

A Simulação Computacional como Ferramenta de Suporte a Aplicação dos Conceitos do Lean Manufacturing

Clefer Genari e Ivandro Cecconello

Resumo

Alcançar a excelência produtiva por meio da redução dos desperdícios e da otimização dos processos necessitam de análises concretas, afim de evitar gastos desnecessários e mudanças que não gerem os resultados esperados. Para isso, a simulação computacional, desenvolvida a partir dos conceitos amplamente difundidos do lean manufacturing, dão o suporte necessário para as melhorias da fábrica, pois apresentam dados, informações e visualizações dos processos, podendo ainda fazer ajustes nos sistemas, alocar mão de obra e tirar o máximo proveito dos recursos presentes na empresa. O objetivo desse estudo foi desenvolver soluções enxutas, por meio da identificação dos processos que agregam ou não valor, realizando o levantamento das informações por meio da cronoanálise das etapas e da criação de um VSM, e em seguida com o apoio de um software de simulação, criar um modelo computacional do estado atual, aplicar as melhorias e modelar o estado futuro, e dessa forma obter informações para auxiliar a aplicação dentro da fábrica. Os processo de estamparia de uma fábrica de utilidades domésticas foi escolhida para a aplicação do estudo, visto que trata-se de um gargalo da empresa. A partir da parametrização do tamanho da bobina, otimização dos lotes de produção e redesenho dos processos de lubrificação e estampagem, além da utilização das ferramentas do lean, foi possível alcançar um aumento de 33% na capacidade produtiva, além de uma maior agregação de valor dos processos, e realocação de um funcionário.

Palavras-chave

Lean Manufacturing, modelagem e simulação computacional, flexsim.

Computational Simulation as a Support Tool for Applying Lean Manufacturing Concepts

Abstract

Achieving productive excellence by reducing waste and optimizing processes requires concrete analysis, in order to avoid unnecessary expenses and changes that do not generate the expected results. For this, the computer simulation, developed from the widespread concepts of lean manufacturing, provide the necessary support for the plant improvements, as they present data, information and visualizations of the processes, and can also make adjustments in the systems, allocate manpower and make the most of the resources present in the company. The objective of this study was to develop lean solutions, by identifying the processes that add value or not, carrying out the survey of information through the chronoanalysis of the stages and the creation of a VSM, and then with the support of simulation software, create a computational model of the current state, apply the improvements and model the future state, and thus obtain information to assist the application within the factory. The stamping process of a housewares factory was chosen for the application of the study, since it is a bottleneck for the company. From the parameterization of the coil size, optimization of production batches and redesign of the lubrication and stamping processes, in addition to the use of lean tools, it was possible to achieve a 33% increase in production capacity, in addition to greater added value, processes, and relocation of an employee.

Keywords

Lean Production, modeling and computer simulation, flexsim

I. INTRODUÇÃO

Para produzir produtos e serviços a uma taxa de demanda é necessário que as empresas busquem novas formas de se manterem competitivas no mercado [1], e o lean production busca reduzir de forma incremental o desperdício, dependendo da alteração estrutura (por exemplo, nível de

autonomia), modificando ou introduzindo novos processos (por exemplo, processamento em modo misto, cluster de ordem de classificação (produção celular), troca de ferramentas em minutos (SMED) ou just-in-time (JIT)) e novas rotinas (por exemplo, seis sigma, manutenção produtiva total ou poka-yoke) [2]. Dessa forma, a manufatura enxuta se concentra na eliminação sistemática de

Pós-Graduação em Engenharia Industrial - Universidade de Caxias do Sul (UCS)

Emails: c_genari@hotmail.com, iceccone@ucs.br

Data de envio: 09/02/2020

Data de aceite: 29/04/2020

<http://dx.doi.org/10.18226/23185279.v8iss2p30>

desperdícios de operações da organização, através de um conjunto de práticas sinérgicas de trabalho. Quando as empresas buscam implementar o lean production, elas procuram melhorar a eficácia e a eficiência [3].

Para auxiliar a aplicação dos conceitos do lean production, o uso da modelagem é elaborada para analisar o desempenho de um modelo existente, e de propor um novo layout para o sistema [4]. Na engenharia, a modelagem e simulação ajuda a reduzir os custos, encurtar os ciclos de desenvolvimento, aumentar a quantidade dos produtos e mais facilidades na gestão do conhecimento[5]. A tecnologia de modelagem com software pode ser muito boa para objetivos múltiplos e processos complexos ao resolver o problema de fabricação, logística e serviço [6].

