

**DESENVOLVIMENTO DO MAPA DE FLUXO DE VALOR POR MEIO DA  
MANUFATURA DIGITAL SIMULADA NO SETOR DE FUNDIÇÃO DE UMA  
EMPRESA METALMECÂNICA**

**DEVELOPMENT OF THE VALUE STREAM MAP THROUGH SIMULATED  
DIGITAL MANUFACTURING IN THE FOUNDRY SECTOR OF A  
METALWORKING COMPANY**

JEFERSON MARCELO DA SILVA

Centro Universitário UNISOCIESC/ Jeferson.silva@unisociesscom.br

Prof. Dr. ORLANDO PRETI

Centro Universitário UNISOCIESC / preti@unisociesscom.br

**Resumo:**

este artigo tem como objetivo geral projetar e avaliar o mapa de fluxo de valor por meio da manufatura digital simulada no setor de fundição de uma empresa do ramo metalmeccânico.

Design/Metodologia/Abordagem: A metodologia utilizada foi a pesquisa quantitativa, com base no diagnóstico da situação encontrada do setor de fundição da empresa em estudo, avaliando aspectos como desperdícios existentes, desvios de qualidade e nível de produtividade das etapas do processo produtivo.

Limitações da pesquisa: O presente artigo está limitado ao setor de fundição da empresa em que a pesquisa foi realizada, evidenciando as oportunidades de melhoria deste setor com relação qualidade e produtividade, por meio da utilização do mapa de fluxo de valor.

Originalidade/valor e Resultados: A importância deste trabalho reside na redução de desperdícios do setor de fundição, por meio da elaboração do mapa de fluxo de valor da situação futura, o qual foi projetado com auxílio do Software Plant Simulation, integrando assim, os conceitos de manufatura enxuta no referido setor.

**Palavras-chave:** *manufatura enxuta. fundição. mapa de fluxo de valor. plant simulation.*

**Abstract:**

Goal This article has as general objective to design and evaluate the value flow map through simulated digital manufacturing in the foundry sector of a metalworking company.

Design/Methodology/Approach: The methodology used was quantitative research, based on the diagnosis of the situation found in the founding sector of the company under study, evaluating aspects such as existing waste, quality deviations and productivity level of the stages of the production process.

**Limitations of the research:** This article is limited to the foundry sector of the company in which the research was carried out, evidencing the opportunities for improvement of this sector with regard to quality and productivity, through the use of the value flow map.

**Originality/value and Results:** The importance of this work lies in the reduction of waste from the foundry sector, through the elaboration of the value flow map of the future situation, which was designed with the aid of Software Plant Simulation, thus integrating the concepts of lean manufacturing in that sector.

**Keywords:** *lean manufacturing. foundry. value stream map. plant simulation.*

## 1. INTRODUÇÃO

Devido às condições do mercado mundial e à necessidade de atender clientes cada vez mais distantes, as empresas necessitam do aprimoramento contínuo de seus processos produtivos, buscando otimizar ao máximo o potencial produtivo de seus processos, por meio da eliminação de desperdícios e gargalos produtivos e de fatores geradores de desvios de qualidade.

É evidente que qualquer organização precisa diminuir seus custos e aumentar a sua produtividade, Ohno (1997) afirma que o sistema que se destaca como uma abordagem importante nesse ambiente é denominada manufatura enxuta, que consiste na adequação do sistema produtivo em termos de redução de custo, produção sem defeitos (WOMACK; JONES, 1998) e é orientada para as necessidades dos clientes.

Menezes, Wood, Gelade, (2010) consideram que a melhoria contínua, uma das características da manufatura enxuta, não pode ser alcançada sem a participação dos funcionários. Portanto, para que se atinja um estado ideal são necessárias diversas mudanças no sistema produtivo para que o mesmo trabalhe de acordo com o planejado (STANDRIDGE; MARVEL, 2006).

O arranjo físico do setor de fundição da empresa em estudo apresenta deficiências na distribuição de máquinas, equipamentos e postos de trabalho, o que acarreta em baixa capacidade produtiva, geração de gargalos, má ergonomia e desvios de qualidade devido ao arranjo físico desfavorável gerando aumento da necessidade de mão de obra.

Para identificar os desperdícios e oportunidades de melhoria no setor em estudo, foi realizado o diagnóstico da situação encontrada e por meio do Mapeamento de Fluxo de Valor (MFV) com o qual visualizam-se os diversos tipos de desperdícios existentes.

Rother e Shook (1999) apresentam um método de simulação com base em melhorias no contexto da manufatura enxuta, já Standridge e Marvel (2006) reforçam que ela é um complemento às técnicas e métodos utilizados na manufatura enxuta.

Com auxílio do software de Simulação Plant Simulation, torna-se possível a visualização das melhorias a serem implementadas no arranjo físico e, assim, a elaboração do Mapa de Fluxo de valor do Estado Futuro. Diante deste contexto a presente pesquisa visa utilizar a combinação do mapeamento do fluxo de valor e o Plant Simulation para a melhoria do processo produtivo de fundição, demonstrando como exemplo a fabricação de uma família de peças produzidas no setor de fundição de uma empresa do setor metalmeccânico.

A utilização de Mapeamento de Fluxo de Valor em conjunto com um software de simulação de arranjos físicos, baseia-se em trabalhos realizados por diversos autores como Standridge; Marvel (2006), Menezes, Wood e Gelade (2010), entre outros, que justificam o benefício de ambas, obtendo-se resultados melhores do que a utilização de somente o MFV.

Smith e Standridge e Marvel (2006) apresentam métodos de simulação com base em melhorias no contexto da manufatura enxuta, como a redução de desperdícios, produção digital, redução de estoques e alta produção. Tais autores abordam a utilização da simulação para o auxílio na tomada de decisão nos processos industriais e reforçam que a simulação complementa as técnicas e os métodos utilizados na manufatura enxuta.

Diante dessa realidade, surge a pergunta que motivou a realização desta pesquisa: como o Software Plant Simulation pode contribuir para a análise das atividades de manufatura a fim elaborar o mapa do estado futuro e seu respectivo plano para implementá-lo, de forma a realizar melhorias do ponto de vista de manufatura enxuta?

Com base nesse questionamento, pode-se afirmar que o objetivo geral desse artigo é projetar e avaliar o mapa de fluxo de valor por meio da manufatura digital simulada no setor de fundição de uma empresa do ramo metalmeccânico.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 MANUFATURA ENXUTA

Atualmente as organizações vêm buscando novas formas de gestão que as encaminhem para uma maior competitividade com produtividade e qualidade, uma delas é conhecida como Manufatura Enxuta e também é um termo genérico usado para definir o Sistema Toyota de Produção - STP.

Liker (2005) enfatiza que o conceito de Manufatura Enxuta foi desenvolvido por um grupo de pesquisadores do Massachusetts Institute of Technology (MIT) e sua definição baseou-se no método de gerenciamento e produção do STP desenvolvido por Toyoda e Ohno, da Toyota.

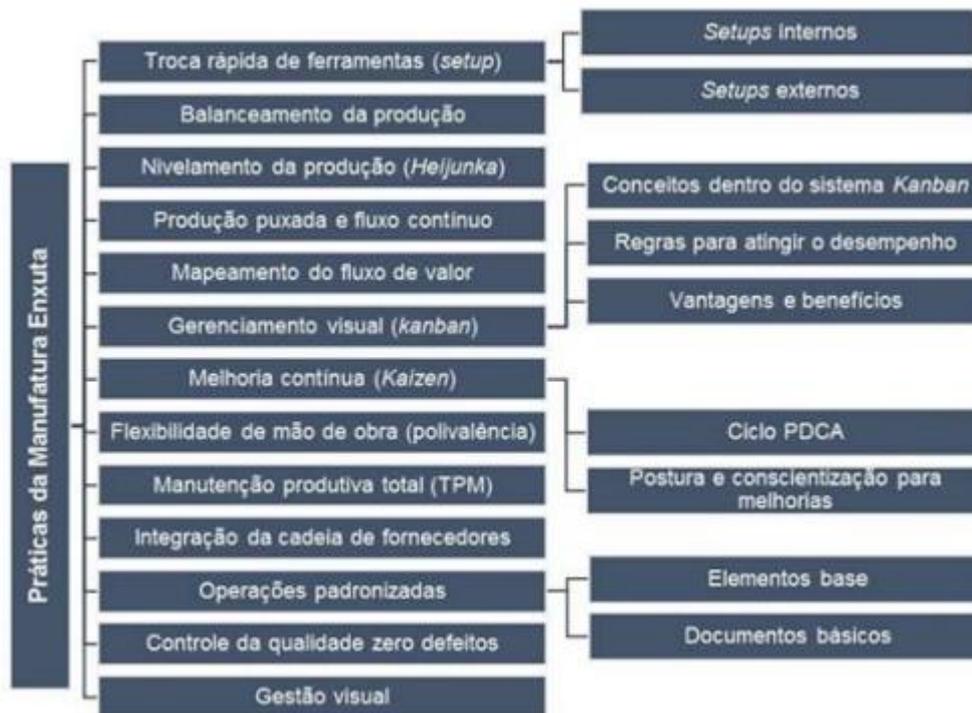
Womack e Jones (2004) ainda diz que teve origem no Japão e foi se espalhando pelo mundo pelo resultado positivo que apresentou para indústrias automobilísticas e posteriormente foi se adaptando a organizações de manufaturas industriais de forma abrangente.

A manufatura enxuta abrange uma série de práticas gerenciais dentre elas está o Just in time, o melhoramento contínuo dos processos, sistemas de qualidade, manufatura celular, manufatura digital, desperdício zero dentre outras (Womack e Jones, 2004).

Para Ohno (1997), a manufatura enxuta tem como objetivo a eliminação dos desperdícios e dos elementos desnecessários, com a finalidade de reduzir custos.

