um fator a melhorar, para não existirem na linha arames com a forma indesejada.

Depois de observada e analisada a linha de produção de espaçadores de betão, surgiram várias hipóteses de melhoria ao longo da linha. As oportunidades de melhoria foram alvo de estudo e análise para que pudessem ser implementadas de forma a estas ajudarem a cumprir com o objetivo.

O processo de melhorias a introduzir deverá estar assente num conceito de melhoria contínua e será necessário recorrer a uma grande diversidade de conceitos. Associada a esta mudança existe um grande investimento em equipamentos e ferramentas.

### 3.3. Linha de Produção Atual

No presente subcapítulo serão apresentadas as melhorias à linha de produção de espaçadores de betão, de acordo com a análise realizada à linha de produção, apresentada no capítulo anterior.

No processo de elaboração da melhoria à linha de produção inicial foram tidos em conta vários fatores para projetar a nova linha, nomeadamente o movimento desnecessário dos operadores, desperdício de matéria-prima, entre outros.

As alterações efetuadas à linha de produção, têm como objetivo tornar o sistema existente num fluxo contínuo. Um fluxo contínuo, é um sistema de fabricação no qual os materiais, componentes ou produtos passam por uma série de etapas de produção de forma contínua, sem interrupções significativas. Neste tipo de linha, a produção é ininterrupta e os processos são organizados de maneira sequencial, em que cada centro de trabalho realiza uma parte específica do processo de fabrico. Nesse sentido, a linha foi projetada e automatizada para operar sem paragens prolongadas, resultando assim numa maior eficiência [32].

A nova linha de produção é composta por cinco zonas de trabalho: Zona de Enchimento, Zona de Empilhamento, Zona de Cura, Zona de Desmoldagem e Zona de Paletização. Das zonas de trabalho indicadas unicamente a Zona de Enchimento tem intervenção humana.

A Zona de enchimento é composta por três centros de trabalho, Centro 1 (Primeiro Enchimento), Centro 2 (Inserção de Arame no molde) e Centro 3 (Segundo enchimento), como apresentado na Figura 31.

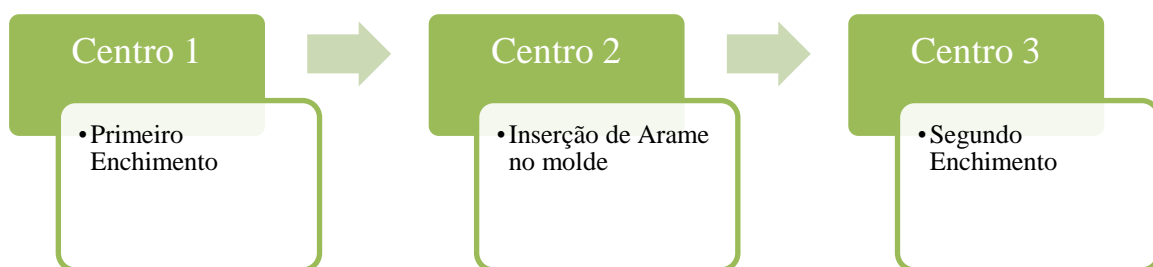


Figura 31 - Centros de Trabalho Linha de Produção Atual

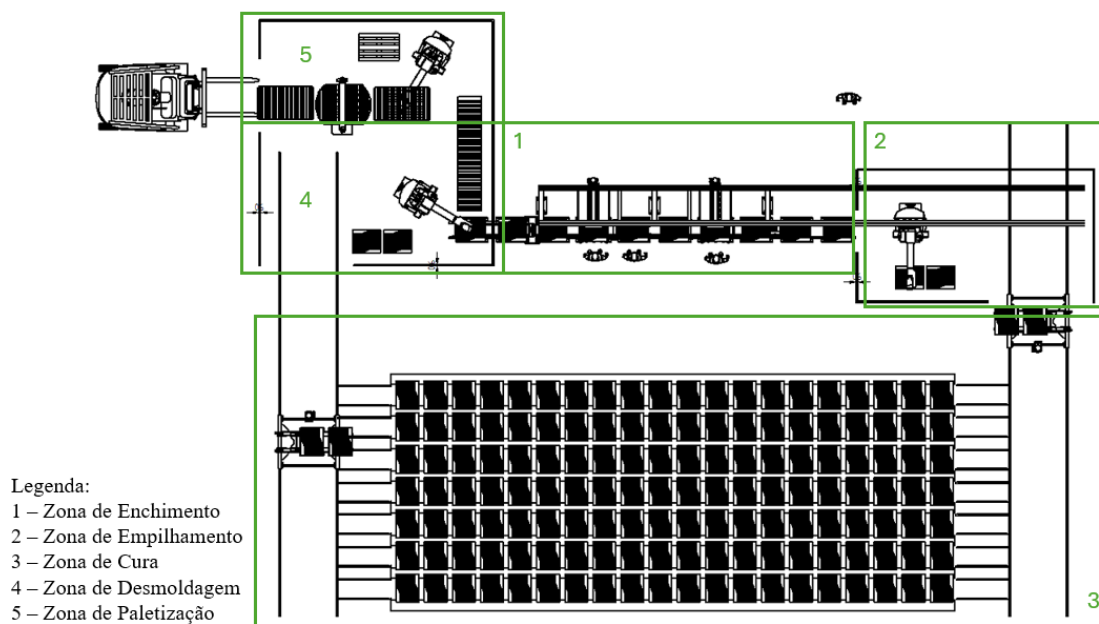
Como podemos observar, em cada centro de trabalho é unicamente realizada uma tarefa, muito diferente da linha de produção inicial. Como anteriormente apresentado na Figura 11, existiam 2 centros de trabalho com a intervenção humana, com um total de 11 tarefas.

Na linha de produção de espaçadores de betão atual estão a laborar um total de 4 operadores, reduzindo 2 operadores comparativamente à linha inicial (6 operadores).

No centro 1, está a laborar 1 operador, responsável pelo 1º enchimento do molde, no centro 2, está a laborar 1 operador responsável pela inserção de arame no molde e no centro 3 está a laborar 1 operador responsável pelo 2º enchimento do molde.

O quarto operador será um funcionário qualificado e formado, porque para além das suas funções (abastecimento da linha com betão e arame conformado) é igualmente responsável pela resolução de possíveis falhas que possam ocorrer durante o funcionamento de toda a linha.

Na Figura 32 podemos observar a planta da linha de produção de espaçadores de betão com as respetivas zonas de trabalho, analisadas posteriormente. Será igualmente apresentada no Anexo C.



**Figura 32 - Planta da Linha de Produção Atual**

Os horários dos turnos apresentados não sofreram alteração comparativamente à linha inicial. Cada turno é composto por 4 operadores.

### 3.3.1. Caracterização da Linha de Produção Atual

Na linha de produção inicial foram devidamente descritos os processos de produção de betão e de conformação de arame. Ambos os processos permaneceram inalterados, sendo que os principais problemas detetados não tinham impacto nestes processos. Face ao exposto a caracterização da linha de produção irá iniciar após o betão estar disponível para a sua colocação nos moldes e do arame estar conformado.

A grande diferença entre ambas as linhas, prende-se na quantidade de tarefas executadas pelo operador e na automação de parte da linha. Anteriormente, na Zona de Enchimento (Centro 1), o operador executava todas as tarefas inerentes ao processo de produção do espaçador de betão, sendo que o mesmo iniciava e concluía o processo de enchimento. Na linha de produção atual a Zona de Enchimento foi dividida em três centros, como apresentado anteriormente. Em cada centro de trabalho existe um operador e esse é unicamente responsável por uma tarefa específica e definida anteriormente.

Na Figura 33 está apresentado o esquema dos 3 centros de trabalho.

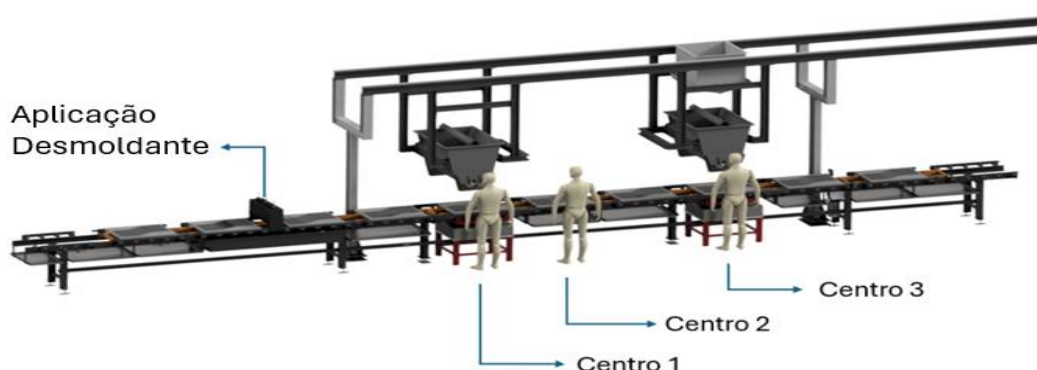
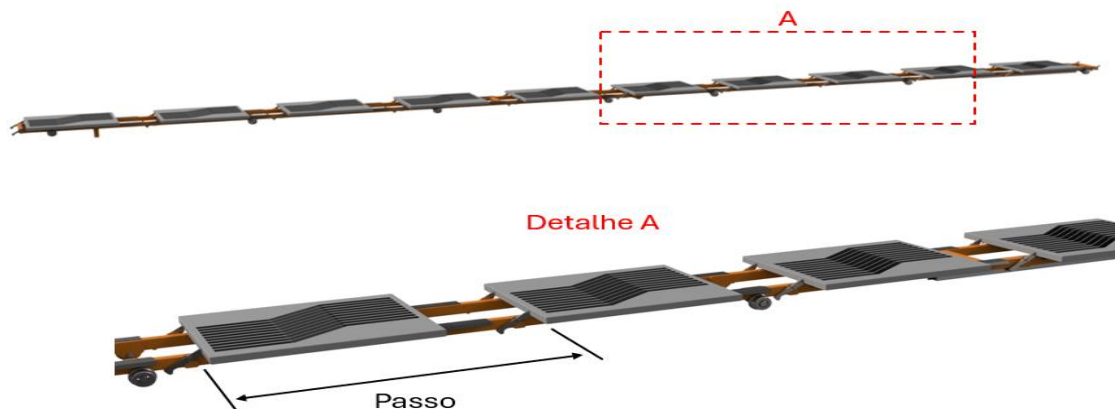


Figura 33 - Centros de Trabalho

A linha de produção atual inicia na Zona de Enchimento, quando todo o betão e o arame conformado estiverem preparados.

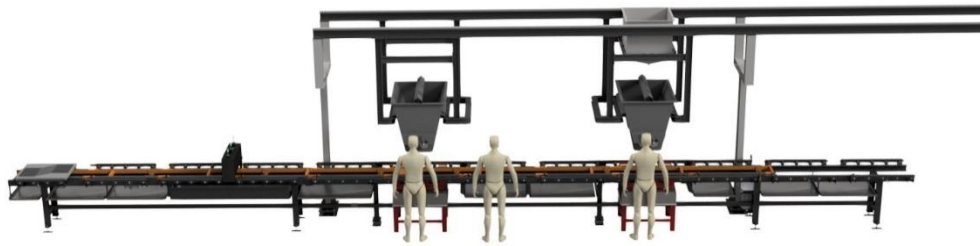
O molde entra na zona de enchimento através do auxílio de um robot e é transportado até através de uma estrutura móvel.

Esta estrutura móvel tem capacidade para transportar 10 moldes em simultâneo, sendo que os moldes são transportados desde a entrada do molde na zona de enchimento até à saída do molde desta. A estrutura movel está programada para que assim que os três operadores pressionarem os botões de ciclo a estrutura, onde está o molde, avance um passo (distância da posição do molde anterior até à seguinte). A estrutura móvel, representada na Figura 34 a laranja, é a responsável pelo transporte dos moldes, sendo que a mesma “empurra” o molde até à posição seguinte e recua (enquanto as tarefas são executadas) até à posição inicial onde está um novo molde. Esta estrutura atua assim como um transportador “Vaivém”.