Com base nas orientações da metodologia do lean production, e dos conceitos da modelagem e simulação, a utilização do software flexsim ajuda a identificar os problemas de gargalos de um sistema logístico de produção real e otimizar seu layout, eliminando os problemas [7], ainda é usado para a avaliação de viabilidade de raciocínio, verificando sua adequação para a obtenção de avaliações sustentáveis [8]. A utilização do software fornece os dados originais, inserindo a modelagem, o modelo de operação para realizar o experimento de simulação e otimiza o sistema [9].

II. REFERENCIAL TEÓRICO

A. Lean Production

Selecionar práticas apropriadas para melhorar os processos de chão de fábrica são uma das principais responsabilidades dos gerentes de produção [3], e um dos principais métodos de aplicação de melhorias é o lean production, que focaliza a eliminação de desperdício dentro dos sistemas de produção da empresa, através da melhoria contínua, mudanças no processo e no desenvolvimento para reduzir as atividades ou eliminação dos desperdícios [1].

Os desperdícios constituem qualquer recurso usado para qualquer finalidade que não seja a criação de valor [2], e entre essas perdas nos processos produtivos, pode-se citar os defeitos na fabricação, inventário, superprodução, movimentação, transporte, processo desnecessário e espera [10]. Alguns pesquisadores definem o lean como uma abordagem com os principais objetivos de aumentar a eficiência das operações, identificando o valor e os desperdícios, desenvolvendo o conhecimento e criando uma cultura de trabalho de melhoria contínua para promover a sustentabilidade nas operações de processo e gestão de negócios [11].

O Lean Production combina as vantagens dos sistemas de produção em massa e dos sistemas de produção customizados. Sendo assim seria o sistema ideal para as indústrias atuais, que precisam produzir em larga escala, porém precisam fazer um produto cada vez mais diferenciado e personalizado [12].

Em seguida, são apresentadas os cinco princípios básicos da mentalidade enxuta [10]:

- a) Valor: definir o que é valor. Não é a empresa, e sim o cliente que define o que é valor;
- b) Fluxo de valor: consiste em identificar os processos que geram valor, aqueles que não geram valor, mas são importantes para a manutenção dos processos e da qualidade e, por fim, aqueles que não agregam valor e devem ser eliminados;
- c) Fluxo: deve-se dar “fluidez” para os processos e atividades que restaram;
- d) Produção puxada: Conectam-se os processos através de sistemas puxados;
- e) Perfeição: A busca do aperfeiçoamento contínuo em direção a um estado ideal deve nortear todos os esforços da empresa.

O lean busca criar um ciclo de melhoria contínua como uma forma de especificar valor, alinhar na melhor sequência as ações que criam valor, realizar essas atividades sem interrupção e considerar o conjunto inteiro de atividades na criação e fabricação de um produto [12]. A manufatura enxuta cria dentro de uma organização, a orientação para aumentar a responsabilidade dos funcionários e envolver os colaboradores nos esforços de redução de perdas [11], ainda, pode-se destacar que a manufatura enxuta é uma entidade em movimento, um conceito em evolução [2].

Para conseguir isso, o lean depende de um extenso conjunto de ferramentas e técnicas. Entre a infinidade de ferramentas que o lean incorpora, o Value Stream Mapping (VSM) é considerado um dos mais essenciais [13]. O VSM é uma análise detalhada dos materiais e informações que fluem através dos vários níveis de uma estrutura de produção. Isso permite identificar as fontes de desperdício e propor um estado futuro desejado que guiará a implementação do lean [12], sendo uma ferramenta simples e visual baseada em processos que permite a documentação, visualização e compreensão de material e informação nos fluxos processos, a fim de identificar desperdícios e auxiliar em sua eliminação [13].

B. Modelagem e Simulação

Na últimas décadas, simulação de computador tornou-se uma ferramenta indispensável para a compreensão da dinâmica de sistemas de negócios [5], pois tem sido uma ferramenta útil para projetar, analisar, avaliar e melhorar os sistemas de produção ao longo de décadas [14]. A simulação é um processo de modelar uma situação do mundo real e desenvolver uma estrutura dentro do qual o sistema pode ser analisado [15].