Em uma de suas abordagens Shingo (1996) concretiza esta ideia conceituando-a como a busca de novas tecnologias que sejam produtivas utilizando o mínimo de recursos e em curto prazo, tendo em vista produtos sem defeitos e eliminando o desperdício, o autor considera como desperdícios qualquer produto que não atenda expectativas do cliente final, tais como, preço, qualidade, forma e prazo. Concluindo este pensamento, tem-se como entendimento que tal manufatura vem com o objetivo de eliminar possíveis desperdícios que possam gerar gastos tendo em vista o aumento da produtividade e lucratividade com menos gastos e em menos tempo, utilizando práticas, técnicas e ferramentas da manufatura enxuta, conforme Figura 1.

**Figura 1 - Técnicas e Ferramentas da Manufatura Enxuta**



Fonte: Lazzarotto (2010)

A melhor maneira de descrever a produção enxuta é contrastá-la com seus predecessores: produção artesanal e produção em massa. A produção artesanal utiliza trabalhadores altamente qualificados e com ferramentas específicas produzem exatamente o que o cliente deseja tendo o mesmo o que ele quer, porém com um preço elevado. A produção em massa foca em profissionais de habilidades específicas que operam em máquinas de uma só função, devido aos diversos recursos utilizados por esse modelo de produção, e aos altos gastos e desperdícios o resultado é que o consumidor tem menores custos, porém com uma menor variedade, e os trabalhadores tendem a achar sua parte do trabalho repetitiva e monótona, sendo um ponto negativo para a produção. Pelo contrário a manufatura enxuta recorre aos trabalhadores com diversas habilidades e máquinas altamente flexíveis aproveitando os recursos e diminuindo os desperdícios (GROOVER, 2011).

A manufatura enxuta é uma gestão baseada na melhoria contínua, o que requer o envolvimento e o comprometimento de todos na organização e fornece uma oportunidade para melhorar os resultados em termos de qualidade, custos e prazos de entrega (BIAZZO, 2000; FREITAS et al., 2014).

## 2.2 OS OITO DESPERDÍCIOS

Existem vários desperdícios visíveis em um sistema produtivo, mas nem todos os desperdícios podem ser evitados. Os desperdícios podem ser classificados: nos que agregam e nos que não agregam valor ao processo (LIKER, 2005).

Marchwinski e Shook (2003) definem desperdício como qualquer atividade que consome recursos, mas não agrega valor ao cliente. Existem dois tipos de desperdícios: tipo 1 e tipo 2. O tipo 1 não agrega valor, mas é inevitável dentro de uma determinada situação. Um exemplo seria a inspeção de pontos de solda para garantir a segurança. O tipo 2 não agrega valor e pode ser imediatamente eliminado.

Ohno (2007) enfatiza que na maioria dos fluxos de valor, as atividades que realmente agregam valor para o cliente são uma pequena fração do total de atividades. Portanto, a eliminação de grande número de desperdícios é a maior fonte potencial de melhorias do desempenho corporativo e de serviço ao cliente. Para que este problema não ocorra, o fluxo dos materiais é fundamental no planejamento da produção. A seguir serão vistos os principais tipos de desperdícios.

- Desperdício de superprodução: Pode-se dizer que a produção antecipada provém de problemas e restrições do processo produtivo como: altos tempos de preparação de equipamentos, produção de grandes lotes, incerteza da ocorrência de problemas de qualidade, grandes distâncias para percorrer com o material, em função de um *layout* inadequado, entre outros (LIKER, 2005).
- Desperdício de movimento: refere-se na movimentação desnecessária dos operários que não agregam valor ao serviço. Este tipo de perda pode ser eliminado através de melhorias baseadas no estudo de tempos e movimentos (LIKER, 2005).
- Desperdício de estoques: este desperdício interage fortemente com todos os outros desperdícios. O desperdício de estoques, que além de ocultarem outros tipos de desperdício, significam desperdícios de investimento e espaço (LIKER, 2005).
- Desperdício de espera: refere-se ao material que espera para ser processado, formando filas que visam garantir altas taxas de utilização dos equipamentos. Entende-se que uma solução para esse tipo de desperdício é a sincronização do fluxo de trabalho das máquinas e o balanceamento das linhas de produção, evitando assim, que um processo fique esperando pelo término de outro (CORRÊA; CORRÊA, 2008).

- Desperdício de processamento: São perdas existentes ao longo do processo produtivos devidos ineficientes desempenho dos equipamentos causado por quebras de máquinas. O desperdício do processamento pode ser causado pela rejeição de algum material que ainda poderia ser utilizado para a produção (OHNO, 2007).
- Desperdício de transporte: o transporte dentro das instalações industriais é uma atividade que não agrega valor, passa a ser interpretado como desperdício e deve ser reduzido e se possível até mesmo eliminado (OHNO, 2007).
- Desperdício de produzir produtos defeituosos: fabricar produtos defeituosos significa desperdiçar materiais, mão-de-obra, uso de equipamentos, além da movimentação e armazenagem de materiais defeituosos e inspeção de produtos. Entende-se que os problemas de qualidade geram os maiores desperdícios do processo (OHNO, 2007).
- Desperdício da criatividade dos funcionários: a perda de tempo, idéias, habilidades, melhorias e oportunidades de aprendizagem por não envolver ou ouvir seus funcionários representam este desperdício (MARCHWINSKI; SHOOK, 2003).

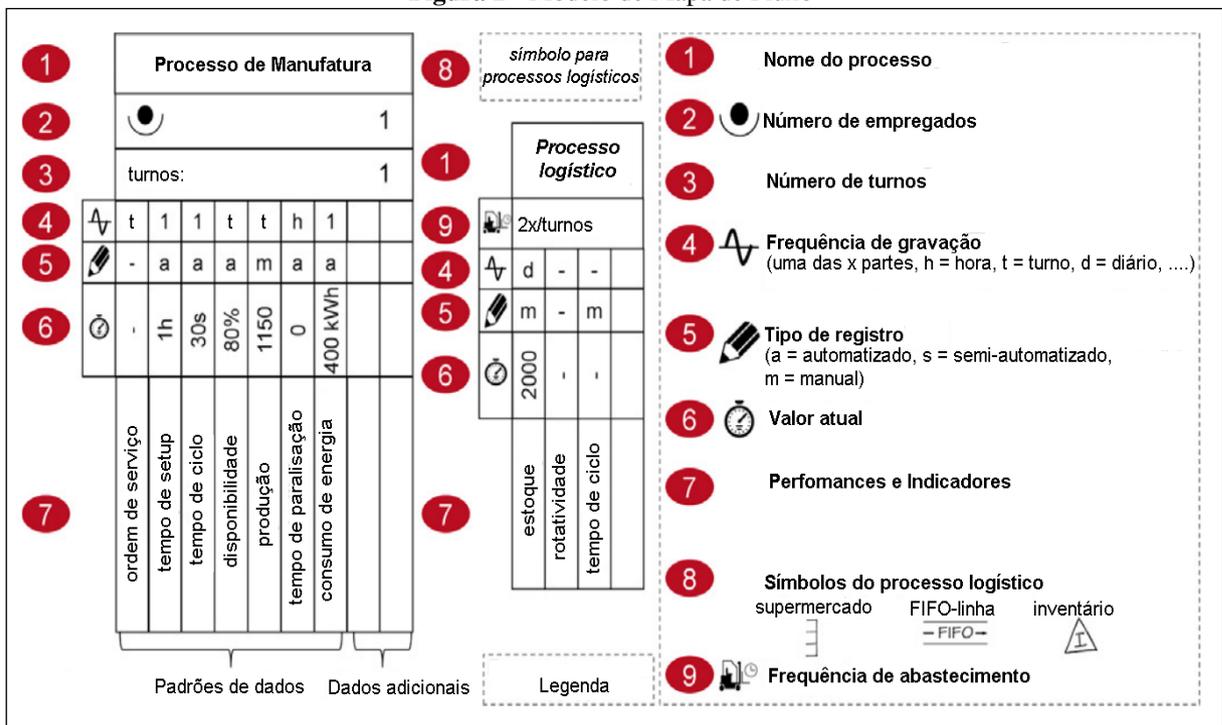
### 2.3 MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR

Esta técnica é fundamental para identificar os desperdícios e suas origens e também colabora para que possam ser implementadas as práticas da manufatura enxuta. Lazzarotto (2010) acrescenta que o mapeamento do fluxo de valor é uma importante ferramenta dentro da filosofia lean, pois proporciona uma visão sistêmica do processo e possibilita uma visão clara do fluxo, além de auxiliar na identificação de fontes de desperdícios.

Para que seja realizado o mapeamento do fluxo de valor torna-se necessário o entendimento do conceito de valor ao qual para Womack e Jones (1998), é feito pelo cliente e só é significativo quando expresso em termos de produto específico (bens ou serviços) e que possa atender às necessidades do cliente a um preço e momento específicos.

Os mapas têm a finalidade de mostrar o formato físico da produção (Figura 2) antes da implementação dos resultados propostos pelas ferramentas que, por sua vez, podem ser analisados no mapa do estado futuro a ser implementado.

Figura 2 - Modelo de Mapa de Fluxo



Fonte: Adaptado de Liker (2005)

A combinação do mapeamento do fluxo de valor com ferramentas da manufatura enxuta (Figura 1) possibilita visualizar dados para melhoria da produtividade conjunta com a redução de desperdícios. Essa ferramenta reúne técnicas e práticas que colabora para a coleta de dados do processo, possibilitando observar a origem de possíveis desperdícios e oportunidades de aprimoramento nos processos de fabricação (LIKER, 2005).

## 2.4 MANUFATURA DIGITAL

De acordo com Miller (2005) a Manufatura Digital é uma das alternativas com potencial de tornar os negócios mais competitivos e com foco de garantir que o produto seja definido, projetado e efetivamente manufaturado, com benefícios de redução dos ciclos de desenvolvimento do produto e dos custos de manufatura, aceleração do time-to-market, aumento da qualidade do produto, melhoria na disseminação do conhecimento do produto e com as ferramentas em três dimensões (3D) e a realidade virtual, possibilitam melhoras nos processos de manufatura.