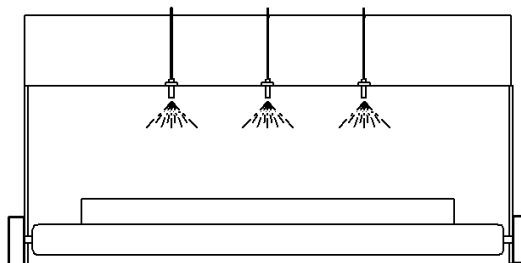
**Figura 34 - Estrutura Móvel**

Assim que os operadores estiverem aptos para trabalhar, cada um deles terá de carregar no botão de ciclo que irá fazer avançar o molde. No início de linha os operadores terão de carregar nos botões até o molde alcançar os centros de trabalho, Figura 35.



**Figura 35 - Início de Linha**

À semelhança da linha anterior, antes do molde ser utilizado atravessa um pórtico para aplicação de desmoldante, Figura 33. O molde é detetado através de sensores fotoelétricos aquando da chegada ao pórtico e é então aplicado desmoldante. A aplicação de desmoldante é realizada através de electroválvulas e aspersores, durante um determinado tempo pré-definido na automação da linha. Este processo substituiu a tarefa realizada pelo operador para espalhar o desmoldante por todo o molde com o auxílio de um pincel. Na Figura 36 podemos observar o pórtico por onde passa o molde e é libertado desmoldante.

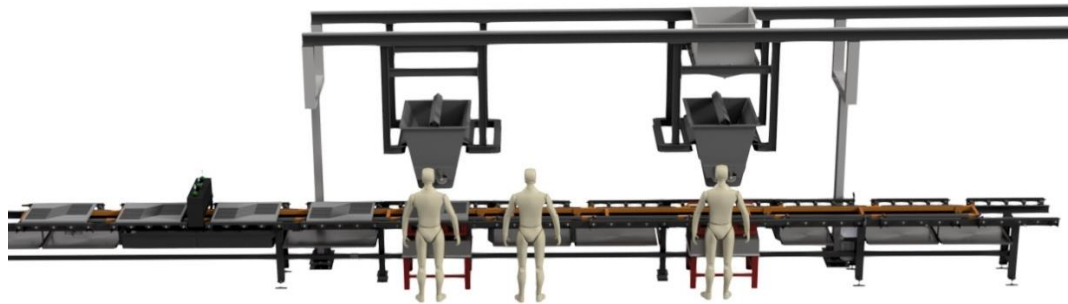


**Figura 36 - Lubrificação Molde**

Na Zona de Enchimento existem reservatórios de retenção de desperdício de desmoldante, para quando este é pulverizado para além dos limites dos moldes, não contaminar as zonas de trabalho, mantendo assim o local limpo.

Estes reservatórios servem igualmente para o excesso de betão, sendo este um desperdício.

Depois do molde ter sido pulverizado totalmente com desmoldante, será transportado até ao primeiro Centro de trabalho (1º Enchimento). Este transporte unicamente é realizado quando os operadores pressionam os botões de ciclo, como explicado anteriormente. O transporte do molde será realizado assim ao longo de toda a zona de enchimento.



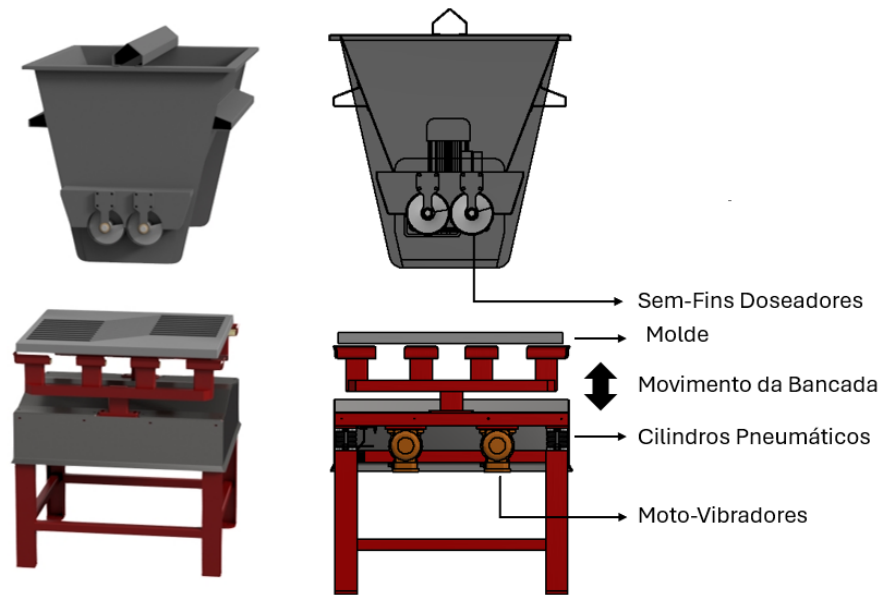
**Figura 37 - Centro 1 (1º Enchimento)**

No Centro 1, 1º Enchimento do molde, Figura 37, a paragem do molde é feita através de um sensor fotoelétrico que deteta a presença do molde na posição definida para o enchimento. Quando o sensor é ativado pela deteção do molde, este envia sinal para que os sem-fins da tremonha debitem o betão.

O enchimento do molde, até metade da sua capacidade, é controlado através de temporizadores, estando estes pré-definidos pela automação da linha.

Existe uma plataforma com moto-vibradores suspensos, que antes dos sem-fins debitem betão, eleva o molde através de cilindros pneumáticos, representada na Figura 38. Esta plataforma é independente da linha e tem como objetivo, durante o funcionamento dos moto-vibradores, não transmitir vibrações ao resto das estruturas da linha. Os moto-vibradores têm como finalidade auxiliar o operador no enchimento do molde e garantir a qualidade e durabilidade da estrutura de betão, contribuindo para a obtenção de um material compacto e resistente.

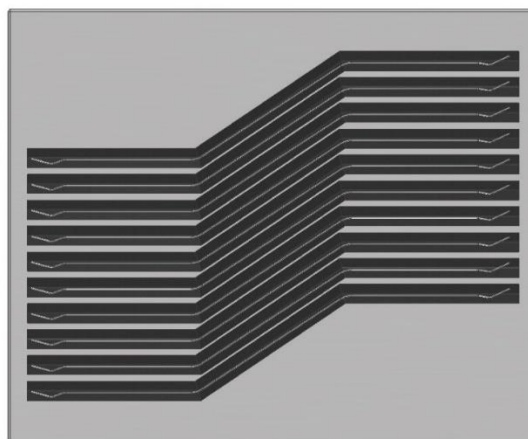
Durante a deposição de betão no molde, o operador é responsável por uniformizar o enchimento do mesmo.



**Figura 38 - Plataforma de Enchimento**

Finalizado o 1º enchimento, o molde avança para o centro seguinte. Chegando ao Centro 2 (Inserção de Arame), o operador irá inserir em cada espaço atribuído no molde os arames conformados.

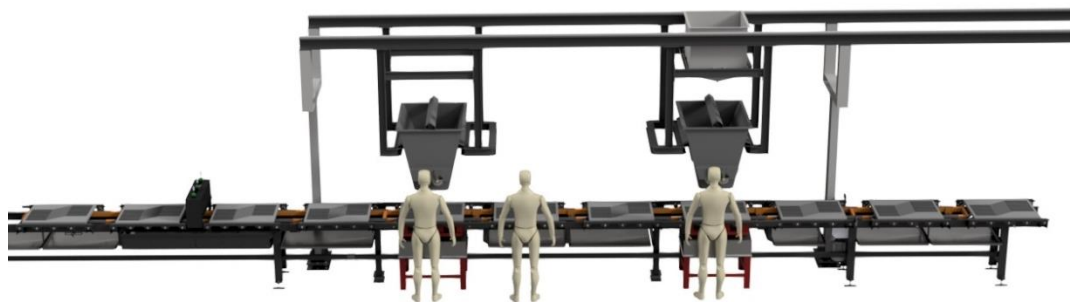
Na Figura 39, podemos observar todas as zonas do molde preenchidas com os arames conformados.



**Figura 39 - Molde com Reforço (Vista Planta)**

Após o operador concluir a inserção de arame no molde, o mesmo segue para o Centro 3, 2º Enchimento. O segundo enchimento corresponde ao enchimento final, e o processo de enchimento é igual ao do primeiro enchimento, explicado anteriormente.

Após passagem pelos 3 Centros de trabalho o molde avança até ao final da Zona de Enchimento, Figura 40.



**Figura 40 - Fim da Zona de Enchimento**

No final da Zona de Enchimento, o molde apresenta as mesmas características apresentadas na linha anterior, sendo que o processo manteve a mesma sequência de tarefas, garantido as mesmas características dos espaçadores anteriores. A alteração da linha não resultou em nenhuma alteração das características do espaçador unicamente ao processo de linha de produção.

Após a Zona de Enchimento, o molde é transportado por meio de um robot para a Zona de Empilhamento, Figura 41. Nesta zona, o robot será responsável por empilhar os moldes de forma que o carro transportador os consiga alcançar e transportar.

No final de os moldes estarem devidamente empilhados, sem qualquer tipo de intervenção humana, o operador irá transportar os mesmos com auxílio do carro transportador para a terceira zona, Zona de Cura.



**Figura 41 - Zona de Empilhamento**

Com os moldes já na Zona de Cura, estes permanecem em repouso durante um período de 24 horas. Esta é a zona mais demorada de todo o processo, contudo muito importante para o mesmo, porque o tempo de cura irá garantir que o molde esteja nas devidas condições para ser desmoldado sem se danificar.

Nesta zona encontramos dois carros de transporte de moldes e um espaço destinado para a cura dos mesmos. Um dos carros abastece os moldes para a Zona de Cura, ou seja, retira os moldes da Zona de Empilhamento e transporta-os até à Zona de Cura e o outro transporta-os desde a Zona de Cura para a Zona de Desmoldagem.

Ambos os carros são automatizados, para laborar de forma autónoma. Estes já se encontram automatizados para o percurso até ao local de cura para cada conjunto empilhado, como podemos ver na Figura 42.

Os carros transportadores estão colocados em lados opostos, onde cada um deles entra e sai da Zona de Cura, nunca se cruzando. A zona está preparada com “guias” para os carros não se desviarem e assim poderem ter sempre a mesma posição de descarga/carga dos moldes, como demonstrado na Figura 42.



**Figura 42 - Entrada/ Saída Zona de Cura**

Passadas 24 horas, os moldes estão preparados para a tarefa de desmoldagem, dessa forma, o carro transportador do lado oposto à entrada da Zona de Cura irá transportá-los para a próxima zona, Zona de Desmoldagem.

A Zona de Desmoldagem é composta por um robot, um moto-vibrador e um transportador. Os moldes são retirados da pilha de moldes, deixada anteriormente pelo carro transportador numa zona específica, através de um robot.

O robot retira um molde da pilha de moldes, e roda-o 180°. Após o molde estar a 180° da posição inicial, o robot encosta a parte traseira do respetivo molde ao moto-vibrador, fazendo com que o moto-vibrador esteja apoiado no molde. O moto-vibrador por sua vez, irá vibrar fazendo com que os espaçadores de betão, pela ação da gravidade, facilmente se desmoldem.

Para que os espaçadores de betão não caiam no chão e se danifiquem, o robot tem uma ferramenta de suporte para os mesmos. Para que isto seja possível, o robot tem incorporada uma ferramenta com dupla função. Esta ferramenta para além de suportar o molde no transporte do mesmo até ao moto-vibrador, limita o movimento dos espaçadores para além do desejado, ficando os mesmos suportados. Na Figura 43, encontra-se um molde ainda por desmoldar com as bases de suporte já posicionadas.



**Figura 43 - Ferramenta de desmoldagem**

Assim que os espaçadores de betão estiverem desmoldados, o robot desloca-se até um transportador onde os irá depositar. Após o robot depositar os espaçadores de betão, irá dirigir-se ao início da linha de produção, Zona de Enchimento, e colocar o molde. Devido a esta linha de produção ser cíclica, o molde referido irá entrar novamente na linha de produção e passar pelas quatro zonas referidas acima.

Os espaçadores de betão depositados no transportador serão encaminhados para a última zona, Zona de Paletização. A Zona de Paletização é composta por um robot, dois transportadores de rolos, uma máquina envolvente e um armazém de paletes. Esta zona representa o último contacto com o produto antes de o mesmo ser expedido.

No transportador, referido anteriormente, existe incorporado um processo de contagem de espaçadores através de um laser. Dessa forma, aquando do transporte, o laser irá contabilizar o número de espaçadores de betão desmoldados. Esta função é fundamental, sendo que o laser terá de contabilizar sempre 10 espaçadores de betão. Caso o mesmo não contabilize o número de espaçadores definido, significa que um ou mais espaçadores não se desmoldaram.