Muitas empresas bem sucedidas usam intensamente a simulação como um instrumento para o planejamento operacional e estratégico [5]. Análise e modelagem do layout existente na empresa é feito para uma melhor compreensão do problema, juntamente com as sugestões de medidas em nova concepção do layout [4].

A Simulação computacional pode ser definida como uma ferramenta, um sistema de informação e, de planejamento, que busca imitar o comportamento de um sistema real, através da construção de um modelo matemático, tendo

como objetivo servir de apoio a tomada de decisão [12]. A simulação permite ainda a avaliação dos parâmetros do sistema desejadas por modelagem e manipulação experimental. É mais flexível do que ferramentas analíticas, que são a priori com base em determinados pressupostos do modelo [4]. As técnicas de simulação podem mostrar as restrições, desperdícios e recursos ociosos do sistema produtivo, apresentando uma descrição minuciosa do sistema real [10].

Construir e executar simulações em células de trabalho virtuais são uma das maneiras que os fabricantes podem adotar para reduzir o tempo produção e custos de desenvolvimento do sistema [7]. Podem-se citar algumas vantagens da utilização da simulação, tais como: fácil compreensão na maior parte dos casos pelos agentes de decisão, possibilidade de controle do tempo, aquisição de visão sistêmica, exploração de possibilidades e diagnóstico de problemas, além de ser mais econômico do que efetuar o teste no sistema real, de permitir a identificação de gargalos e de permitir estudar e experimentar sistemas complexos [12]. Usando a tecnologia da manufatura virtual, podem-se efetivamente analisar o comportamento do sistema simulado e estimar a capacidade da linha de produção antes mesmo de testar fisicamente o sistema atual [7].

C. Software de Simulação para Eventos Discretos

Uma simulação de eventos discretos é um tipo de simulação onde um sistema muda seu estado em pontos discretos no tempo. É comumente usada para prever e analisar o desempenho do sistema ao longo de um conjunto de pontos discretos no tempo. Quando modelado corretamente, pode fornecer projeções precisas do comportamento do sistema sem o sistema existente, o que pode reduzir drasticamente os custos do sistema. Estes atributos tornam-no muito popular na modelagem de sistemas de manufatura para um produto que ainda não existe, para mudanças de layout, novas plantas, etc [12]. A simulação de eventos discretos é considerada uma das mais poderosas ferramentas para modelagem e análise de problemas, utilizada para o planejamento, projeto e controle de sistemas complexos, assim como manufatura, sistemas de manuseio de materiais, engenharia civil, indústria automobilística, transporte, área militar, sistemas de comunicação, sistemas de planejamento e vários sistemas com forte estrutura em filas [16].

A modelagem da simulação geralmente segue etapas básicas abaixo [9]:

- pesquisar o sistema e, em seguida, determine alvos simulados;
- coletar dados básicos do sistema. A obtenção de dados de simulação envolve dois aspectos. Uma é aquela onde os dados são coletados de acordo com as metas estabelecidas da simulação para manter o sistema funcionando normalmente. A outra é que envolvem os dados em condições estabelecidas e variáveis internas do sistema;
- construir o modelo do sistema. Eventos discretos devem definir as entidades do sistema com precisão usando fluxograma ou diagrama de rede. Fluxograma inclui três

- partes: modelo de chegada de entidades temporárias, disciplina de filas, modelo de serviço;
- construir o modelo de simulação. O processo inclui a forma de armazenamento do modelo e dos dados, escolhendo plataforma de desenvolvimento de software e linguagem de programação de acordo com o modelo matemático e características do sistema;
- validar do modelo. Determinar se o modelo simulação e a linguagem computacional pode mostrar todas as partes do sistema precisamente (composição do sistema, organização do sistema, suponha de parâmetros);
- simulação e funcionamento. Para prever o princípio móvel do sistema, é importante entender a resposta de saída com diferentes entradas e mecanismo de simulação diferente;
- saídas e análises dos resultados da simulação.