## 2.5 PLANT SIMULATION

O software Plant Simulation é aplicada a linguagem SimTalk na qual consiste em abrir diversas possibilidades e recursos dentro do mesmo, como por exemplo identificar a geração de falhas e defeitos. O software plant simulation é fundamental na redução de desperdícios. Com seu principal recurso de simular projetos, processos e ações, auxilia na redução de futuros desperdícios projetando em 3D virtualmente toda atividade que será exercida, evitando não só gastos desnecessários, mas também analisando quaisquer acontecimentos futuros dentro do chão de fábrica (GERMANO; FERRE, 2015).

Segundo Miller (2005) o Plant Simulation é utilizado para aperfeiçoar simulações tais como fluxo de materiais em uma planta produtiva, transporte de materiais entre centros de distribuição, dimensionamento de estoques, dimensionamentos de mão de obra (Figura 3) e possui funções nas quais geram possibilidades e hipóteses que ajudarão na tomada de decisões sem afetar os processos existentes e até mesmo validar conceitos novos e inovadores.

**Figura 3 - Gráfico Sankey**



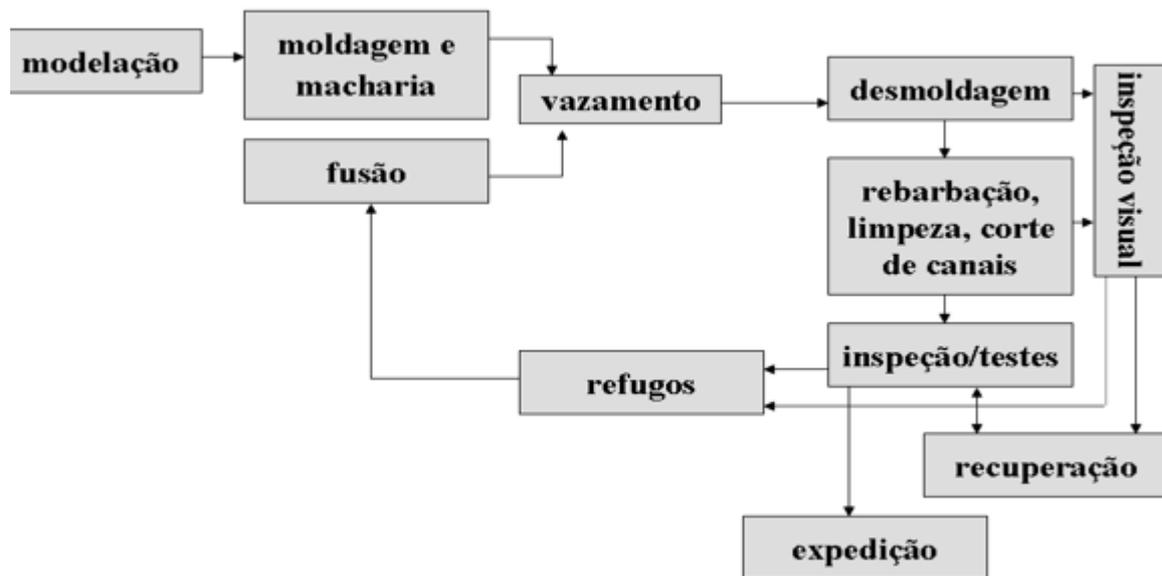
Fonte: Germano; Ferre (2015)

## 2.6 PROCESSO DE FUNDIÇÃO

Fundição é o processo de fabricação de peças metálicas que consiste essencialmente em encher com metal líquido a cavidade de um molde com formato e medidas correspondentes aos da peça a ser fabricada (CHIAVERINI, 2008).

Segundo Robert (2005), o princípio de todos os processos de fundição consiste na alimentação do metal líquido em uma determinada cavidade de um molde, com determinados formatos geométricos, seguindo-se então, de um resfriamento por um determinado período de tempo, a fim de se produzir objetos de características sólidas.

**Figura 4 - Fluxograma de um processo de fundição**



Fonte: Robert (2005)

## 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

As bases lógicas utilizadas nesta pesquisa se enquadram no método indutivo que parte da observação de eventos ou fenômenos cujas razões se deseja conhecer. No primeiro momento estudou-se o processo produtivo a fim de conhecer as causas que favoreciam para um fluxo

pobre da linha em estudo. O método indutivo está relacionado com a observação, à descrição dos eventos ou com os fenômenos observados, afirma Gil (2010).

Um dos métodos utilizados nesta pesquisa consistiu em criar um modelo de estrutura de suporte aos processos de implantação das atividades práticas juntamente com a realização do mapeamento de fluxo de valor no setor de Fundição integrando os conceitos da manufatura enxuta e o Plant Simulation, articulada a um produto que possui ampla gama de peças produzidas sob encomenda, avaliando as atividades que agregam e que não agregam valor, buscando a eliminação dos desperdícios identificados. A empresa em estudo é do setor metalmeccânico, situada na cidade de Joinville - Santa Catarina, onde foi analisada a melhoria no setor de fundição com a aplicação das ferramentas e conceitos propostos.

De acordo com o mesmo autor, em relação aos procedimentos técnicos do estudo o presente pré-projeto está enquadrado no tipo de pesquisa-ação, onde se tem participação do pesquisador no ambiente pesquisado, “visando uma alteração da realidade pesquisada, através da pesquisa”, ou seja, o presente pré-projeto baseou-se na literatura existente e por meio dela se propôs alterações no ambiente fabril que visassem um fluxo de valor enxuto.

A pesquisa realiza-se através da percepção dos indivíduos envolvidos no ambiente de trabalho onde estão inseridos e pelo levantamento de pesquisas bibliográficas, onde se sugere verificar quais práticas contribuirão para a implantação da manufatura enxuta com auxílio do Software Plant Simulation e a utilização do mapeamento do fluxo de valor dentro da empresa estudada. Contudo, a pesquisa utilizou como recursos e métodos dados quantitativos e qualitativos que auxiliaram nas sugestões futuras dentro da empresa.

### 3.1 DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO ATUAL DO SETOR DE FUNDIÇÃO

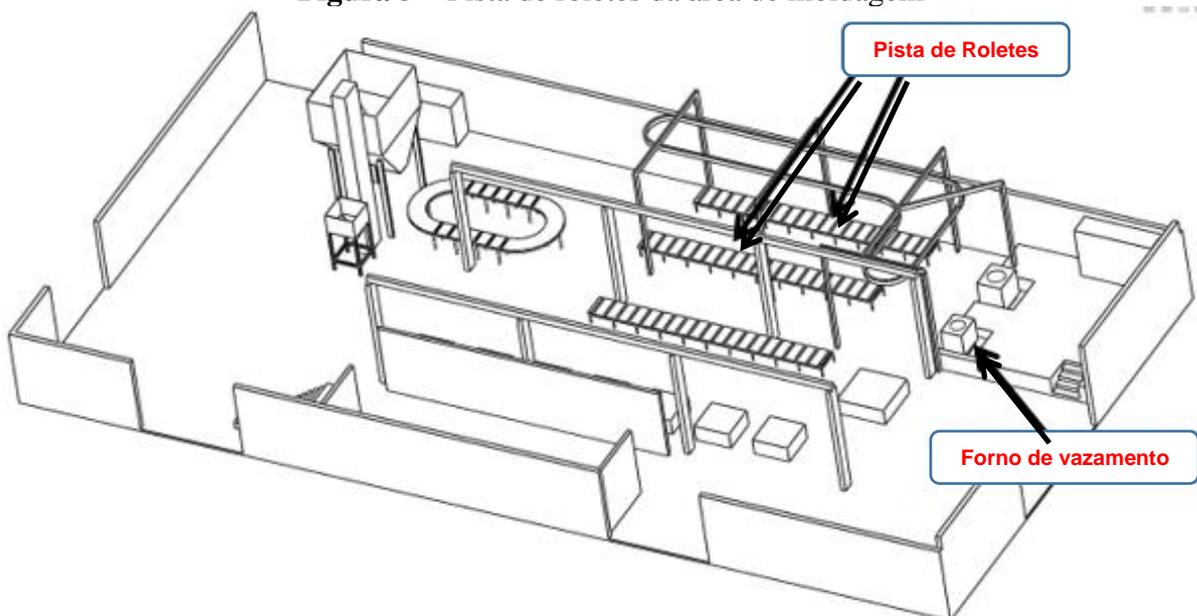
Inicialmente apresenta-se o projeto do atual setor de fundição da empresa em estudo, expondo os respectivos argumentos com as implicações em relação ao processo produtivo de peças de aços e ferros fundidos para o mercado de baixa e média seriação de acordo com “mix” atual de produção que consiste de peças de aços ao carbono, aços ligados, aços inox, ferro fundido branco e ferro fundido nodular, com massas entre 2 kg até 600 kg.

Para se obter o diagnóstico completo da situação atual do setor de fundição realizou-se a análise das etapas do processo produtivo de fundição, identificando as dificuldades existentes

que acarretam na formação de gargalos produtivos, paralisações na produção, dificuldades ergonômicas, estoques intermediários e aumento do lead time de produção.

Inicialmente foram verificadas as especificações técnicas da monovia utilizada para movimentação de panela para vazamento do metal fundido, avaliando se o equipamento suporta o peso da panela mais o metal fundido, para o caso de vazamento de conjuntos fundidos de até 1000 kg mais o peso da panela. Devido ao fato de não haver padronização de posicionamento dos funis nos moldes o vazamento dos moldes na pista de roletes fica dificultado. Durante o vazamento do metal fundido, respingos de aço fundido que caem sobre a pista de roletes ficaram presos entre os roletes e as partes fixas da pista de roletes, causando paralisação e destruição destes componentes. A remoção destes respingos poderá ser feita por corte com maçarico ou disco de corte, em ambos os casos haverá a destruição das peças da pista de roletes e atrasos na produção. A Figura 5 ilustra a pista de roletes do setor de moldagem.

**Figura 5** – Pista de roletes da área de moldagem



**Fonte:** O autor (2020)

Conforme ilustrado na Figura 5, os moldes de pequeno e médio porte seguem pela linha de roletes até a área de vazamento. No entanto, a falta de padronização dos funis de alimentação dos moldes gera dificuldades ao processo, além de riscos de acidentes aos operadores.