Quando existe este erro na desmoldagem, o transportador dá a indicação do erro ao robot, que os irá paletizar, garantindo que os espaçadores não sejam paletizados pelo mesmo. Estes espaçadores serão colocados pelo mesmo robot numa bancada de auxílio para mais tarde serem paletizados manualmente por um operador. O molde que possui ainda espaçador(es), devido ao referido erro, foi colocado igualmente no início de linha como todos os outros moldes. Este molde passa pelo pórtico de aplicação de desmoldante e avança na linha. Uma

das tarefas não indicadas anteriormente pelo operador do centro de trabalho (Centro 1) é antes de dar sinal para o molde avançar, tem que verificar se o molde seguinte se encontra conforme. Caso o molde não esteja conforme, por possuir algum(s) espaçador(es), o operador não dá sinal para a linha avançar e terá de manualmente retirar o espaçador do molde através de uma ferramenta. Como o molde já passou pelo pórtico de aplicação de desmoldante o operador irá aplicar desmoldante manualmente na área do(s) espaçador(es) que ficaram por desmoldar.

No transportador, quando são detetados os 10 espaçadores de betão, o mesmo dá ordem ao robot para os paletizar. O robot, através de uma ferramenta de vácuo, transporta os espaçadores de betão, desde o transportador até à palete posicionada num transportador de rolos, como demonstrado na Figura 44. O processo de paletização vai ser repetido até à palete estar completa (quantidade predefinida pela empresa).



**Figura 44 - Paletização dos Espaçadores de Betão**

Concluído o processo de paletização, a palete avança por meio de um transportador de rolos, para a envolvente, deixando o transportador de rolos livre. Concluído o envolvimento dos espaçadores em filme plástico, a palete de espaçadores de betão avança para um segundo transportador de rolos e permanece neste até ao quarto operador a retirar para expedição, como apresentado na Figura 45.



**Figura 45 - Pallet de Espaçadores de Betão Finalizada**

Voltando atrás no processo, quando a paleta avança para a envolvente, o robot, referenciado acima, através de uma ferramenta de dupla função, retira do armazém de paletes uma nova paleta e posiciona-a no transportador de rolos onde será realizada nova paletização.

Estando a paleta posicionada adequadamente, o robot dirige-se ao transportador para alcançar um conjunto de espaçadores (10 Espaçadores de Betão) e posiciona-os de forma adequada e ordenada em várias camadas. O processo de paletização repete-se até que a paleta esteja completa.

### 3.3.2. Análise Crítica da Linha de Produção Atual

Neste capítulo será realizada a análise crítica da linha de produção de espaçadores de betão após a primeira alteração/melhoria. Este projeto centrou-se na identificação e análise dos desperdícios existentes no processo de trabalho da linha de produção inicial.

As alterações implementadas à linha de produção atual tiveram como principal objetivo responder aos problemas indicados na análise linha de produção inicial apresentada anteriormente. Para além dos problemas indicados foram igualmente realizadas melhorias ao processo, devido a imposições que a nova linha de produção originou, de forma que exista um aumento de eficiência.

Na nova linha de produção foi alterado o fluxo do produto assim como o respetivo *layout*, sendo que o mesmo encontrava-se em desequilíbrio. Dessa forma, a linha foi alvo de bastante estudo e análise, e conseqüentemente a várias alterações estruturais e funcionais. Estas alterações foram unicamente possíveis, devido à empresa ter como valores a inovação constante e a melhoria contínua, não só nos produtos que vai apresentando, mas também nas linhas de produção. A melhoria contínua irá resultar numa otimização da linha, de forma à empresa continuar a poder acompanhar o mercado, tornando-se mais competitiva. Nesse sentido, com uma alteração desta dimensão, é necessário que a empresa tenha em consideração alguns fatores:

- Investimento substancial de dinheiro e esforço interno para adaptação;
- Compromisso a longo prazo;
- Impacto significativo no custo e eficiência de operações de curto prazo [33].

Como referido na análise da linha anterior, existiam três desperdícios, movimento e transporte desnecessário e produção defeituosa.

No caso do movimento desnecessário foram indicados dois movimentos que não geravam valor ao produto, sendo estes eliminados na nova linha, o colocar o molde na bancada de trabalho para colocação do betão e no final do processo a sua colocação de volta ao transportador de rolos.

## Movimento Desnecessário

O movimento do molde antes e depois do processo de enchimento era um dos grandes desperdícios existentes na linha, sendo que para além do mesmo não acrescentar valor ao produto era algo que exigia um esforço físico por parte dos operadores.

Para a resolução do presente desperdício, foi necessária uma alteração completa da linha de produção, fazendo com que o molde siga um fluxo contínuo. Desta forma, o molde irá percorrer a linha até aos operadores e os mesmos não têm de se movimentar.

Como podemos verificar na

Figura 46, os operadores encontram-se parados no seu respetivo centro de trabalho e o molde avança até eles, sem qualquer esforço por parte do operador, para que o molde seja colocado junto a eles. Dessa forma, passamos a ter um sistema de produção contínua.

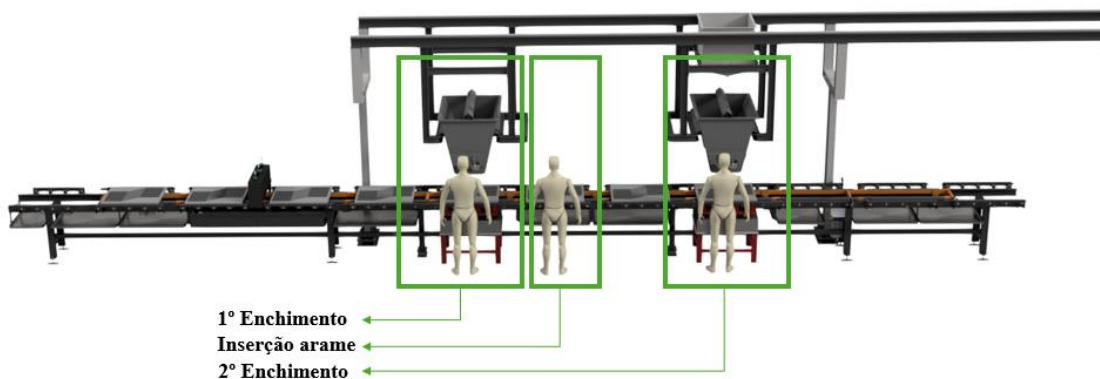


Figura 46 - Linha de Produção Contínua

De acordo com o indicado acima, através da implementação de um sistema de produção contínua, foi possível eliminar por completo os dois movimentos desnecessários existentes. Na alteração da linha de produção, não foram criados novos movimentos desnecessários.

Os sistemas de produção contínua têm como característica a sua alta eficiência e inflexibilidade. Este tipo de produção tem vantagens para as organizações, nomeadamente a

padronização do processo, permitindo aos operadores investir tempo no aperfeiçoamento das suas técnicas, de forma a diminuir o tempo de operação.

Numa linha de produção contínua, o operador sabe como e quando as funções devem ser realizadas evitando assim, a perda de tempo com falhas e outros problemas operacionais [34].

Na resolução do desperdício em causa, foi igualmente diminuída a fadiga/cansaço dos operadores durante o processo de produção, sendo que deixaram de ser feitos movimentos e esforços físicos por parte dos operadores, tendo este apenas de realizar a tarefa conferida.

O transporte desnecessário, segundo desperdício, consistia no transporte das bases de desmoldagem para o abastecimento do Centro de Trabalho n.º 1 (Enchimento), o transporte das pilhas de bases de desmoldagem com os espaçadores para a zona de cura e o transporte dos espaçadores da zona de cura para a zona de paletização.

### **Transporte Desnecessário**

De acordo com a nova linha de produção, não são utilizadas bases de desmoldagem devido ao molde acompanhar os espaçadores de betão em todo o processo, não sendo este desmoldado sem o processo de cura estar realizado.

Na Figura 42 estão representados os moldes na zona de cura, sem as bases, a aguardar o tempo para serem posteriormente encaminhadas para a zona de desmoldagem.

O segundo transporte desnecessário consistia no transporte de espaçadores para a zona de cura. Este foi substituído por carros transportadores automatizados, onde as peças são colocadas neste através de robots presentes nas zonas a jusante (zona de desmoldagem) e montante (zona de empilhamento).

Na linha inicial, o operador era responsável pelo transporte do espaçador de betão para a zona de paletização e consecutivamente a paletização dos mesmos.

A paletização e transporte de peças é um trabalho bastante padronizado, existindo no mercado soluções para a substituição do operador.

Na linha atual, o transporte realizado pelo operador acima indicado foi totalmente eliminado, tendo sido substituído pelos carros transportadores automatizados, robots e transportadores. Na Figura 44 está representado o robot responsável pela paletização.

Desta forma os três transportes desnecessários detetados na primeira linha foram completamente eliminados ou substituídos de forma que o processo fosse mais eficiente. Na alteração da linha não foram criados transportes desnecessários.

O último desperdício detetado na análise foi a produção defeituosa dos espaçadores de betão.

### **Produção Defeituosa**

A produção de espaçadores defeituosos era um dos grandes problemas da primeira linha de produção, visto este afetar diretamente o desperdício de matéria-prima e tempo de produção. Como analisado na primeira linha, um dos principais fatores para este desperdício era a ausência de um processo de cura. Desta forma, foi colmatada a falha adicionando ao processo de produção um tempo de cura, com uma duração de 24 horas.

Na implementação desta medida, teve de ser realizado um investimento por parte da empresa não só na alteração da linha, mas também na aquisição de novos moldes. Como indicado anteriormente os espaçadores eram logo desmoldados, o que significava que os moldes eram colocados no processo novamente num curto espaço de tempo. Com a alteração, os moldes têm de permanecer na zona de cura um intervalo de tempo de 24 horas, o que significa que para a quantidade de espaçadores produzidos não ser alterada terão que existir 2 300 moldes no total.

Esta alteração à linha de produção permitiu a minimização de produtos defeituosos como irá ser apresentado posteriormente e de desperdício de tempo e matéria-prima na produção dos mesmos.

No final da análise à nova linha de produção podemos verificar que os três desperdícios existentes na linha inicial foram eliminados de forma permanente. Contudo, a nova linha possui um novo desperdício, o tempo de espera, mas este inerente ao processo de cura do espaçador de forma eficiente.

## **Tempo de espera**

Este desperdício está centrado no tempo de espera dos operadores. O tempo das operações na zona de enchimento (1º Enchimento, Inserção Arame e 2º Enchimento) é diferente, tal como podemos ver observar na análise dos centros de trabalho, realizada posteriormente. Devido à diferença de tempos de operação os operadores não terminam as suas tarefas em simultâneo, existindo assim um tempo de espera por parte dos operadores que terminarem primeiro. Todo o tempo de espera dos operadores representa um desperdício, pois os operadores não produzem durante o período de espera entre si.

Na linha existem ainda outros tempos de espera, estes centrados no tempo de demora do abastecimento de betão nas tremonhas e também no tempo que o operador demora a desmoldar os espaçadores de betão manualmente quando o processo de desmoldagem foi ineficiente. Estes tempos de espera fazem com que a linha não se encontre otimizada. Os mesmos serão abordados mais à frente no ponto da eficiência do processo.

Na avaliação da nova linha foi novamente analisado o *layout* da mesma, de forma a analisar a sua eficiência comparativamente à linha inicial.

## ***Layout***

O grande problema no *layout* da linha inicial consistia em existir um elevado número de tarefas por centro de trabalho. Como foi apresentado acima, na nova linha, unicamente existe uma tarefa por centro de trabalho, sendo que em cada centro de trabalho continua a laborar um operador.

Neste novo *layout*, o operador é, como demonstrado nas figuras abaixo, responsável apenas pela realização das tarefas e não pelo transporte/ movimento do molde.

No novo *layout*, o centro de trabalho n.º 1 (Enchimento) da linha de produção inicial, foi dividido em vários centros de trabalho (1º Enchimento, Inserção de Arame e 2º Enchimento). Abaixo, na Figura 47, podemos observar a tarefa correspondente ao centro de trabalho 1 (1ª Enchimento) da linha de produção atual assim como o tempo de operação.