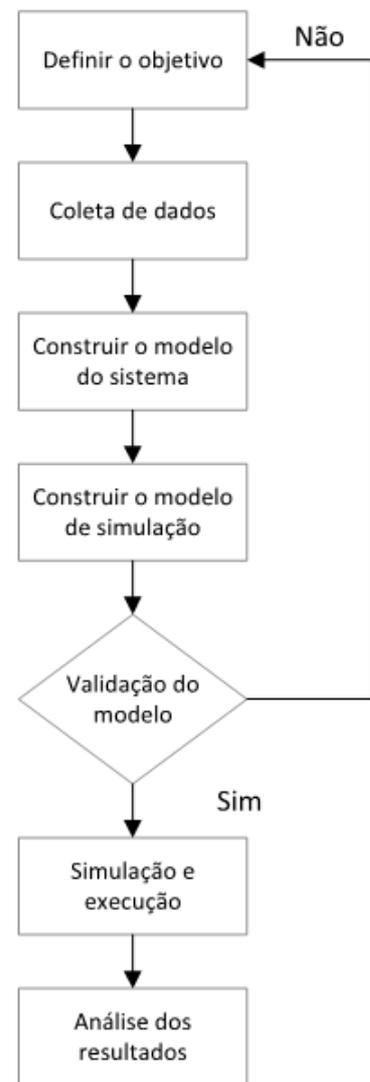


Fig. 1 – Etapas da modelagem e simulação no Flexsim, adaptado [9]

A seleção de software de simulação adequado é de considerável importância a qualquer projeto de simulação [14]. Para apoiar as empresas, diversos softwares de Simulação foram desenvolvidos, tais como: Arena, Promodel, Siemens Tecnomatix Plant Simulation, Dassault CATIA V6, AutoMod [12].

O Flexsim é um software universal de simulação de eventos discretos e é usado para modelar e simular diferentes sistemas de várias indústrias diferentes [17], podendo ser usado para identificar as falhas do layout da célula de trabalho através do modelo de simulação construído [7].

O VSM baseado a simulação permite investigar sistemas complexos e interpretar os resultados da simulação em uma linguagem que o lean reconhece [15], e a simulação possibilita uma visualização direta e facilita a compreensão das atividades e interação entre elas [10], além de gerar mapas alternativos de acordo com diferentes cenários projetados. Isso permite aferir o retorno do uso do MFV e seu impacto sobre o sistema total [18]. Além disso, o flexsim fornece o ajuste de dados original, entrada de modelagem, modelo de construção gráfico, experimentos de simulação

executando o modelo, otimizando os resultados, gerando vídeo de animação em arquivos 3D, etc [17].

III. MÉTODO

O presente estudo foi desenvolvido em uma indústria do ramo metalúrgico, fabricante de utilidades domésticas e industriais em aço inox. Para os propósitos desse estudo, a simulação de eventos discretos foi escolhido devido a sua flutuação dentro do processo, com o apoio do software Flexsim para executar as simulações [15]. A pesquisa foi dividida em quatro fases: Realidade, Modelo Conceitual, Modelo Científico e Solução [18].

	Etapas	Procedimentos e ferramentas utilizadas
FASE 1	Referencial teórico	Análise documental Documentos e ERP da empresa Apontamento de produção Cronoanálise Observação direta Entrevistas informais
Realidade	Definição do Processo	
	Mapeamento e análise do processo	
	Variáveis do Processo	
	Identificação dos Problemas	
FASE 2	Formulação e Construção do Modelo Formal	Microsoft Visio
Modelo Conceitual		
FASE 3	Simulação do Modelo	Simulação Flexim
Modelo Científico		
FASE 4	Análise dos Resultados	Conclusão
Solução		

Figura 2 - Etapas da pesquisa, Adaptador [18]

Foram utilizadas as seguintes técnicas qualitativas [12]:

- observação assistemática: consiste na coleta e registro de fatos da realidade;
- observação indireta: o pesquisador não tem participação efetiva no fato;
- entrevista assistemática: o entrevistador tem liberdade para direcionar a entrevista.

Foram utilizadas as seguintes técnicas quantitativas [12]:

- análise de documentos e fluxogramas;
- levantamento e agrupamento de dados, por meio de cronoanálise e apontamentos de produção.

A. Realidade

Inicialmente, para a simulação, o modelo conceitual representa um detalhamento do processo que será modelado e simulado, contendo os objetivos, entradas, saídas, suposições e as simplificações envolvidas na simulação, porém sem a utilização de softwares [18].

Para esse estudo, foi definido o processo de estamparia para a construção do modelo, pois trata-se de uma etapa com alto índice de complexidade, sendo identificado como um gargalo na empresa. O processo de estamparia engloba os seguintes processos:

IV. RESULTADOS



Figura 3 - Fluxograma básico

Por questões de sigilo industrial, foi definido para esse estudo a família de produtos chamada de linha V. A escolha se deu por se tratar de um produto que possui vendas em qualquer época do ano, ao contrário dos demais produtos que possuem venda sazonais.