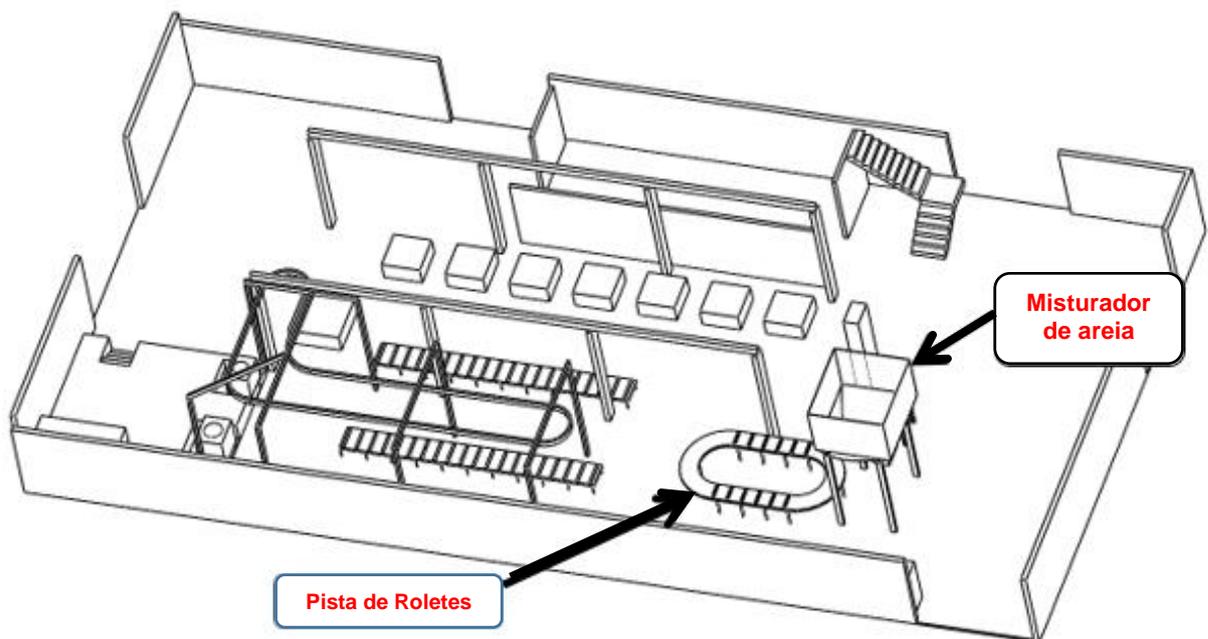
Sobre esta pista é feito o enchimento dos moldes com a mistura de areia do processo cura frio, aguarda-se a cura da mistura (endurecimento), faz-se a extração do molde, o qual em

seguida é transferido para a área de preparação do molde, onde se faz o corte de canais, limpeza e pintura.

Ao analisar o layout, constatou-se que a pista de roletes na moldagem não deve ser fechada, como está no projeto atual, pois desta maneira não se consegue fazer a moldagem de peças maiores na parte interna desta pista de roletes, a confecção rápida de machos maiores e a moldagem de modelos soltos sobre uma mesa, que deverá haver neste local.

A Figura 6 ilustra a pista de roletes da área de moldagem, que fica localizada sob o misturador de areia.

**Figura 6** – Pista de roletes de moldagem localizada sob o misturador de areia.



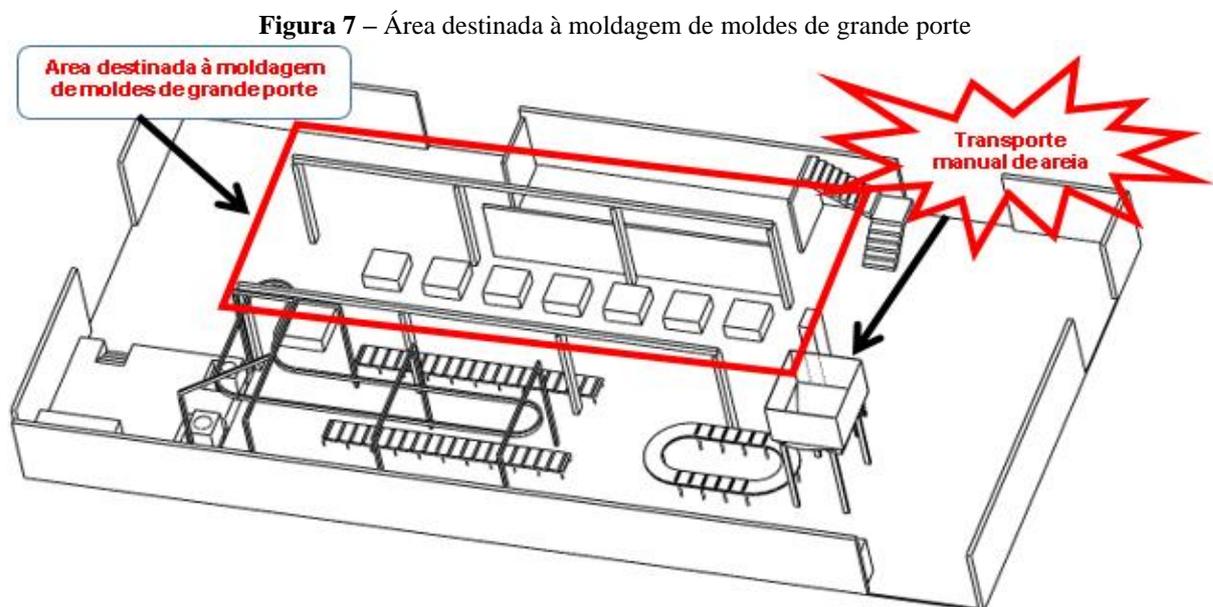
**Fonte:** O autor (2020)

Da maneira como está ilustrada na Figura 6, a moldagem de um molde com cerca de 0,5 a 2 m<sup>3</sup> de areia poderá levar cerca de 45 a 60 minutos e haverá desperdício de matéria-prima (areia) com o transporte, devido ao deslocamento de cerca de 7 a 10 metros, o qual é feito em baldes ou carrinhos, gerando fadiga e riscos de acidentes aos operadores.

Além disso, durante o transporte da areia preparada, ocorre neste tempo, o início do endurecimento (pré-cura) da mistura, isto tende a gerar molde com superfície fraca (friável,

solta areia com facilidade), e defeitos de fundição, como inclusões de areia e bolo quebrado poderão ocorrer nas peças.

A maioria dos moldes é fabricada no piso, por serem moldes de grande porte. Na configuração atual é necessário efetuar a parada do misturador e virá-lo para iniciar a preparação de areia. Antes disso, é necessário fazer a limpeza da calha de mistura. A Figura 7 ilustra a área destinada à moldagem de moldes de grande porte.



Fonte: O autor (2020)

De acordo com a configuração apresentada na Figura 7, ocorrerá desperdício de tempo e de aproximadamente 10 a 20 quilos de areia que serão descartados. Como o transporte de areia é efetuado com auxílio de um carrinho, ocorre o aumento do tempo total de processo o que propicia a ocorrência de desvios de qualidade como a pré-cura da areia no carrinho, isto gera molde com qualidade inferior em termos de resistência, acabamento superficial e desperdício de areia curada no interior do carrinho.

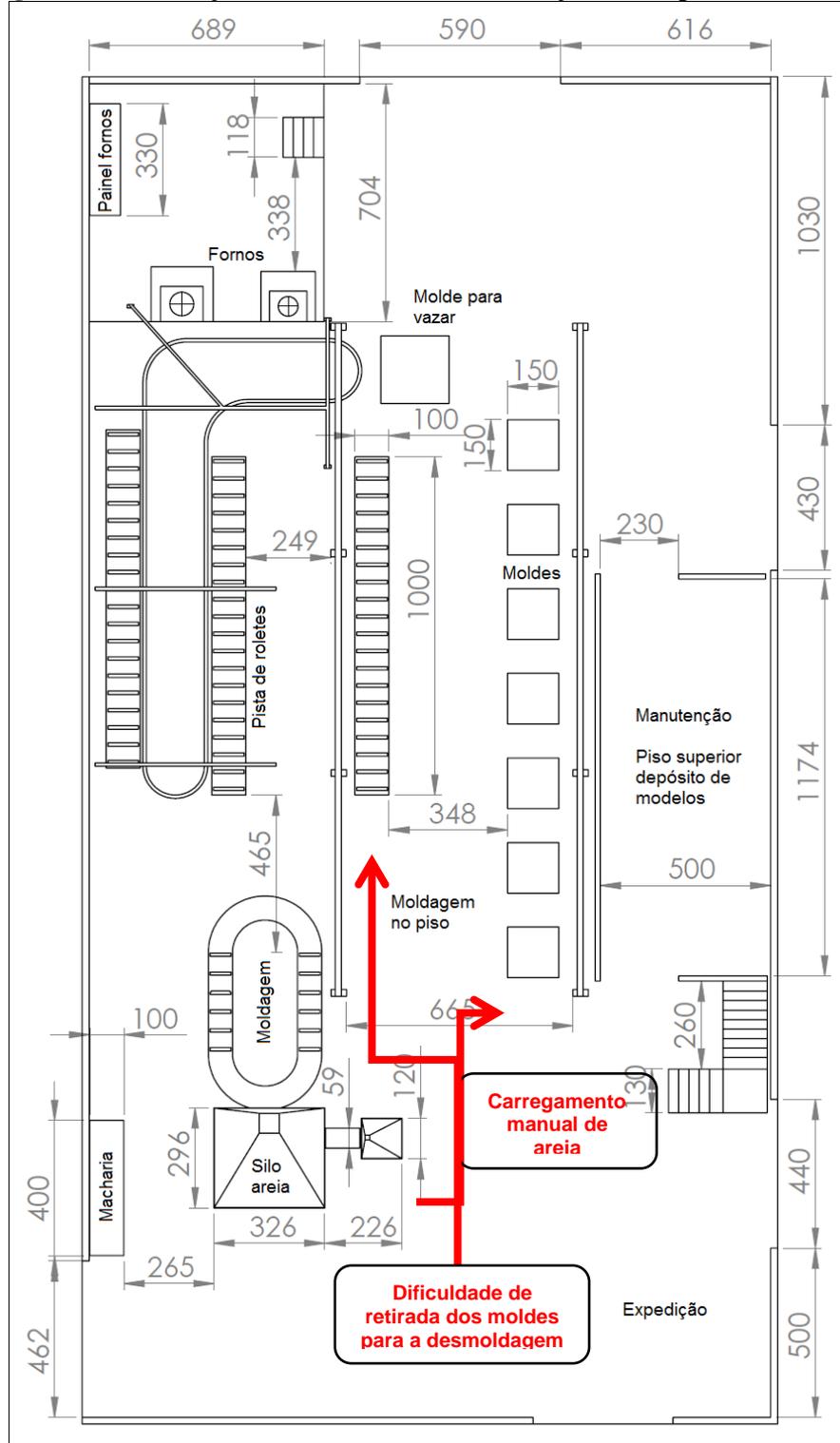
Dentre as dificuldades encontradas no processo, destaca-se a remoção dos moldes vazados da pista de roletes e sua condução até a área de desmoldagem.