Conjunto Linha de Enchimento		Centro de Trabalho: 1 Fase: 1º Enchimento do Molde com Betão	Análise e Melhoria da Linha de Produção de Espaçadores de Betão	
Nº	Operação	Descrição	Tempos (seg)	
	Transporte			
1	•	1º Enchimento	18	0
	1		18	0
TOTAL	1		18	

Figura 47 - Centro de Trabalho Nº1

O centro de trabalho n.º 1 da linha de produção atual é agora composto unicamente por uma das tarefas que eram realizadas no centro de trabalho n.º 1 inicialmente.

O processo de 1º enchimento, que anteriormente tinha uma duração de 35 segundos passou para uma duração de 18 segundos.

O centro de trabalho 2 (Inserção de Arame), à semelhança do centro de trabalho 1 atual, é composto unicamente por uma das tarefas realizadas no centro de trabalho 1 inicial. Abaixo, na Figura 48, está representada a tarefa correspondente ao centro de trabalho 2 da linha de produção atual, assim como a sua duração.

Conjunto Linha de Enchimento		Centro de Trabalho: 2 Fase: Inserção de Arame no Molde	Análise e Melhoria da Linha de Produção de Espaçadores de Betão	
Nº	Operação	Descrição	Tempos (seg)	
	Transporte			
1	•	Inserção Arame	20	0
	1		20	0
TOTAL	1		20	

Figura 48 - Centro de Trabalho Nº2

Devido à inserção de arame ser a única tarefa neste centro de trabalho, o operador é capaz de gerir e preparar melhor a sua intervenção no molde. Como podemos observar, o operador, para a mesma tarefa, passou de uma duração de 29 segundos para 20 segundos. A padronização do processo, tal como referido anteriormente, contribui para que o operador tenha uma melhor preparação, assim como maior eficiência como está demonstrado através do tempo de execução na Figura 48.

O centro de trabalho 3 (2º Enchimento), tal como nos casos anteriores, é composto unicamente por uma das tarefas realizadas no centro de trabalho 1 da linha de produção inicial. Abaixo, na Figura 49, está representada a tarefa correspondente ao centro de trabalho 3 da linha de produção atual.

Conjunto Linha de Enchimento		Centro de Trabalho: 3 Fase: 2º Enchimento do Molde com Betão		Análise e Melhoria da Linha de Produção de Espaçadores de Betão	
Nº	Operação Transporte	Descrição	Tempos (seg)		
1	• →	2º Enchimento	22		
TOTAL			22		

Figura 49 - Centro de Trabalho N°3

O processo correspondente ao centro de trabalho 3 tem uma duração de 22 segundos. Na linha de produção inicial tinha uma duração de 55 segundos.

A implementação do novo *layout* e a automatização de mecanismos da linha de produção atual eliminou todos os movimentos desnecessários existentes na linha inicial.

Como podemos observar, os tempos da linha de produção foram otimizados em todas as tarefas comparativamente com a linha de produção inicial. Para além da otimização dos tempos das tarefas que permaneceram no processo, muitas tarefas, como movimentos de ferramentas e manuseamento do molde foram retirados ou substituídos. A implementação da nova linha de produção fez com que o movimento que não acrescentasse valor ao produto foi eliminado, que proporcionou que o tempo de produção fosse reduzido e assim foi possível aumentar a produção no mesmo período de tempo.

O tempo de produção de espaçadores de betão da linha de produção atual é agora de 840 minutos, correspondendo a 14 horas de trabalho. Com a implementação da linha de produção atual, o número de equipamentos a limpar aumentou e consequentemente o tempo para limpeza aumentou. Os operadores interrompem atualmente a produção de espaçadores de betão, 60 minutos antes de terminarem os turnos para efetuarem limpezas, o que corresponde a 2 horas por dia (2 turnos).

Mais uma vez, com base nos dados fornecidos pela empresa e nos levantamentos efetuados, foi-nos possível realizar o cálculo do Tempo de Ciclo (TC) por unidade (Equação 7) e por molde (Equação 8), e a quantidade de Número de Centros de Trabalho ( $N_{CT}$ ) (Equação 9) tendo em conta os levantamentos de dados, assim como os dados facultados pela empresa:

- **Produção Diária:** 21 000 Un / Dia;
- **Tempo de Produção Diário:** 840 min;
- **Qtd Unidades por molde:** 10 Un;
- **Duração das Tarefas:** 1 min (60 seg).

$$\text{Tempo Ciclo (TC)} = \frac{\text{Tempo de Produção Diário}}{\text{Produção Diária}} = \frac{840}{21000} = 0,04 \text{ un/min} \quad (7)$$

$$\text{TC} = 0,044 \times 10 = 0,4 \text{ molde/min} \quad (8)$$

$$\text{Número de Centros de trabalho } (N_{CT}) = \frac{\text{Duração das Tarefas}}{\text{Tempo de Ciclo}} = \frac{1}{0,4} = 2,5 \text{ Centros} \quad (9)$$

Como indicado anteriormente, o Centro de Trabalho n.º 1 da linha de produção inicial era composto por sete tarefas. Segundo os cálculos de balanceamento da linha anterior, determinaram que eram necessários 4 centros de trabalho para a linha de produção ficar em equilíbrio.

Na análise da nova linha de produção, como apresentado nos cálculos acima, foi determinado que deveriam de existir no mínimo 3 centros de trabalho. O que de acordo com o indicado na nova linha, existem 3 centros de trabalho.

Neste estudo de balanceamento podemos verificar que a nova linha de produção se encontra em equilíbrio.

Na continuação da análise da nova linha de produção comparativamente à linha de produção inicial, já foram analisados os desperdícios e o *layout*. Numa última análise, iremos agora analisar a eficiência do processo comparativamente à ineficiência da linha de produção inicial e igualmente avaliar as alterações realizadas à conformação do arame.

### **Eficiência do Processo**

A análise realizada abaixo baseia-se agora nos tempos de operação na linha de produção implementada. A linha de produção, atualmente tem uma produção média diária de 21 000 unidades.

Os tempos de operação das tarefas realizadas nos centros de trabalho da linha atual, tal como demonstrado acima, basearam-se no registo de dados levantados na empresa Vipremi.

Relativamente aos tempos de produção das tarefas no Centro de Trabalho nº 1, foi determinado através de uma média de valores registados na Tabela 5 que o tempo necessário para a produção de 10 unidades (1 molde) seria em média 60 segundos.

**Tabela 5 - Tempos de Operação da Linha Atual**

<b>Centro de Trabalho</b>	<b>Tempos 1º Operador (segundos)</b>	<b>Tempos 2º Operador (segundos)</b>	<b>Tempos 3º Operador (segundos)</b>	<b>Média (segundos)</b>
<b>1</b>	18	17	19	<b>18</b>
<b>2</b>	18	20	22	<b>20</b>
<b>3</b>	24	21	21	<b>22</b>
<b>Total</b>	<b>60</b>	<b>58</b>	<b>62</b>	<b>60</b>

Como a linha de produção é contínua, com dependência de operações entre centros de trabalho, será necessário realizar a análise com o tempo da operação mais demorada, pois todos os centros de trabalho da zona de enchimento estão pendentes da finalização de todos os centros. Com base no levantamento de dados realizado na empresa Vipremi, podemos concluir que a operação mais demorada tem a duração média de 22 segundos.

Temos com isto um tempo de ciclo de 22 segundos para cada molde na zona de enchimento. Caso a linha de produção fosse 100% eficiente, tendo em conta que os operadores laboram 14 horas por dia (840 minutos), a produção seria de aproximadamente 22 700 unidades/dia, tal como podemos observar na Equação 11 apresentada de seguida. Na Equação 10 é refletido o valor de moldes produzido.

- **Tempo de Produção Diário:** 840 minutos;
- **Tempo de ciclo do molde:** 22 segundos (0.37 min).

$$Qtd \frac{\text{Moldes}}{\text{Operador}} = \frac{\text{Tempo de Produção Diário}}{\text{Duração das Tarefas}} = \frac{840}{0.37} = 2\,270 \text{ moldes} \quad (10)$$

$$\text{Unidades Produzidas} = \text{moldes} \times 10 = 2\,270 \times 10 = 22\,700 \text{ unidades} \quad (11)$$

De acordo com os cálculos apresentados, a produção de espaçadores de betão real e teórica é diferente, sendo que enquanto a produção real é de aproximadamente 21 000 unidades/dia, a produção teórica é de aproximadamente 22 700 unidades/dia. A produção real representa assim 92% da capacidade de produção da linha, tendo com isto um desperdício de 8% no tempo de produção.

A percentagem correspondente aos 8% de desperdício, na linha de produção atual, prende-se mais uma vez com o tempo de produção desperdiçado (aproximadamente 67 minutos). O tempo de produção desperdiçado contempla tempos de produção que resultam em produtos defeituosos e tempos em que a linha de produção é interrompida. Esta interrupção pode acontecer devido a vários fatores.

Um dos fatores do tempo de paragem da linha de produção deve-se à desmoldagem ineficaz dos moldes. Quando o processo de desmoldagem não consegue desmoldar todos os espaçadores de betão do molde (10 Unidades), o operador é responsável pela desmoldagem destes manualmente quando os deteta no primeiro centro de trabalho (1º Enchimento). O tempo que o operador perde na desmoldagem dos espaçadores que anteriormente não foram desmoldados, é o tempo que a linha de produção está interrompida. Durante o processo de desmoldagem manual, a linha de produção não avança devido aos centros de trabalho estarem pendentes entre si. Assim que o operador no centro de trabalho 1 acaba de desmoldar manualmente, procede a tarefa de enchimento respetiva ao centro de trabalho e de seguida a linha de produção avança.

Um outro fator que contribui para o tempo de produção desperdiçado é o facto de o operador ter que esperar pelo abastecimento de betão quando este termina. O operador é o responsável pela ordem para a produção de betão, ou seja, é ele quem dá a ordem para iniciar o processo de betão quando deteta que o nível de betão na tremonha é baixo. Este sistema tem a desvantagem de o operador se poder distrair na deteção do nível de betão e com isto atrasar a ordem de produção, que conseqüentemente irá atrasar o abastecimento de betão.

Por fim, o tempo de produção desperdiçado inclui indiretamente o desperdício de matéria-prima. Este desperdício acontece quando o robot responsável pelo empilhamento de moldes no final da zona de enchimento, onde já foram usados recursos e tempo de produção, não consegue transportar o molde desde a última zona da linha de enchimento até à respetiva pilha de moldes. O transporte anteriormente referido não é possível de fazer quando o molde se apresenta bastante contaminado/sujo. A extrema sujidade presente no molde impossibilita que a ferramenta do robot consiga fixar o molde em condições de transporte, deixando-o cair.

A queda do molde tem como consequência a degradação dos espaçadores de betão, o tempo desperdiçado pelos operadores e ainda a degradação do molde com a queda deste.

### **Conformação de Arame**

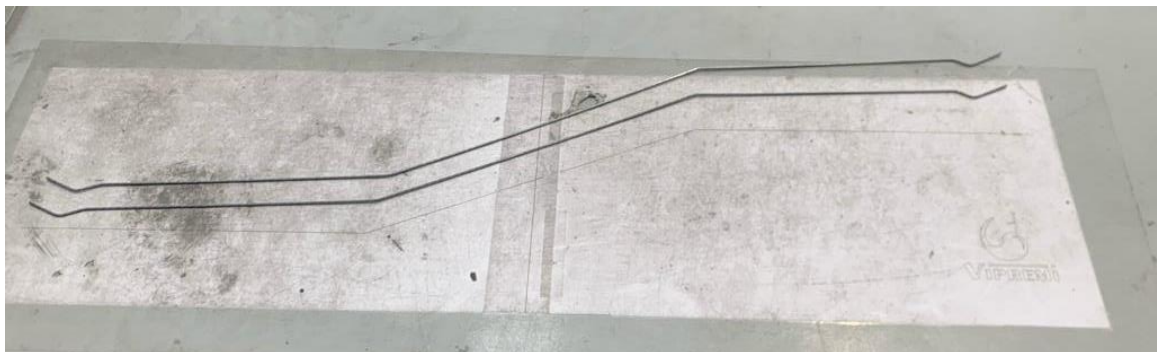
Como referido anteriormente, existia um problema na conformação do arame utilizado na produção de espaçadores de betão. A conformação do arame é um processo fundamental,

sendo que o arame deve ter uma forma específica em “Z” e sem empenos, tal como referido anteriormente e demonstrado na Figura 17.