Em geral, os moldes possuem um peso igual ou superior a 50 quilos e, por se tratar de um espaço reduzido, a empilhadeira não possui acesso ao local. Esta é uma operação que deve ser rápida e que deve evitar ao máximo a fadiga dos operadores.

Na configuração atual, apresentada na Figura 8, ocorre o desperdício de tempo para realizar a movimentação dos moldes da pista de roletes para desmoldagem. Constata-se a ausência de um carro intermediário para fazer a transferência dos moldes da pista de roletes para a área ao lado onde a empilhadeira possui o acesso.

A Figura 8 ilustra as instalações atuais do setor de fundição da empresa em estudo.

**Figura 8** – Instalações atuais do setor de fundição da empresa em estudo



Fonte: O autor (2020)

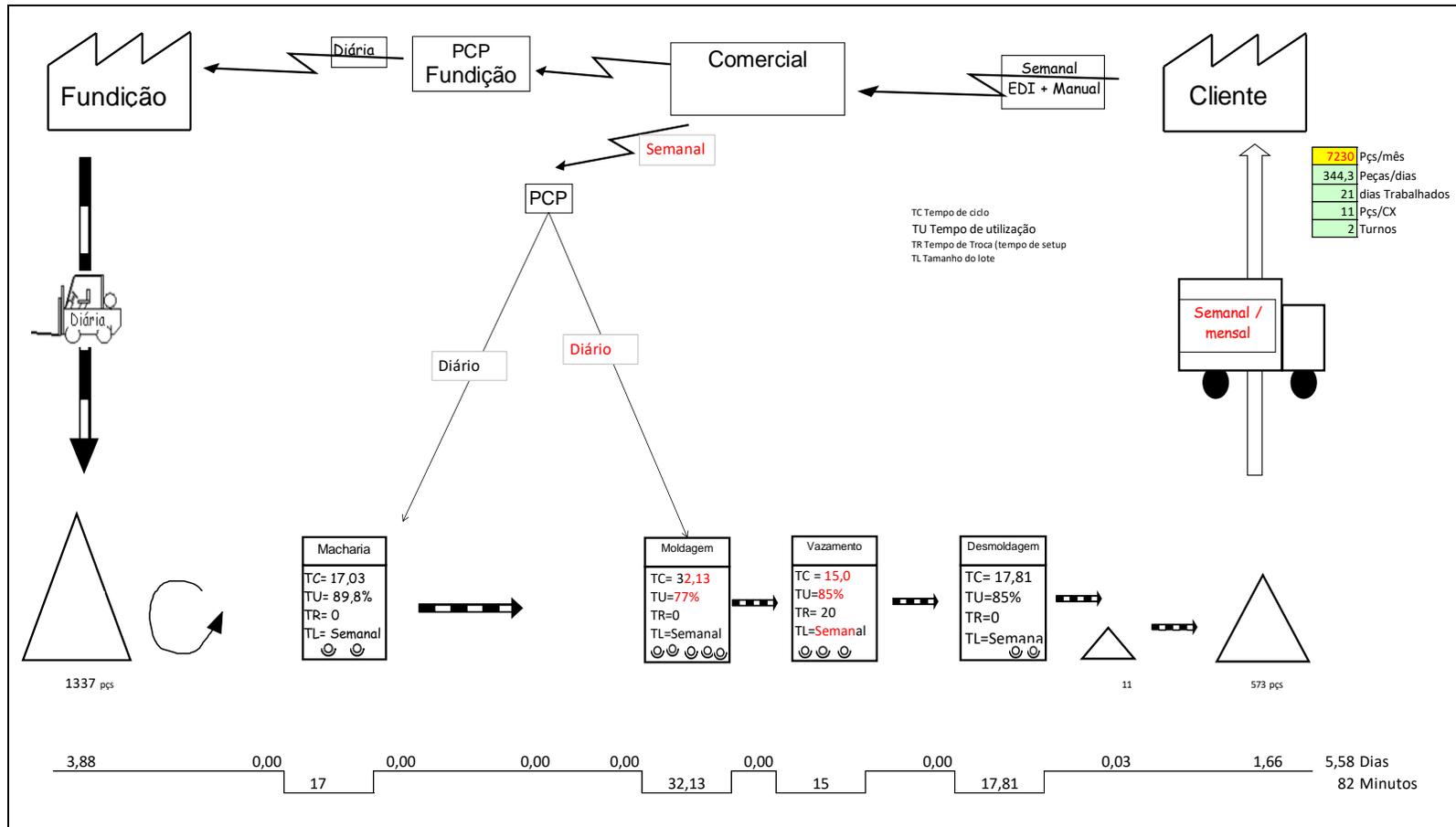
### 3.2 MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR – ESTADO ATUAL

Para elaboração do mapa de fluxo de valor, primeiramente realizou-se a identificação dos desperdícios existentes no fluxo do processo atual, conforme ilustra o Quadro 1.

DESPERDÍCIO	DESCRIÇÃO
1 – Desperdício de tempo/qualidade	A falta de padronização de posicionamento dos funis nos moldes dificulta a realização do vazamento do metal fundido, gerando perda de tempo e qualidade. Isso ocorre devido aos respingos de metal fundido que caem sobre a pista de roletes e ficam presos entre os roletes e as partes fixas da pista de roletes, causando paralisação e destruição destes componentes, acarretando em paralisações da linha de moldagem para manutenção e realização da troca dos componentes danificados.
2 – Desperdício de matéria prima/movimentação/produtos defeituosos	O desperdício de matéria-prima (areia) ocorre durante a operação de transporte. O desperdício de movimentação ocorre durante o deslocamento de cerca de 7 a 10 metros que é feito em baldes ou carrinhos. Devido ao tempo excessivo de deslocamento, ocorre a perda de qualidade, onde ocorre o endurecimento (pré-cura) da mistura o que pode gerar molde com superfície fraca (friável, solta areia com facilidade), e defeitos de fundição, como inclusões de areia e bolo quebrado poderão ocorrer nas peças.
3 – Desperdício de fabricar produtos defeituosos:	O transporte de areia é efetuado com auxílio de um carrinho gerando o aumento do tempo total de processo o que propicia a ocorrência de desvios de qualidade como a pré-cura da areia no carrinho, isto gera molde com qualidade inferior em termos de resistência e acabamento superficial.
4 – Desperdício de tempo/movimentação	Devido ao layout inadequado o transporte da areia até a área de moldagem de moldes de grande porte é efetuado com a utilização de um carrinho, elevando o tempo do processo, gerando desperdício de movimentação excessiva por parte dos operadores.
5 – Desperdício de movimentação/tempo/mão de obra	Ocorre o desperdício de tempo para realizar o transporte dos moldes da pista de roletes para desmoldagem. Devido à distância excessiva e a dificuldade de acesso da empilhadeira nesta área, o transporte dos moldes para a desmoldagem é feito manualmente pelos operadores.

O Mapeamento do fluxo de valor consiste em um conjunto de ações, abrangendo aquelas que agregam valor, bem como aquelas que não agregam valor as quais são necessárias para viabilização do produto, englobando desde a concepção até lançamento do produto, bem como do pedido até a entrega e da matéria-prima até o cliente final. A Figura 9 apresenta o mapeamento do fluxo de valor do processo de fabricação do setor de Fundição no estado atual, demonstrando como exemplo um lote de peças de pequeno porte de um total de 7230 peça

Figura 9 – Mapa de fluxo de valor do estado atual



Fonte: O autor (2020)

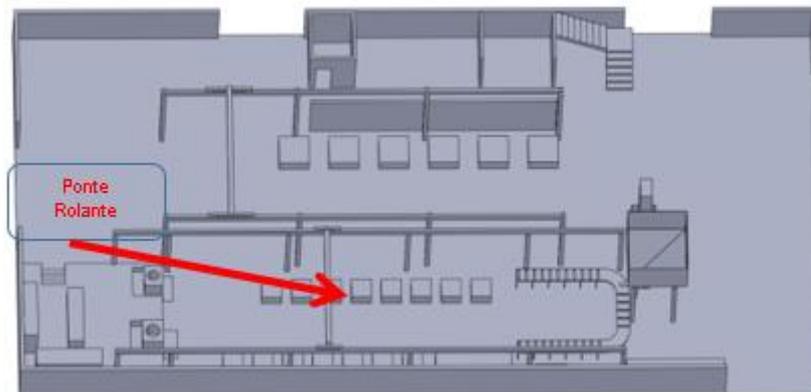
A Figura 9 apresenta o MFV para uma produção de 7230 peças por mês, o que equivale a 344,3 peças por dia, produzidas em 21 dias trabalhados, sendo dois turnos de trabalho e 11 peças por caixa. O fluxo tem início com o pedido do cliente que é feito semanalmente para o setor comercial da empresa via sistema EDI. O Comercial aciona o PCP da Fundição que diariamente emite Ordens de Produção para o setor de fundição, que produz as peças fundidas e envia diariamente para o estoque intermediário existente entre a fundição a usinagem. A macharia retira a areia virgem do estoque principal, produz os núcleos de areia e empurra para a moldagem.