A forma pretendida no arame conformado nem sempre é conseguida, tendo por isso de haver uma inspeção com alguma frequência para minimizar o número de arames conformados de forma errada e assim intervir com mais antecedência.

Devido a este problema surge a aplicação da ferramenta *Jidohka*. A Ferramenta *Jidohka* tem como objetivo o controlo e inspeção da produção do arame conformado para se proceder à paragem do equipamento quando é detetada a produção não conforme, fazendo com que não sejam criados produtos defeituosos.

A ferramenta *Jidohka* implementada teve como base um gabarito com a forma do arame pretendido numa bancada, perto da zona de conformação de arame, para o operador realizar várias vezes ao dia a inspeção. Na Figura 50 está representado o gabarito.



**Figura 50 – Gabarito**

A ferramenta tem como objetivo posicionar o arame na bancada de trabalho, garantindo a sua planicidade, assim como inspecionar a forma “Z” do arame.

Para além da alteração do processo de conformação do arame foi adquirida uma nova máquina de conformação, devido ao aumento de produção de espaçadores de betão. Como referido acima, existiu um aumento de produção de espaçadores, o que significa um aumento no consumo de arames.

Tendo em conta o número mínimo de espaçadores produzidos na linha de produção inicial, 12 000 espaçadores, e o tempo de produção de cada arame, na Equação 12 está indicado o tempo que demora a fazer o número de arames necessários para a produção inicial.

Tendo em conta o aumento da produção de espaçadores de betão, na Equação 13 está indicado o novo tempo mínimo necessário para a produção de todos os arames conformados.

Cadência Arame: 5.2 seg/Un

Tempo de Produção: 1020 minutos (17 horas)

Arames Conformados necessários na Linha Inicial: 12 000 Un;

Arames Conformados necessários na Linha Atual: 21 000 Un;

$$\textit{Tempo Produção Arame Linha Inicial} = 12\ 000 \times 5,2 = 62\ 400 \textit{ segundos} \quad (12)$$

$$\textit{Tempo Produção Arame Linha Atual} = 21\ 000 \times 5,2 = 109\ 200 \textit{ segundos} \quad (13)$$

Na linha inicial, de acordo com os cálculos acima, para uma produção de 12 000 arames diários, a máquina teria que estar a produzir durante 17 horas, como se pode verificar na Equação 14. Na Equação 15 está apresentado o novo tempo de funcionamento que a máquina teria de estar a funcionar para a produção do número de espaçadores atual, 21 000 espaçadores.

1 Hora = 3 600 Segundos

$$\textit{Tempo Produção Arame Linha Inicial} = \frac{62\ 400}{3600} = 17,33 \textit{ Horas} \quad (14)$$

$$\textit{Tempo Produção Arame Linha Atual} = \frac{109\ 200}{3600} = 30,33 \textit{ Horas} \quad (15)$$

Como podemos analisar na Equação 15, a máquina teria de produzir durante 30 horas para produzir o número de arames necessários. Como indicado acima, o horário de funcionamento da linha e conseqüentemente do equipamento é de 17 horas. Para tal, e de

forma a colmatar a falha na produção de arames, foi necessário a aquisição de uma segunda máquina.

Na avaliação da nova linha de produção, comparativamente à primeira, podemos verificar que os problemas detetados inicialmente foram resolvidos, à exceção do tempo de produção desperdiçado.

A nova linha para além de ter sido alterada no sentido a resolver os problemas detetados, de forma a aumentar a produção foi igualmente pensada para melhorar numa forma contínua, procurando sempre aspetos que podem resultar numa melhoria continua e com isto uma produção mais eficiente.

### **Controlo da Paletização**

Como indicado na descrição da linha de produção atual, foi adicionado um controlo por contagem através de laser quando os espaçadores avançam da zona de desmoldagem para a zona de paletização. Mais uma vez, encontramos presente a ferramenta *Jidohka*. Esta ferramenta permite que não existam erros nas quantidades de espaçadores de betão paletizadas, garantindo sempre a mesma quantidade de espaçadores por palete.

O transporte desde a zona de desmoldagem até à zona paletização é feito por um transportador, ou seja, o robot coloca os espaçadores de betão no início do transportador, este desloca-os até ao fim do transportador e quando os espaçadores alcançam o fim do transportador, existe um outro robot que os paletiza. Entre as duas posições (Entrada e saída dos espaçadores) está instalado um contador que emite um feixe de laser. Cada vez que o feixe de laser é interrompido com a passagem de um espaçador de betão, o contador conta uma unidade. Se o contador tiver contabilizado 10 unidades, o conjunto de espaçadores segue o ciclo sendo paletizados. Caso o contador não contabilizar as 10 unidades, este envia sinal ao robot para que o conjunto de espaçadores seja colocado de parte.

Na Figura 51 podemos observar parte da zona de paletização, assim como a bancada onde o robot coloca o conjunto de espaçadores de betão para mais tarde serem paletizados manualmente.



**Figura 51 - Controlo da Paletização**

### **Implementação 5S**

Um dos sentidos da ferramenta 5s, mais propriamente o “*Seiso*”, indica que a limpeza do local de trabalho permite um melhor desempenho e um ambiente de trabalho mais agradável. De forma a garantir o local de trabalho limpo, foram colocados tabuleiros de retenção para os excedentes de betão em toda a Zona de Enchimento. Estes tabuleiros irão garantir que os excedentes de betão e de desmoldante não caiam no chão durante o processo de produção, e dessa forma a zona de trabalho permaneça limpa. Esta melhoria é igualmente importante porque irá facilitar aos operadores a limpeza da área de trabalho no final de cada turno. Na Figura 52 podemos verificar em pormenor os tabuleiros em causa.



**Figura 52 - Tabuleiros de retenção**

Através da implementação de tabuleiros de retenção de material foi possível observar um novo desperdício, o desperdício de matéria-prima. Este desperdício pode não ser resultado da implementação da nova linha, mas como atualmente é possível verificar a quantidade de

betão retida nos tabuleiros é igualmente possível verificar se existe ou não um desperdício. Na linha inicial, este desperdício estava disfarçado sendo que era diluído por toda a área de trabalho (chão de fábrica) e não centrado como atualmente (tabuleiros).

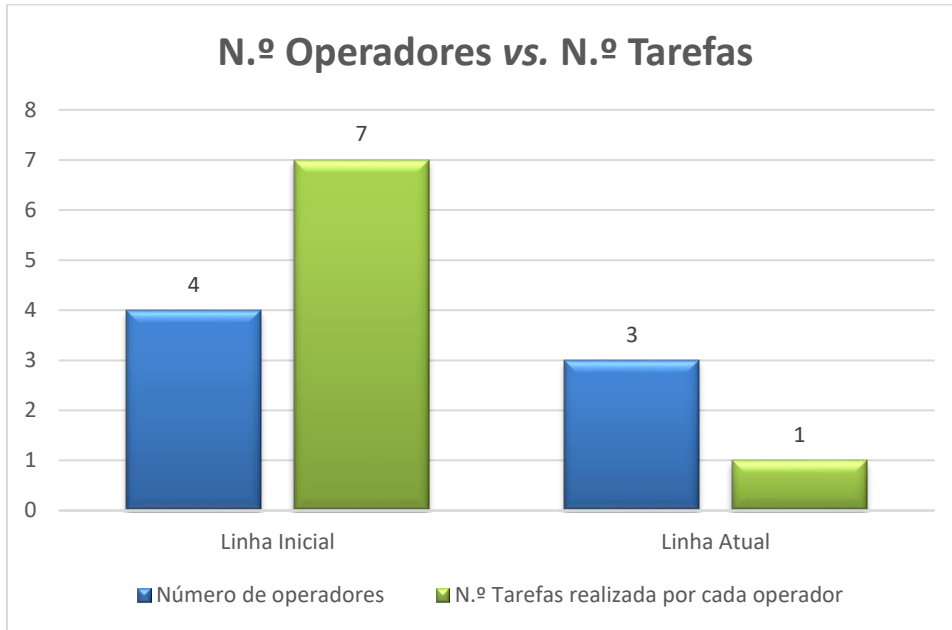
### **3.4.Comparação Linha Inicial vs. Linha Atual**

Posteriormente à análise dos problemas da linha inicial e à resolução dos mesmos por parte de instalação da linha atual, serão neste capítulo comparados vários fatores fundamentais ao funcionamento da linha.

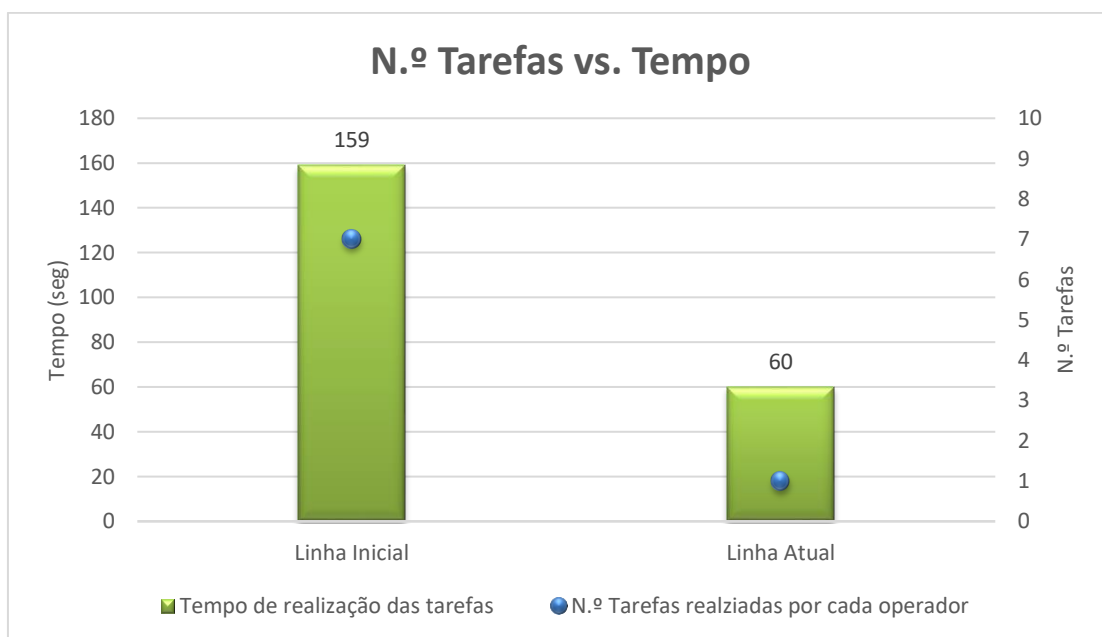
Um dos fatores alterados na implementação da nova linha, foi a redução de recursos humanos, ou seja, o número de operadores a laborar na linha. Na linha inicial estavam a laborar 6 operadores, sendo que na linha de produção atual unicamente encontram-se a laborar 4 operadores. Esta redução como indicado anteriormente, advém de uma alteração do *layout*, que através do balanceamento da linha não só otimizou os tempos de produção como também reduziu o número de operadores.

No gráfico abaixo está representada a comparação do número de operadores com o número de tarefas realizadas por cada um, na zona de enchimento. A diferença do número de operadores total para o número de trabalhadores na zona de enchimento está relacionada com os operadores responsáveis pelas tarefas inerentes à linha de produção, 2 trabalhadores na linha inicial e 1 na linha atual.

Esta comparação serve para perceber que a otimização do número de operadores está relacionada com o número de tarefas realizadas por cada um na zona de enchimento.