A moldagem recebe os núcleos de areia, efetua a montagem dos moldes de areia e empurra para o vazamento, a qual vaza o metal líquido empurra para a desmoldagem que efetua a retirada das peças dos moldes e envia para o estoque do setor de acabamento onde posteriormente as peças são enviadas para a usinagem e, posteriormente, semanalmente ou mensalmente seguem para os clientes, conforme solicitação. Ao analisar o mapa de fluxo de valor antes da realização das melhorias, verifica-se que a quantidade de peças em fluxo corresponde a um total de 5,58 dias de produção.

### 3.3 APLICAÇÃO DO PLANT SIMULATION PARA PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DO PROJETO DA FUNDIÇÃO

Por meio do diagnóstico realizado nas instalações do setor de fundição foram efetuadas observações de pontos de melhoria potenciais. Com auxílio do *Software Plant Simulation* foram efetuadas simulações computacionais de alterações na planta do setor de fundição. A Figura 10 ilustra a simulação da Ponte rolante a ser instalada, elaborada com a utilização do *Plant Simulation*.

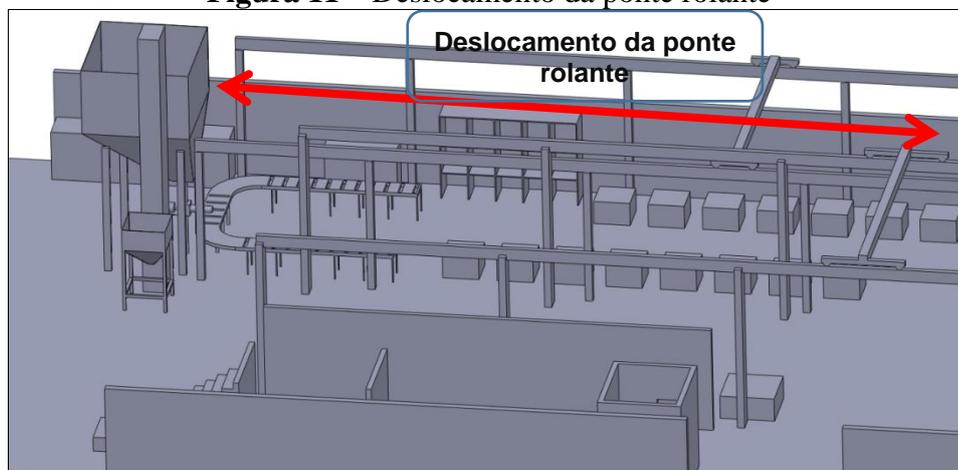
**Figura 10** - Ponte Rolante a ser instalada



Fonte: O autor (2020)

A primeira alteração consiste na remoção da monovia para realização do vazamento de metal fundido, retirada das coifas de exaustão e das pistas de roletes. Neste local será instalada a ponte rolante que na planta atual se encontra ao lado desta instalação. Sendo assim, a ponte rolante será empregada para os trabalhos de moldagem e vazamento do metal fundido nos moldes. A ponte rolante deverá se deslocar sobre o forno indução para permitir o retorno de metal fundido e no auxílio para eventuais manutenções no forno. Com a moldagem sob a ponte rolante, o processo será facilitado para uma gama muito grande de tamanhos de moldes, este equipamento será empregado para manipulação dos moldes, nas seguintes etapas: extração do modelo, realização do giro e fechamento.

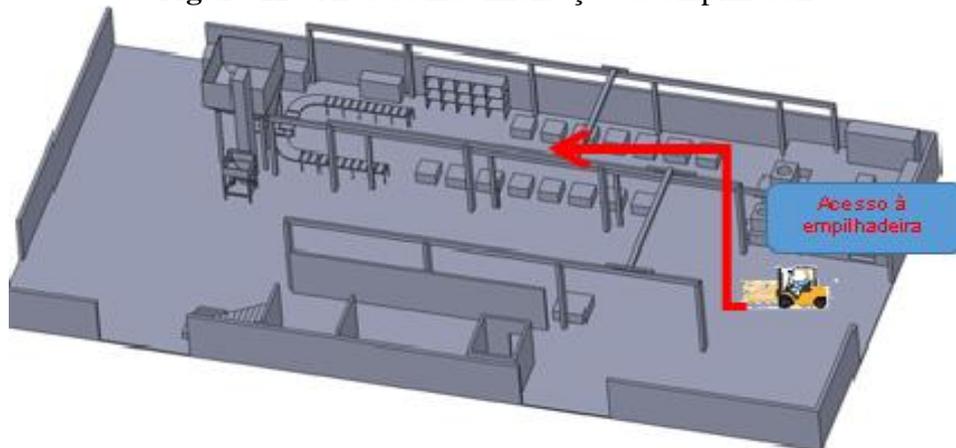
**Figura 11** – Deslocamento da ponte rolante



Fonte: O autor (2020)

No arranjo físico simulado, toda a área na região de moldagem e vazamento passará a ser acessível para a empilhadeira, agilizando a movimentação dos materiais. A Figura 12 ilustra a área de movimentação da empilhadeira.

**Figura 12** - Área de movimentação da empilhadeira.



Fonte: O autor (2020)

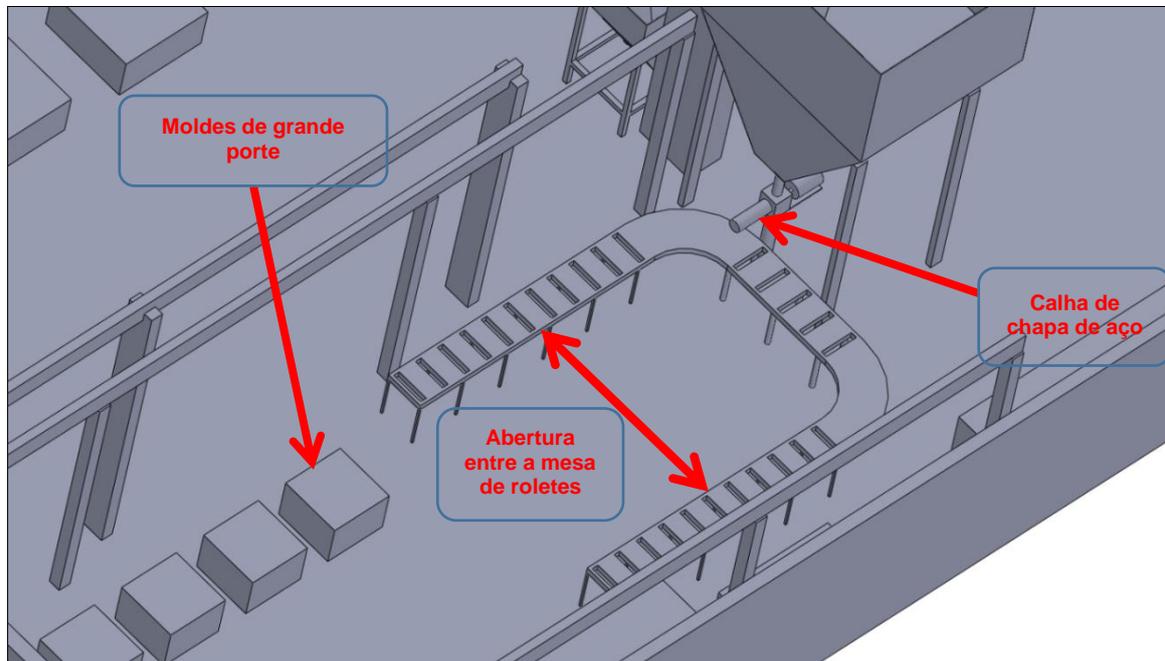
Para facilitar o transporte com a empilhadeira, os moldes passarão a ser colocados em estrados (palets), com o intuito de favorecer a movimentação dos moldes a serem vazados, bem como, dos que foram vazados, sejam de pequeno, médio ou de grande porte.

### 3.3.1 Área de Moldagem

Na área de moldagem, a alteração a ser realizada consiste na realização da abertura entre os trechos retos da mesa de roletes da moldagem. Com isso, o misturador poderá ser mais bem aproveitado durante o processo de moldagem, evitando a necessidade de paradas para limpeza, devido ao melhor aproveitamento da areia preparada para o enchimento dos moldes sobre a mesa de roletes.

Nessa nova configuração, os moldes grandes serão moldados no piso, moldes de menor porte, modelos avulsos e os machos (núcleos de areia) ficarão sobre a mesa. Por meio desta alteração, será possível obter na prática um processo ágil, contínuo e com menos desperdício. A Figura 13 ilustra a simulação com o *Software Plant Simulation* da alteração a ser realizada na linha de roletes da área de moldagem.

**Figura 13:** Alteração a ser realizada na linha de roletes da área de moldagem.



Fonte: O autor (2020)

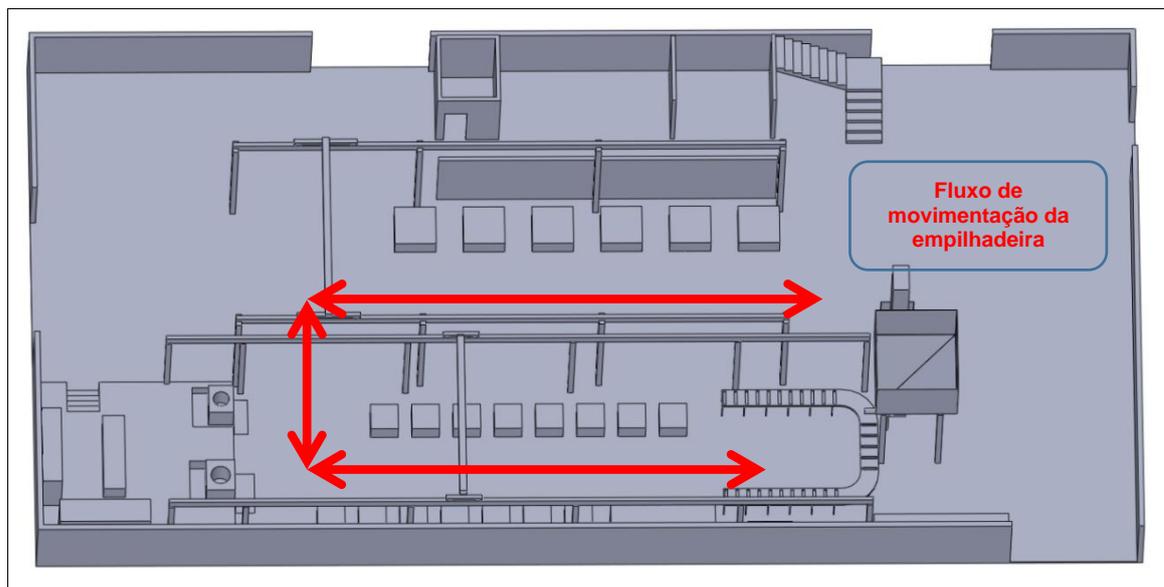
Com a simulação apresentada na Figura 13, os moldes maiores serão fabricados próximos ao misturador. Será utilizada uma calha confeccionada em chapa de aço pela qual a areia sairá do misturador e cairá pela calha diretamente no molde, evitando assim, o desperdício de areia preparada. Além disso, o tempo para fabricar um molde será reduzido para cerca de 20 a 35 minutos conforme o porte do molde a ser fabricado. Nessa nova configuração não haverá movimentação de carrinhos ou baldes com areia, reduzindo o risco de acidentes e problemas ergonômicos. Com essas alterações, a qualidade da areia preparada que entra na fabricação do molde será melhor, pois não haverá a pré-cura da mistura e os consequentes defeitos de fundição que podem gerar muitas perdas em refugos.

O refugo na fundição acarreta em custos elevados, pois se gastou muita energia elétrica, mão de obra, areia, resina e tempo. Não haverá a necessidade de parar o misturador durante 15 minutos para limpeza, mais o desperdício de cerca de 20 kg de areia. Desta maneira se poderá produzir moldes pequenos, grandes e machos médios e grandes em um mesmo ciclo de mistura com baixo desperdício de areia e tempo.

Na nova configuração simulada com o *Plant Simulation*, a empilhadeira terá fácil acesso à área de moldagem, o que permitirá o vazamento otimizado dos moldes. Com isso, os moldes passarão a ser transportados pela empilhadeira até a região próxima ao forno. A realização ágil

desta operação permite menor perda de temperatura do metal na panela, o emprego de temperatura menor do metal no forno e na panela, conseqüentemente menor oxidação do metal fundido e seus elementos de liga, evitando assim, a ocorrência de desvios de qualidade. A Figura 14 ilustra a área de movimentação da empilhadeira no arranjo físico simulado.

**Figura 14** – Área de movimentação da empilhadeira no arranjo físico simulado.



Fonte: O autor (2020)

### 3.2.4 Novo layout – macharia e estoques intermediários

Na configuração simulada com o *Plant Simulation*, deverá haver uma tubulação para exaustão do catalisador na área de macharia, a qual ficará próxima da moldagem com o intuito de facilitar a confecção de machos maiores com areia de cura a frio e o transporte dos machos até os moldes. A Figura 15 ilustra o novo arranjo físico das instalações do setor de fundição, simulado com auxílio do *Plant Simulation*, destacando a disposição dos equipamentos na área de macharia e os estoques intermediários.



processos. O estoque de moldes atenderá ao requisito técnico de cura da resina. Após a sua confecção, molde o molde será colocado em um estoque intermediário onde ficará de 12 a 24 horas para que haja a completa reação de cura da resina do processo cura a frio.

Este procedimento será feito para garantir a resistência mecânica do molde e reduzir a possibilidade de formação de gases que são gerados quando o metal fundido, em temperatura elevada, entra em contato com o molde e favorece a decomposição da resina em gases, que dependendo do volume pode favorecer a formação de bolhas nas peças. Para moldes de pequeno porte o tempo de permanência no estoque intermediário será de 12 horas e para os moldes de grande porte serão necessárias até 24 horas.

Na configuração nova, os moldes serão posicionados sobre estrados de metal, ali eles recebem o metal fundido e depois de solidificado a empilhadeira poderá acessar e transferir para a areia de resfriamento até a temperatura ambiente e posterior desmoldagem. Com essas alterações o desperdício de tempo de deslocamento será reduzido a menos de 1 minuto, eliminando a necessidade de um operador específico para esta função, sendo empregado somente o operador da empilhadeira.

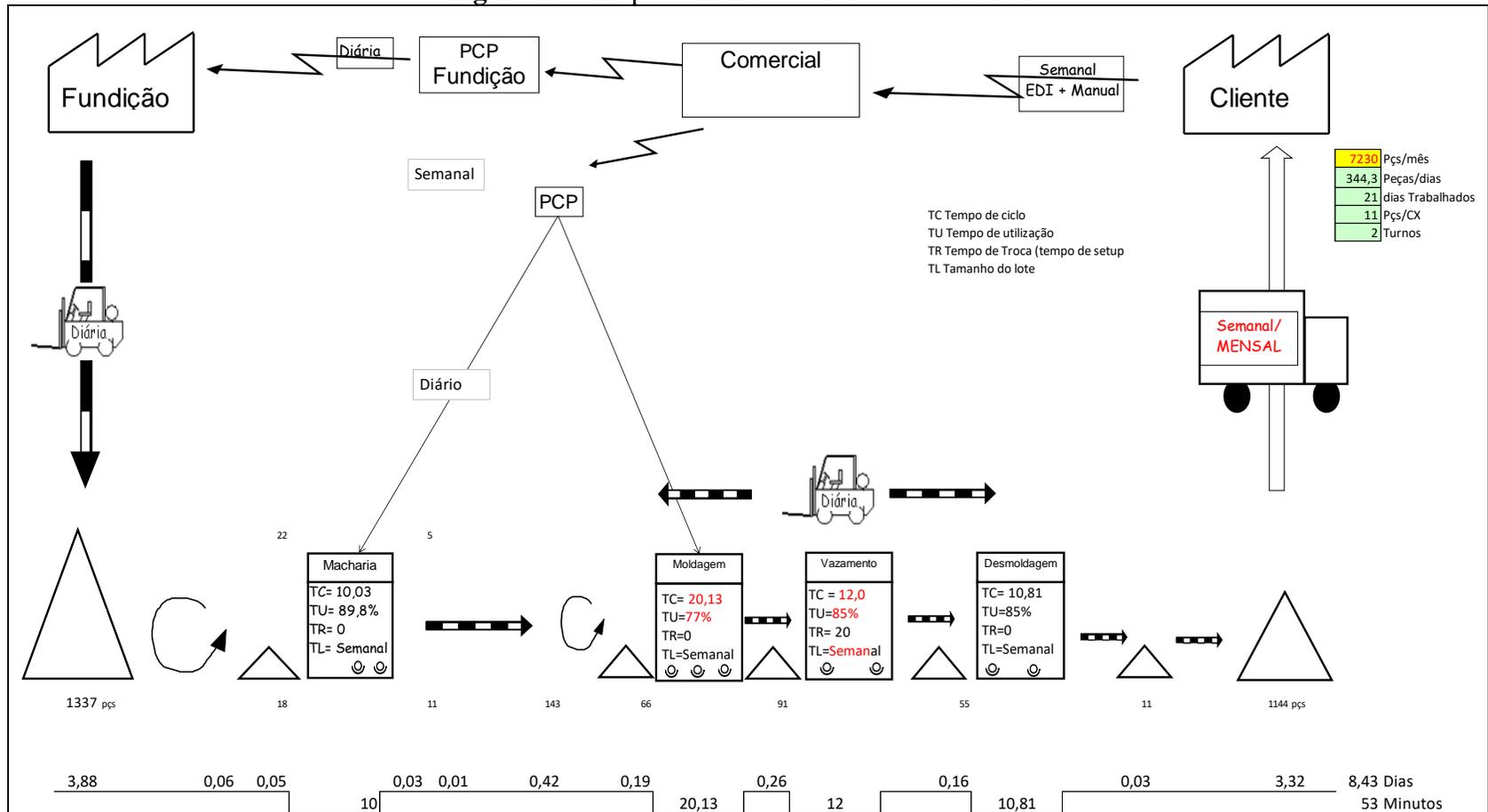
## **4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

A apresentação dos resultados contempla o mapeamento de fluxo de valor do estado futuro, expondo o comparativo dos indicadores de desvios de qualidade, consumo de areia preparada e os custos de produção, no estado anterior e no estado futuro.

### **4.1 MAPA DE FLUXO DE VALOR – ESTADO FUTURO**

O mapa de fluxo de valor exposto na Figura 16 contempla a quantidade de operadores nos processos produtivos, expondo os estoques intermediários implantados e o tempo total de processamento de uma peça.

**Figura 16** – Mapa de fluxo de valor do estado futuro



Fonte: O autor (2020)

A Figura 16 apresentou o mapa de fluxo de valor do estado futuro, para uma produção de 7230 peças por mês, o que equivale a 344,3 peças por dia, produzidas em 21 dias trabalhados, sendo dois turnos de trabalho e 11 peças por caixa. O fluxo tem início com o pedido do cliente que é feito semanalmente para o setor comercial da empresa via sistema EDI. O Comercial aciona o PCP da Fundição que diariamente emite Ordens de Produção para o setor de fundição, que produz as peças fundidas e envia diariamente para o estoque intermediário existente entre a fundição a usinagem. A macharia retira a areia virgem do estoque principal, produz os núcleos de areia e empurra para a moldagem.

A moldagem recebe os núcleos de areia, efetua a montagem dos moldes de areia e empurra para o vazamento, a qual vaza o metal líquido empurra para a desmoldagem que efetua a retirada das peças dos moldes e envia para o estoque do setor de acabamento onde posteriormente as peças são enviadas para a usinagem e, posteriormente, semanalmente ou mensalmente seguem para os clientes, conforme solicitação.

Ao analisar o MFV (Figura 9) com a simulação das melhorias por meio do *Software Plant Simulation* (Figura 14), verifica-se que, com a implantação dos estoques intermediários, a quantidade de peças em fluxo corresponderá a um total de 8,43 dias de produção e o *Lead Time* de processamento de uma peça será de 53 minutos.