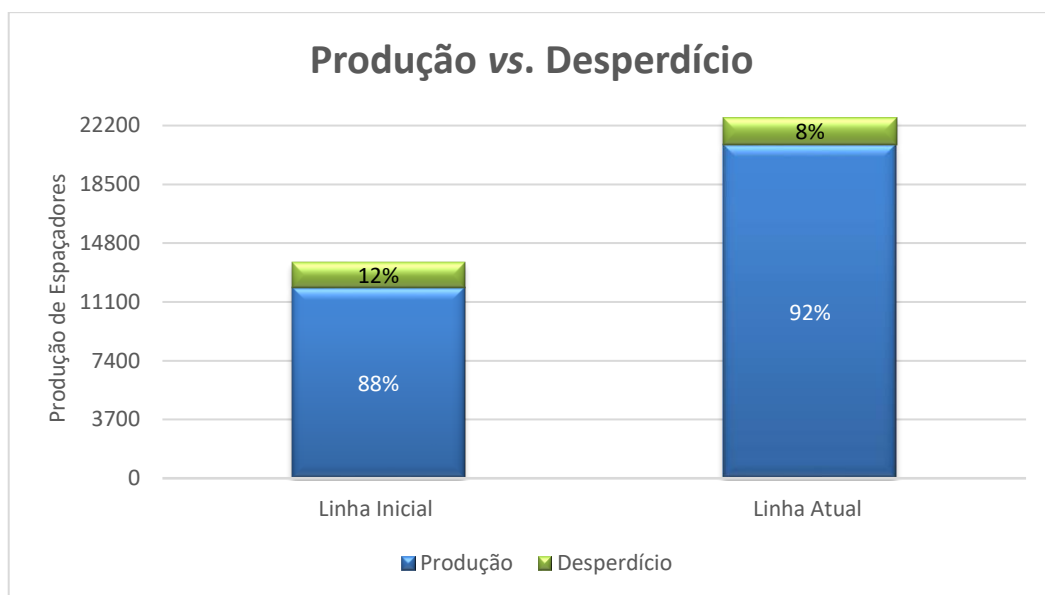


Como indicado, o tempo de operação na zona de enchimento reduziu, passando de 159 segundos para 60 segundos, por cada molde, ou seja, houve uma melhoria de 62% no tempo de operação por molde. Esta redução está relacionada com o número de tarefas realizadas por operador nesta zona. No gráfico seguinte será apresentada esta relação entre tempo de operação com o número de tarefas realizadas assim como a percentagem de otimização dos tempos.



Como consequência da redução do tempo de operação, houve um aumento de cerca de 75% da produção diária de espaçadores de betão. Na linha inicial eram produzidos em média 12 000 unidades e atualmente são produzidas em média 21 000 unidades. Este aumento está igualmente relacionado com a redução de desperdício da linha de produção.

No gráfico seguinte serão comparadas as quantidades de produção de espaçadores por dia com a percentagem de tempo de produção desperdiçado.



Como apresentado nos gráficos acima, a otimização da linha permitiu que fossem alcançados os objetivos definidos no presente projeto. Tendo em conta que a linha de produção deve estar em constante melhoria, no capítulo seguinte serão apresentadas propostas de melhoria à atual linha de produção com base nos problemas detetados no presente capítulo, nomeadamente o tempo de produção desperdiçado.

## 4. Propostas de Melhoria

Tendo em conta o objetivo de melhoria contínua da linha de produção de espaçadores de betão, este capítulo irá incidir em pontos da linha de produção atual onde ainda é possível a otimização da mesma.

Na análise da linha atual foram apresentadas as várias alterações realizadas de forma a otimizar a linha e assim resolver os desperdícios detetados na linha inicial. Nessa análise pode ser verificado que todos os desperdícios indicados anteriormente foram eliminados, à exceção de um, o tempo de produção desperdiçado.

O tempo de produção desperdiçado, existe em três alturas distintas, no tempo de espera do processo de enchimento, onde os operadores que terminam a tarefas primeiro tem de esperar que os outros terminem, o tempo de espera no processo de enchimento, onde os operadores têm de esperar pelo abastecimento de betão nas tremonhas e o tempo de espera relacionado com a desmoldagem manual dos espaçadores quando o processo de desmoldagem é ineficiente.

O tempo de produção desperdiçado relativo à desmoldagem ineficiente, consiste no tempo que o operador demora a desmoldar os espaçadores manualmente. Este tempo é um desperdício, sendo que a linha se encontra parada até o operador desmoldar os espaçadores e aplicar o desmoldante. Devido a este ser um problema que, ainda com baixa frequência, acontece ao longo do dia, existe a necessidade de diminuir/eliminar o tempo de produção desperdiçado pelo operador enquanto este executa a desmoldagem manual.

A solução para este problema implica a implementação de uma ferramenta de gestão visual, a ferramenta *Andon*, como demonstrado na Figura 53. Esta ferramenta será implementada na zona de desmoldagem, logo a seguir à desmoldagem do molde.

Através da ferramenta *Jidohka*, implementada anteriormente no controlo de unidades paletizadas por palete, ao detetar quantidades de espaçadores diferentes de 10, para além de não as paletizar, o que já acontecia, irá agora acender uma luz (erro na linha de produção – cor vermelha).



Figura 53 - Ferramenta Gestão Visual [32]

Quando acontecer este problema, a luz vermelha será acionada e o 4º operador, que não está alocado a nenhuma posição, irá proceder à remoção antecipada do(s) espaçador(és) de betão do molde antes deste alcançar o pórtico de aplicação de desmoldante. Desta forma, o operador do Centro 1 não terá de realizar a desmoldagem e esse tempo desperdiçado será eliminado.

Relativamente ao desperdício do tempo de produção, temos igualmente o tempo desperdiçado quando os operadores têm que aguardar para que sejam reabastecidas as tremonhas. Os operadores responsáveis pelos enchimentos do molde (1º Enchimento e 2º Enchimento) podem atrasar a ordem de produzir e abastecer betão, sendo esses os responsáveis por dar a ordem para o mesmo. Quando a ordem para produzir e abastecer as tremonhas com betão é enviada com atraso, o(s) operador(es) terão que aguardar o abastecimento das tremonhas com betão.

De forma a contornar o erro, poderão ser instalados nas tremonhas de betão dos centros de enchimento sensores de nível, como demonstrado na Figura 54. Os sensores de nível irão permitir limitar a quantidade de betão entre duas posições distintas:

- **Nível mínimo [S1]:** quantidade de betão mínima admissível para que não haja tempos de espera até ao próximo abastecimento.
- **Nível máximo [S2]:** quantidade de betão máxima definida pela capacidade da tremonha.

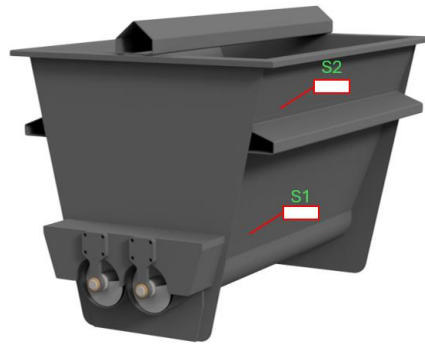


Figura 54 - Sensores de Nível na Tremonha

Quando o sensor de nível mínimo deixar de detetar o betão o mesmo dá ordem para que seja reabastecida até ao nível máximo.

De forma a garantir a existência de betão no balde doseador para abastecer as tremonhas, serão igualmente aplicados, como representado na Figura 55, sensores de nível no balde doseador com funções idênticas:

- **Nível mínimo [S3]:** Envia ordem para produzir betão;
- **Nível máximo [S4]:** Paragem de abastecimento de betão no balde doseador por parte da betoneira.

No mesmo seguimento do abastecimento da tremonha, quando o sensor mínimo deixa de detetar betão envia uma ordem para que seja produzido de novo betão.



Figura 55 - Sensores de Nível no Balde Doseador

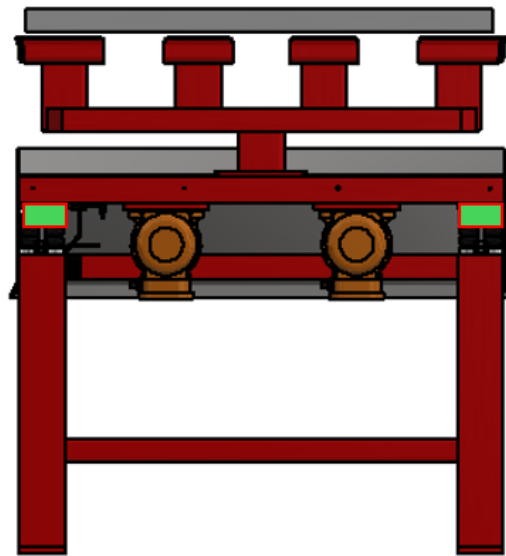
Relativamente aos desperdícios relacionados com os tempos de espera, unicamente dois deles podem ser facilmente eliminados, de forma que o processo seja mais eficiente. O tempo de espera relacionado com o tempo dos operadores, é algo que não pode ser facilmente alterado, tendo em conta a diferença dos tempos de realização das tarefas. Estes tempos não são constantes, sendo variáveis ao longo do dia. Dessa forma, não serão realizadas melhorias à linha de forma a eliminar o mesmo.

Na linha de produção atual, foram implementados tabuleiros de retenção ao longo da linha de forma que os excedentes fossem retidos no mesmo e assim o local de trabalho encontrar-se mais limpo e arrumado. Na implementação dos mesmos, foi possível verificar que as quantidades de excedentes que durante o dia caem para os tabuleiros correspondem a valores que apresentam um impacto pouco significativo.

Mesmo sendo este um impacto pouco significativo, entende-se com isto que a quantidade de betão colocada nos espaçadores não é igual em todos, contribuindo para espaçadores diferentes. Devido ao mesmo, será apresentada uma proposta de melhoria, de forma a garantir a uniformização do betão depositado no molde e diminuir consequentemente a quantidade de excedentes de betão que caem nos tabuleiros de retenção.

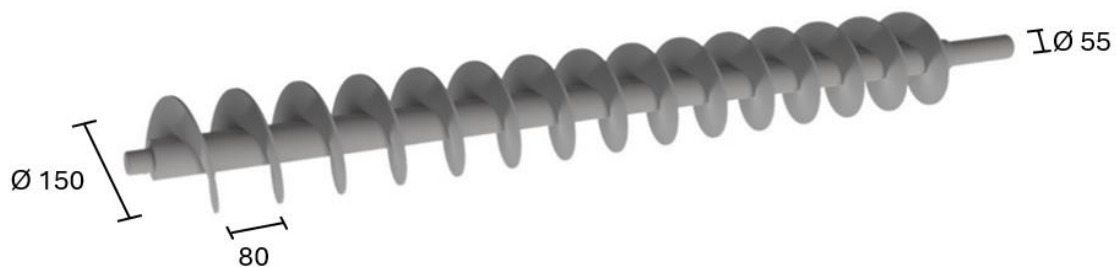
Com o objetivo de uniformizar a quantidade de betão depositada nos moldes, podem-se aplicar nas estruturas de elevação dos moldes células de carga que interrompem o débito de betão assim que a quantidade de betão desejada for alcançada, garantindo assim que a quantidade de betão presente no molde não varia.

Na Figura 56, representado a verde, encontram-se as células de carga. As células de carga são sensores eletromecânicos usados para medir forças ou pesos. Baseia-se na transferência de uma força/peso aplicado, na deformação do material e no fluxo de eletricidade [35].



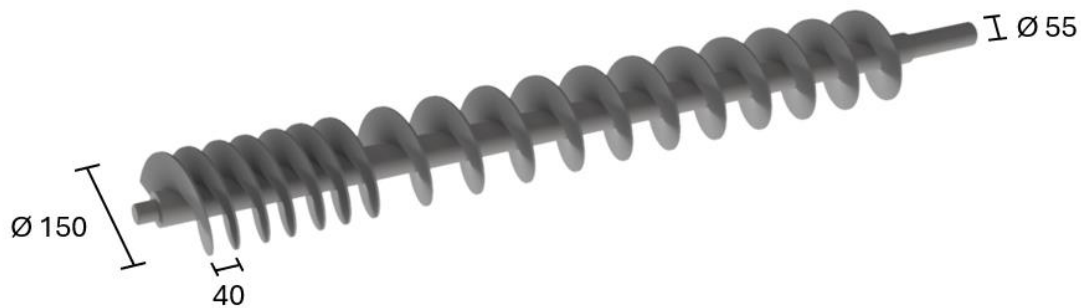
**Figura 56 - Pesagem do Molde**

Para auxiliar a interrupção do abastecimento de betão no molde, é sugerido alterar o tipo de sem-fim usado, na Figura 57 está representado o sem-fim existente na linha atual, assim como as suas especificações.



**Figura 57 - Sem-Fim Existente**

Para um maior controlo na quantidade de betão debitado pelo sem-fim, devemos duplicar a palheta existente na zona de descarga de forma a criar um passo duplo, como apresentado na Figura 58. Esta duplicação vai criar um débito de betão no molde mais preciso devido à redução de material possível de cair caso o sem-fim não termine a rotação.