Com relação aos estoques, além do estoque principal de areia virgem que se encontrava no início do processo e do estoque de peças para acabamento, localizado após a desmoldagem, foram simulados estoques intermediários entre as etapas de processamento, com finalidade de garantir o fluxo contínuo de fornecimento de peças para as etapas posteriores do processo, tendo em vista que no processo anterior ocorriam paradas constantes no vazamento devido à falta de moldes e núcleos de areia. Estas paradas acarretavam em falta de peças vazadas e consequentemente a paralisação da desmoldagem, gerando ociosidade dos operadores e baixa produtividade.

Com relação ao número de operadores em cada etapa do processo o maior impacto foi no processo de moldagem, no qual um operador foi realocado para a empilhadeira e um operador foi realizado para o setor de acabamento. Na etapa de vazamento foi possível realocar um operador para o setor de usinagem. O remanejamento destes operadores foi possível devido à alteração no layout e criação de estoques intermediários que possibilitaram a eliminação da necessidade de deslocamento de operadores para buscar areia. Com a utilização da ponte rolante foi eliminado o tempo despendido pelos operadores para posicionar os moldes na área de

vazamento e com auxílio da empilhadeira o operador auxiliar de vazamento responsável por retirar os moldes e conduzir até a área de desmoldagem foi realocado para outra área. Com as alterações simuladas com o *Plant Simulation* será possível reduzir o número total de operadores envolvidos nos processos de macharia, moldagem, vazamento e desmoldagem de 12 para 10 operadores no estado futuro, sendo um operador de empilhadeira e os demais nos processos produtivos.

#### 4.2 COMPARATIVO ESTADO ATUAL X ESTADO FUTURO

O comparativo do estado atual com o estado futuro simulado com auxílio do *Software Plant Simulation* contempla informações sobre o Lead Time de processamento, o tempo de duração dos estoques em fluxo (em dias), a quantidade de operadores e a quantidade de estoques intermediários existentes. A Tabela 1 apresenta este comparativo.

**Tabela 1** – Comparativo do MFV - estado atual x estado futuro

ITEM	ESTADO ATUAL	ESTADO FUTURO	DIFERENÇA (%)
Estoques intermediários	1	5	+ 80,00
Operadores	12	10	- 16,7
Lead Time (min)	82	53	- 35,4
Estoque em processo (dias)	5,58	8,43	+ 51,07

Fonte: O autor (2020)

Conforme exposto na Tabela 1, na simulação realizada foram criados 4 novos estoques intermediários entre as etapas do processo, tendo como finalidade evitar paradas devido ao desabastecimento. Por meio da redução do desperdício de deslocamento para transporte de areia, insumos, posicionamento dos moldes para vazamento e retirada dos moldes vazados para a desmoldagem será possível realocar dois operadores para outros setores. As alterações realizadas promoverão uma redução de 35,4% do *Lead Time* de processamento. Já a quantidade de peças em processo terá um aumento de 51,07%, especialmente pela criação de estoques intermediários de peças entre as etapas, visando garantir o fluxo contínuo das operações sem paradas por desabastecimento.

### 4.3 COMPARATIVO DE INDICADORES

O comparativo de indicadores econômicos contempla informações sobre os índices de desvios de qualidade, produtividade, custos de mão de obra e desperdício de matéria prima. A Tabela 2 apresenta o comparativo destes indicadores para a produção de um lote de 7230 peças, conforme exposto no Mapa de Fluxo do estado atual e do estado futuro, simulado com auxílio do *Software Plant Simulation*.

**Tabela 2** – Comparativo de indicadores - MFV estado atual x estado futuro

INDICADOR	ESTADO ATUAL	ESTADO FUTURO	DIFERENÇA (%)
Desvios de qualidade (un)	300	20	- 93,33
Capacidade produtiva (pç/h)	22	34	+ 54,54
Custo de mão de obra (R\$/pç)	4,14	3,45	- 16,7
Desperdício de matéria-prima (kg-areia)	350	10	- 97,14

Fonte: O autor (2020)

Os resultados apresentados na Tabela 2 apontam redução de 93,33% dos desvios de qualidade, provocados especialmente pela pré-cura da mistura que ocorria durante o transporte da areia preparada, realizado manualmente pelos operadores, o que impacta na perda de resistência mecânica dos moldes. Devido à redução do Lead Time de produção, poderá ser obtido um aumento de 54,54% na capacidade produtiva do processo, levando em consideração que, para o produto em questão, são utilizados simultaneamente 30 moldes.

Com relação à mão de obra, será possível obter uma redução de 16,7% do valor de mão de obra embutido nos custos de fabricação do produto, devido ao remanejamento de dois operadores para outros setores. Ao avaliar o desperdício de matéria-prima, verificou-se que a eliminação da necessidade de limpeza e preparação do misturador e a eliminação do transporte manual de areia possibilitarão uma redução de 97,14% do desperdício de areia preparada.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A manufatura enxuta tem como base várias ferramentas e metodologias que possibilitam a identificação e eliminação dos desperdícios existentes nos processos produtivos de uma empresa.

Nesse contexto, o *Software Plant Simulation* para a análise das atividades de manufatura, por meio de simulações de novos arranjos físicos, contendo alterações previamente estudadas por engenheiros e especialistas de processo. Com a utilização do *Plant Simulation* foi elaborado o MFV do estado futuro do setor de fundição da empresa evidenciando os resultados potenciais que poderão ser obtidas por meio das alterações de arranjo físico contidas no plano de melhoria. Conforme as simulações realizadas com o *Plant Simulation*, constatou-se que a implantação de uma ponte rolante para a movimentação de moldes na linha de moldagem, alteração no arranjo físico da linha de moldagem, possibilitando o acesso à empilhadeira consistirão em mudanças para eliminar desperdícios de movimentação de operadores e de transporte de matéria-prima e moldes, agilizando todas as etapas do processo.

O resultado das alterações simuladas trouxe impactos positivos com relação à redução dos desvios de qualidade, redução dos desperdícios de matéria-prima e redução da necessidade de mão de obra, por meio do remanejamento dos operadores responsáveis pelas movimentações manuais de matéria-prima, posicionamento dos moldes da linha de vazamento e transporte dos moldes vazados para a desmoldagem, uma vez que estas atividades serão executadas pela empilhadeira e com a ponte rolante. A criação de estoques intermediários nos pontos críticos de abastecimento será de grande importância para garantir o fluxo contínuo de abastecimento dos processos e evitar a ocorrência de paradas não programadas.

Além dos resultados tangíveis, as alterações simuladas proporcionaram benefícios intangíveis, especialmente com relação à redução da fadiga dos operadores pela eliminação de operações manuais de transporte, melhoria da ergonomia como um todo e redução de riscos de acidentes e lesões por esforço repetitivo.

## REFERÊNCIAS

BAUER, Wilhelm; HORVÁTH, Péter. Industrie 4.0-Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland. **Controlling**, v. 27, n. 8-9, p. 515-517, 2015.

BIAZZO, S. Approaches to business process analysis: a review. **Business Process Management Journal**, v.6, n.2, 2000.

CHIAVERINI, Vicente. **Aços e ferros fundidos**: São Paulo: ABM: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2008.

CORRÊA, Henrique L., CORRÊA, Carlos A. **Administração de produção e operações**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

FREITAS, E. **A influência da Gestão de Recursos Humanos no desempenho ambiental no setor mecânico brasileiro.** Tese (Doutorado em Administração) Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade UNINOVE, 2014.

GERMANO, M. A. A.; FERRER, J. A. G. **Manufatura Virtual de Componentes Usando Software Plant Simulation, com Representação de Diversas Condições e Paradas e Falhas de Máquinas, usando linguagem Simtalk.** In: 8º Congresso de Engenharia da Fabricação. 2015, Salvador, Bahia, Brasil.

GIL, A. C.; **Como elaborar projetos de pesquisa.** São Paulo: Atlas, 2010.

GROOVER, Mikell. **Automação industrial e sistemas de manufatura.** 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

LAZZAROTTO, E. **O desempenho da manufatura enxuta. O caso da empresa Ognibene nas unidades de Caxias do Sul Brasil e Reggio Emilia- Itália.** 2010. Dissertação (Mestrado em Administração) Programa de Pós-Graduação em Administração: Universidade de Caxias do Sul.

LIKER, J.K. **O modelo Toyota. 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo.** Porto Alegre: Bookman, 2005.

MARCHWINSKI, Chet, SHOOK, John. **Léxico Lean:** Glossário ilustrado para praticantes do pensamento *lean*. São Paulo: *Lean* Institute Brasil, 2003.

MENEZES, L. M.; WOOD, S.; GELADE, G. The integration of human resource and operation management practices and its link with performance: a longitudinal latent class study. **Journal of Operations Management**, v. 28, p. 455- 471, 2010.

MILLER, E. Marrying product and process design: digital manufacturing, a critical element of PLM, ensures that shops stay competitive and profitable. (software systems). **American Machinist**, oct. 2005.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção:** Além da produção em larga escala. Ed. Bookman: Porto Alegre, 2007.

OHNO, T. **O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala.** Trad. Cristina Schumacher. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.

ROBERT, Maria Helena. **Processos metalúrgicos de fabricação.** DEF/FEM/ Unicamp, 2005.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a enxergar.** Lean Institute Brasil. São Paulo, 1999.

ROWE, J. **Digital Factory Within Reach:** Modular options mean even SMBs can take advantage of production and manufacturing visualization tools. **MCAD Tech News #179, jun**

SHINGO, S. **O sistema Toyota de produção do ponto de vista da engenharia de produção.** 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 1996.

STANDRIDGE, Charles R.; MARVEL, Jon H. Why lean needs simulation. **Simulation Conference**, 2006.

VILELLA, Ronaldo Castro. **Processos de fabricação e planejamento de processos:** Unicamp, 2004.

WOBETO, Edson Inácio. **Uma abordagem heurística para o problema de planejamento da produção em fundições – estudo de caso.** Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2008.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas – elimine o desperdício e crie riquezas.** Rio de Janeiro: Campus, 1998.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas - elimine o desperdício e crie riquezas.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.