**Figura 58 - Sem-Fim Passo Duplo**

A cada rotação do sem-fim existente, Figura 57, o volume de betão deslocado é de  $0,00128\text{m}^3$  (Equação 19). Através dos cálculos das áreas (Equações 16, 17 e 18) foi-nos possível obter o volume correspondente ao betão deslocado (Equação 19) e o respetivo peso de betão (2,3 kg) (Equação 20) como apresentado nos cálculos a seguir:

$$A_{\text{veio}} = \pi r^2 = \pi \times 25^2 = 1\,963,5 \text{ mm}^2 \quad (16)$$

$$A_{\text{Palheta}} = \pi r^2 = \pi \times 75^2 = 17\,671,5 \text{ mm}^2 \quad (17)$$

$$A_{\text{útil}} = A_{\text{Palheta}} - A_{\text{veio}} = \text{Passo Palheta} = 15\,708 \text{ mm}^2 \mid 0,016 \text{ m}^2 \quad (18)$$

$$\text{Vol.}_{\text{Passo}} = A_{\text{útil}} \times \text{Passo} = 0,016 \times 0,08 = 0,00128 \text{ m}^3 \quad (19)$$

- $\rho_{\text{Betão}} = 1,8 \text{ kg/m}^3$

$$\text{Betão deslocado}_{\text{rotação}} = 1\,800 \times 0,00128 = 2,3\text{kg} \quad (20)$$

Se a interrupção do sem-fim existente acontecer em rotações incompletas, o betão presente no volume correspondente ao passo do sem-fim pode cair para o molde. Ainda que não sejam colocados os 2,3 kg de betão no molde, ou seja, a quantidade correspondente ao passo, após a interrupção do abastecimento, a possibilidade de ser depositada uma quantidade de betão extra (máximo 2,3 kg) está presente e significa que caso aconteça existirá betão em excesso no molde.

Com a alteração do sem-fim para passo duplo, a capacidade de débito do sem-fim não será alterada, mas diminui-se a quantidade de betão extra no molde. Neste caso, a interrupção do débito, quando feita em rotações incompletas, debita um máximo de 1,15 kg, metade do valor comparativamente ao sem-fim atual.

Com a implementação desta alteração, a linha garante espaçadores com a mesma matéria-prima e com menos desperdício, sendo que a quantidade de betão por molde estará mais uniformizada.

De acordo com a análise realizada à linha de produção atual, todos os problemas foram parcialmente resolvidos.

No seguimento da melhoria continua da linha de produção foi iniciado um estudo para a substituição de um operador por um robot, nomeadamente no centro de trabalho n.º 2 da zona de enchimento.

A tarefa associada no centro de trabalho n.º 2 (Inserção do arame) baseia-se no posicionamento do arame no molde. Devido ao trabalho neste centro ser monótono e repetitivo, pensou-se na substituição do operador pelo robot. Na Figura 59 está apresentado um esquema da substituição em causa.



**Figura 59 - Substituição do Operador pelo Robot**

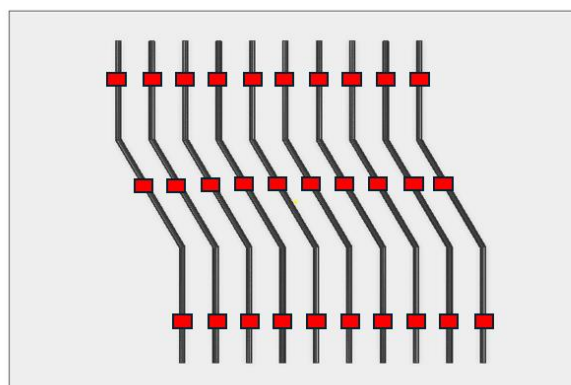
A aplicação do robot na linha de produção traz com ela alguns aspetos a ter em conta. Um dos aspetos fundamentais a ter em conta é a segurança. O isolamento do robot por parte dos

operadores é fundamental para a segurança e bom funcionamento do mesmo, tal como podemos verificar na Figura 59. Para além de isolar o robot, este deve ser um robot colaborativo, em que caso surja algum erro (mecânico ou elétrico) este não atinja os obstáculos em volta danificando algum equipamento no meio envolvente ou até mesmo o próprio robot.

Um outro aspeto a ter em conta é o posicionamento dos arames e moldes, sendo que é obrigatório que os arames/moldes estejam sempre na mesma posição para o robot os pegar/depositar, quando estes tiverem um desvio (acima da tolerância) o robot não irá funcionar como deveria, originando perturbações na linha.

De forma a garantir o mesmo posicionamento, idealizou-se criar bases com espaços definidos para os 10 arames do molde, onde um operador tem um processo de preparação e os coloca sempre na mesma posição dos arames nas bases. Para a substituição do operador pelo robot, é necessário ter um operador a previamente preparar as bases com os arames. Sem este passo é impossível a substituição.

Da mesma forma que foi criada a base para a colocação dos arames, o robot terá de ter instalada uma ferramenta que permita transportar os arames das bases, sem os tirar da posição, até ao molde. Esta ferramenta deverá ter igualmente em atenção a forma Z do arame conformado. Para isso foi idealizada uma ferramenta com 3 “pinças magnéticas” por arame, acionadas por um eletroímã. As 3 pinças não permitem a rotação do arame por estas não se encontrarem alinhadas no mesmo eixo. Na Figura 60 está representada a secção transversal da ferramenta no momento do contacto das pinças magnéticas com o arame.

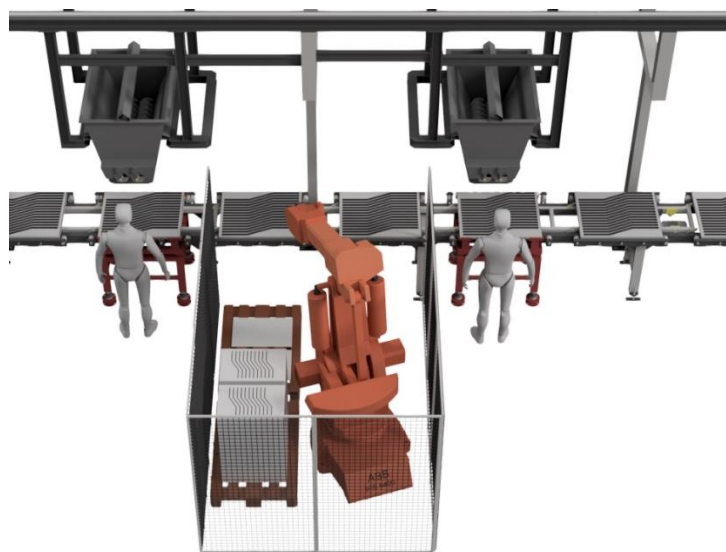


**Figura 60 - Ferramenta em Contacto com o Arame**

Como o molde apenas está cheio de betão até metade da sua capacidade, a ferramenta terá de conseguir transportar os arames conformados até ao nível do betão sem contactar com o molde. Para isso, a ferramenta será descontínua para que esta consiga descer até ao betão sem entrar em contacto com o molde e posicionar os arames corretamente.

O robot terá de ter instalada uma ferramenta de dupla função, uma para alcançar e posicionar os arames conformados no molde, como anteriormente referido. A segunda função da ferramenta será retirar a base onde estavam posicionados primeiramente os arames e retirar a base para a pilha das bases sem arames. Desta forma, garante que os arames da base seguinte estejam acessíveis para um novo ciclo.

Na Figura 61, está representada a pilha de bases com arames conformados assim como o espaço disponível para o robot posicionar as bases vazias. As pilhas de bases com arames têm de ser abastecidas nas interrupções programadas da linha mesmo que estas não tenham acabado, evitando assim a paragem não programada da linha para abastecimento dos arames.



**Figura 61 - Espaço Trabalho Robot**

Com a implementação deste robot, deixamos de ter a necessidade constante de 3 operadores na zona de enchimento, contudo é necessário o abastecimento dos arames por um operador, este não tem de estar unicamente vinculado a esta tarefa.

Como explicado na descrição da linha de produção atual, no final da linha de produção de espaçadores de betão, quando os espaçadores tiverem prontos para a sua expedição, o quarto operador terá de transportar a paleta para a zona de armazenamento. Caso o operador não retire a paleta completa o robot irá ficar em repouso afetando a produção. O operador terá uma tolerância de duas paletes para realizar a tarefa em causa. O robot conclui uma paleta e inicia automaticamente a segunda, contudo o operador tem de retirar a paleta completa até o robot terminar de completar a segunda.

Esta paragem da linha poderá ser evitada se forem colocados transportadores de rolos automatizados para criar um “*buffer*” até ao final do turno. Este *buffer* dará ao operador tempo para a realização de outras tarefas, sendo que não é necessário recolher as paletes até ao final do turno.

Na Figura 62 está representado o novo *layout* da linha de produção com os transportadores de rolos automatizados implementados (delimitados a verde), assim como a instalação do robot na zona de enchimento (igualmente delimitados a verde). O novo layout encontra-se também apresentado no Anexo D.

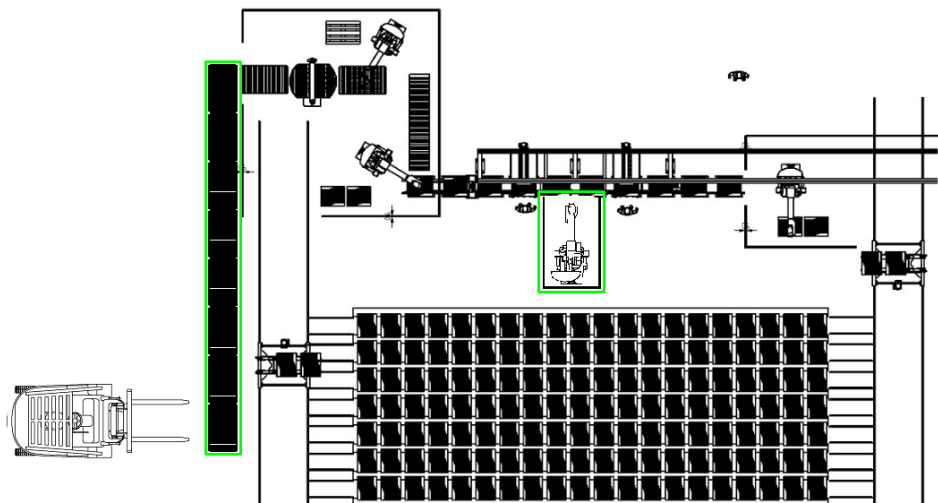


Figura 62 - Layout Otimizado

Como explicado na descrição da linha atual, foram adquiridos moldes para proceder à cura dos espaçadores de forma a reduzir a produção defeituosa. Devido à recente instalação da

linha de produção de espaçadores de betão, não nos é possível identificar o tempo de vida útil do molde. Contudo, cada vez que o robot/operador deixa cair o molde a probabilidade de este se quebrar é elevada. Cada molde que se quebra, não estando em condições de funcionamento, é substituído por um novo molde.

O molde é constituído por uma estrutura metálica que envolve a zona moldante em plástico como se pode verificar na Figura 63.



Figura 63 - Molde

Tendo em conta que o molde é composto por plástico, será sempre essa parte que terá maior probabilidade de se quebrar, sendo que a outra parte é composta por metal.

O plástico é o material utilizado para a zona moldante dos espaçadores de betão devido a vários fatores, impossibilitando assim a sua eliminação:

- **Durabilidade** - O plástico é resistente o suficiente para suportar a pressão do betão durante o processo de moldagem, sendo menos propício a corroer-se quando exposto à humidade ou produtos químicos presentes no betão;
- **Facilidade de Desmoldagem** - o plástico é um material que pode ser facilmente removido após o betão ter endurecido, o que simplifica o processo de desmoldagem;
- **Custo** - o plástico é uma opção mais económica comparado com outros materiais para a fabricação das zonas moldantes;
- **Peso** - o plástico é geralmente mais leve do que materiais alternativos, o que facilita o manuseio e transporte dos moldes.

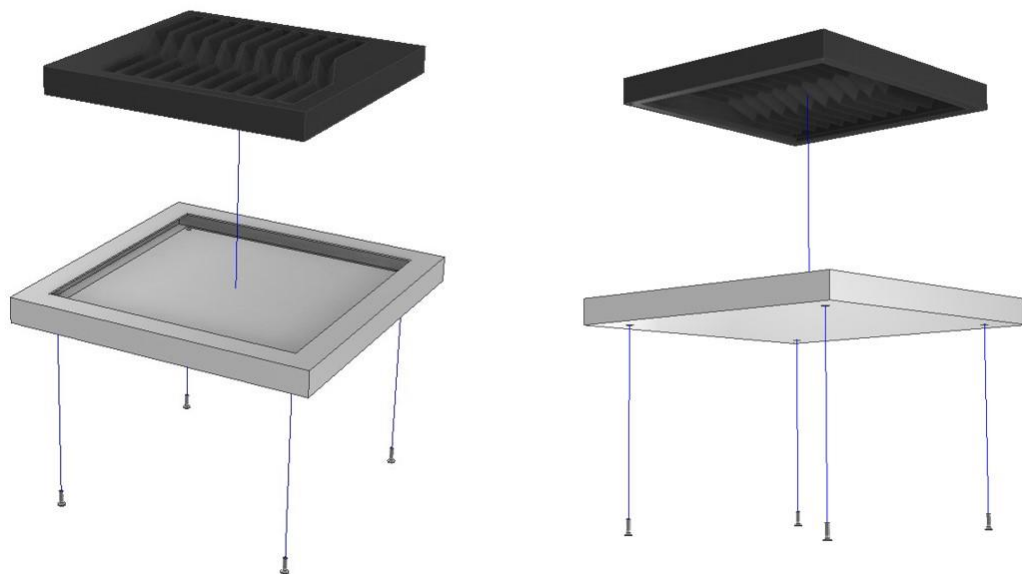
Devido a todos os fatores anteriormente descritos, não se pensa trocar o plástico como o material para as zonas moldantes dos espaçadores de betão, contudo podem existir alternativas na conceção do molde.

O molde dos espaçadores de betão, como anteriormente referido, quebra-se com a queda deste. Devido ao facto da aquisição de novos moldes ser um custo para a empresa (ainda que mínimo), pensou-se na hipótese, caso o molde seja sujeito à queda e se a estrutura metálica não tiver empenos, deste ser aproveitado e unicamente substituir a parte plástica.

A união da estrutura metálica envolvente da zona moldante (material plástico) é feita através de ligações adesivas, devido a esta ser capaz de unir materiais diferentes de forma eficaz e duradoura. Para impedir a contaminação e deposição de material no interior do molde, é aplicado um vedante em toda a junta, conforme pode ser visto na Figura 63.

Esta ligação pode ser alterada de forma que a substituição seja feita de forma rápida e eficaz, quando este não tiver em condições de funcionamento.

Abaixo encontra-se o um esboço com a proposta para a alteração do molde, Figura 64.



**Figura 64 - Vista Explodida Molde**

## 5. Conclusão

No presente capítulo são apresentadas as conclusões alcançadas neste projeto, considerando os objetivos propostos e alcançados no final da implementação das melhorias à linha de produção em estudo.

O principal objetivo deste projeto foi a otimização da linha de produção de espaçadores de betão na empresa Vipremi, de forma a aumentar a sua produtividade (aumento na ordem dos 50%) e consequentemente reduzir os recursos e tempo de produção, através da implementação de ferramentas *Lean Manufacturing*. Tendo em contra o objetivo definido, foi realizada uma análise completa à linha de produção inicial de forma a poder avaliar quais os pontos da linha de produção que deveriam ser alterados de forma a otimizar a mesma. Os principais desperdícios estavam relacionados com os movimentos e transporte desnecessário (operadores realizavam tarefas que não acrescentavam valor ao produto), produção defeituosa (devido a não ser realizada cura havia um número de espaçadores que não eram passíveis de ser comercializados) e ainda um fluxo descontínuo que resultavam num *layout* não otimizado.

Após terem sido identificados e analisados os desperdícios assim como estudada a melhor forma para otimizar a linha, foi implementada a linha que no dia de elaboração do projeto encontra-se a operar. Esta linha conseguiu assim combater todos os desperdícios detetados, de forma a poder cumprir com todos os objetivos definidos, sendo que os três desperdícios foram eliminados assim como tornado o processo num fluxo contínuo e eficiente.

Desta forma, pode-se concluir que com as alterações indicadas na linha de produção foi possível atingir os objetivos definidos, aumento de mais de 50% na produção de espaçadores de betão diários (produção média diária atualmente encontra-se nos 21 000 espaçadores), redução do tempo de produção dos espaçadores, zona de enchimento, passou para 60 segundos (diminuição de cerca de 62% do tempo) assim como diminuir os desperdícios (não passíveis de determinar percentagem certas).

Tendo em conta o objetivo da melhoria contínua da linha de produção, recomenda-se como trabalho futuro que sejam analisados igualmente as propostas de melhoria à linha de espaçadores, com o objetivo de eliminar os já identificados desperdícios da linha atual.

## Bibliografia ou Referências Bibliográficas

- [1] J. Reis, “APEB - Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto,” novembro 2021. [Online]. Available: <https://www.apeb.pt/Docs/Betao45.pdf>. [Acedido em 23 outubro 2023].
- [2] Vorne, “Lean Production,” 2023. [Online]. Available: <https://www.leanproduction.com/>. [Acedido em 23 outubro 2023].
- [3] Vipremi, “Vipremi,” [Online]. Available: <https://vipremi.pt/sobre-nos>. [Acedido em 19 setembro 2023].
- [4] N. Skhmot, “What is Lean?,” THE LEAN WAY BLOG, 5 08 2017. [Online]. Available: <https://theleanway.net/what-is-lean>. [Acedido em 12 02 2024].
- [5] “Como a Ford transformou o automóvel num bem de consumo de massas,” National Geographic Portugal , 17 10 2019. [Online]. Available: [https://www.nationalgeographic.pt/historia/como-a-ford-transformou-o-automovel-num-bem-consumo-massas\\_2232](https://www.nationalgeographic.pt/historia/como-a-ford-transformou-o-automovel-num-bem-consumo-massas_2232). [Acedido em 13 02 2024].
- [6] “História do Lean System,” Lean Way Consulting , [Online]. Available: <https://www.leanway.com.br/entenda-o-lean-system/historia-do-lean-system/>. [Acedido em 12 02 2024].
- [7] A. Kulkarni, “Toyota Production System,” 25 01 2016. [Online]. Available: <https://worldofagile.com/blog/toyota-production-system/>. [Acedido em 10 02 2024].
- [8] D. T. J. D. R. M. I. o. T. James P. Womack, em *Machine that Changed the World*, 1990.
- [9] S. Hofrimann, “5 princípios da filosofia lean para aplicar em qualquer tipo de processo,” holmes, 29 11 2021. [Online]. Available: <https://holmes.app/blog/principios-da-filosofia-lean/>. [Acedido em 23 03 2024].
- [10] M. Borges, “Os 5 Princípios do Lean: Rumo à Eficiência na Indústria,” 20 10 2023. [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/os-5-princ%C3%ADpios-do-lean-rumo-%C3%A0-efici%C3%Aancia-na-ind%C3%BAstria-michel-borges/?originalSubdomain=pt>. [Acedido em 23 03 2024].
- [11] L. I. Brasil, “Muda, Mura, Muri - Tipos Atividades que Geram Desperdícios,” [Online]. Available: <https://www.lean.org.br/conceitos/78/muda-mura-muri---tipos-atividades-que-geram-desperdicios.aspx>. [Acedido em 11 02 2024].

- [12] “O que são Muda, Mura e Muri? Os 3 M’s do desperdício no Lean Manufacturing e como remover desperdícios!,” Scanavino & Partners, 17 05 2019. [Online]. Available: <https://www.easylean.it/News.asp?Id=336&Nome=Cosa-sono-Muda,-Mura-e-Muri?-Le-3-M-di-spreco-nella-Lean-Manufacturing.-E-come-rimuovere-gli-sprechi>. [Acedido em 09 02 2024].
- [13] J. d. Silva, “Lean manufacturing 2-os 7 tipos de desperdicio,” SlideShare, 12 outubro 2012. [Online]. Available: <https://pt.slideshare.net/jparsilva/lean-manufacturing-2os-7-tipos-de-desperdicio>. [Acedido em 09 03 2024].
- [14] F. A. Picchi, “Entenda os “7 desperdícios” que uma empresa pode ter,” Lean Institute Brasil, 18 10 2017. [Online]. Available: <https://www.lean.org.br/artigos/1131/entenda-os-%E2%80%9C7-desperdicios%E2%80%9D-que-uma-empresa-pode-ter.aspx>. [Acedido em 03 02 2024].
- [15] “10 Métodos e Ferramentas do Lean Thinking,” Estrategor Consulting, [Online]. Available: <https://estrategor.pt/lean-thinking/>. [Acedido em 05 02 2024].
- [16] “Metodologia 5S: o que é e como aplicar na sua empresa,” Manutan, 18 11 2019. [Online]. Available: <https://www.manutan.pt/blog/metodologia-5s-o-que-e-como-aplicar-empresa/>. [Acedido em 04 02 2024].
- [17] A. Portugal, “Os 9 princípios da metodologia Kaizen,” AP Portugal , [Online]. Available: <https://blog.apportugal.com/pt/os-9-principios-da-metodologia-kaizen>. [Acedido em 07 02 2024].
- [18] “LEAN MANUFACTURING: 5 FERRAMENTAS QUE DEVE CONHECER,” ACCEPT, 09 10 2019. [Online]. Available: <https://www.accept.pt/lean-manufacturing-5-ferramentas-que-deve-conhecer/>. [Acedido em 28 01 2024].
- [19] B. Lopez, “Plan-Do-Check-Act Model: An Effective Process Planning Tool,” Triaster, 18 04 2018. [Online]. Available: <https://blog.triaster.co.uk/blog/plan-do-check-act-model-an-effective-process-planning-tool>. [Acedido em 13 02 2024].
- [20] T. Coutinho, “Conheça agora a Ferramenta Manutenção Produtiva Total!,” Voitto, 06 09 2017. [Online]. Available: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/ferramenta-tpm>. [Acedido em 28 01 2024].
- [21] M. Soares, “O que é Andon?,” Labone, [Online]. Available: <https://www.laboneconsultoria.com.br/o-que-e-andon/>. [Acedido em 12 03 2024].
- [22] D. H. d. Silva, “RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO – CORROSÃO DAS ARMADURAS – ESTUDO LEVANTADO NO CENTRO

- OESTE DE MINAS GERAIS,” Nucleo de Conhecimento , 08 10 2018. [Online]. Available: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/recuperacao-de-estruturas>. [Acedido em 15 01 2024].
- [23] “ESPAÇADOR DISTANCIADOR RÉGUA Z ONDULADA,” Topeca, [Online]. Available: <https://topeca.pt/pt/product/regua-distanciador-z-ondulado>. [Acedido em 15 01 2024].
- [24] V. F. S. Antunes, “Influência do filer no comportamento de mastiques betuminosos,” 11 2013.
- [25] V. S. K. & R. V. Devalkar, “International Journal of Construction Management,” *Postural analysis of building construction workers using ergonomics*, pp. 464-471, 26 03 2018.
- [26] C. M. C. P. Sampaio, “CARACTERIZAÇÃO DO BETÃO ATRAVÉS DE TÉCNICAS NÃO-DESTRUTIVAS,” 01 2010.
- [27] R. J. M. Fevereiro, “Definição de Layout, fluxos de produção e capacidades de uma,” 06, 29, 2012.
- [28] Terzoni, “Layout de produção: entendendo o que são e os mais comuns nas indústrias,” Lean Blog, 07 03 2019. [Online]. Available: <https://terzoni.com.br/leanblog/layout-de-producao/>. [Acedido em 09 03 2024].
- [29] Ó. Gonçalves, “Incorporação de práticas curriculares nas escolas,” *CP Cadernos de Pesquisa*, 17 05 1984.
- [30] A. S. Godoy, “Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades,” *Revista de Administração de Empresas*, 18 04 1995.
- [31] R. Almeida, “BALANCEAMENTO DE LINHAS DE PRODUÇÃO,” Universidade de Aveiro , 2015. [Online]. Available: <https://ria.ua.pt/bitstream/10773/15642/1/Balanceamento%20de%20linhas%20de%20produ%C3%A7%C3%A3o.pdf>. [Acedido em 09 03 2024].
- [32] “Fluxo Contínuo,” Lean Institute Brasil, 25 09 2009. [Online]. Available: <https://www.lean.org.br/artigos/366/fluxo-continuo.aspx>. [Acedido em 15 02 2024].
- [33] G. a. Soares, “VSM no Combate ao Desperdício por NORTEGUBISIAN,” Ronin Consultoria, [Online]. Available: <https://qualityway.wordpress.com/2018/06/23/vsm-no-combate-ao-desperdicio-por-nortegubisian/>. [Acedido em 09 03 2024].