A empresa vem enfrentando nos últimos anos dificuldades financeiras que fizeram com que houvesse a necessidade de fazer grandes mudanças, que acabaram afetando todas as áreas da empresa. Dessa forma, faz-se de extrema importância a análise de seus processos, afim de reduzir suas perdas e tornar as etapas mais enxutas e com um maior controle produtivo.

B. Modelo conceitual

Inicialmente, foi realizado o levantamento dos dados da empresa, com a utilização de pesquisas junto aos envolvidos, analisando e questionando os métodos de trabalho, como é realizados cada etapa da produção, afim de avaliar o

funcionamento da fábrica. Em seguida, foi verificado as informações do ERP da empresa e dos procedimentos, para analisar os apontamentos dos dados e entendimento dos processos. A empresa trabalha com lotes de produção, então, para que a próxima etapa seja iniciada, é necessário que a anterior seja finalizada.

O levantamento de dados teve como função, realizar a cronoanálise dos processos, para definição do tempo de ciclo, análise de setup, a disponibilidade de recursos, agregação de valor e dessa forma, fazer a construção do VSM atual e a construção dos modelos de simulação, o atual e o novo modelo proposto.

Com os dados registrados, passou a utilização do software Microsoft Visio®, onde foi utilizado para o desenvolvimento do mapa do estado atual, conforme Figura 4. Em seguida, observa-se a Tabela 1 com os cálculos de agregação de valor do mapa do estado atual.

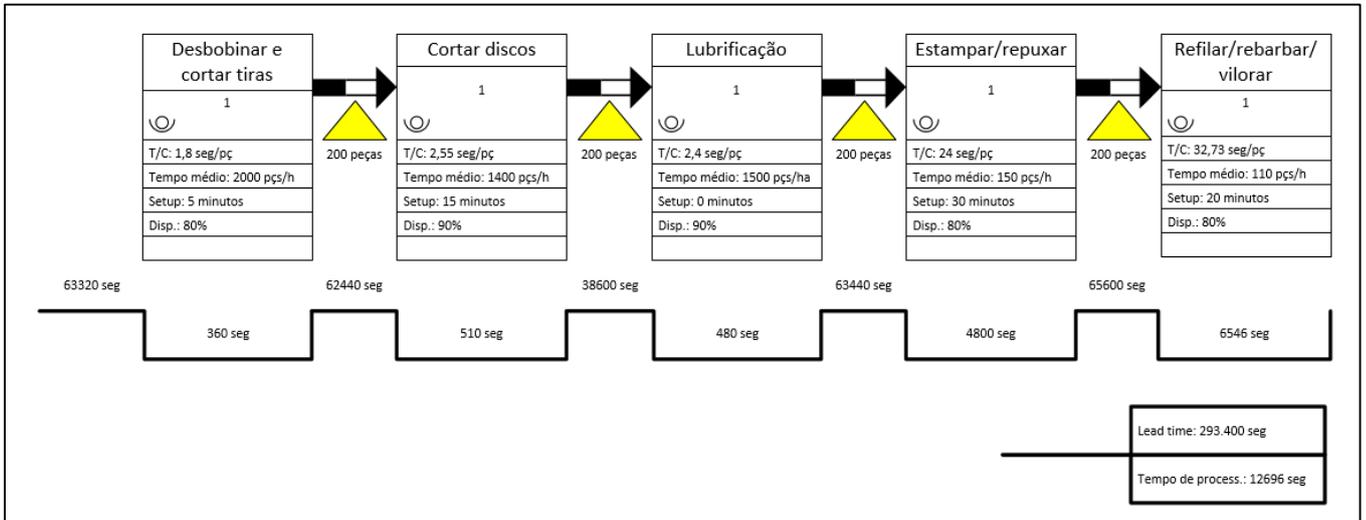


Figura 4 - Mapa atual

Tabela 1 - Cálculo e agregação de valor

Processo	Tempo de agregação de valor (seg)	Lead time (seg)	% de agregação de valor
Desbobinar e cortar tiras	360	63320	0,57%
Cortar discos	510	62440	0,82%
Lubrificar discos	480	38600	1,24%
Repuxar/estampar	4800	63440	7,57%
Refilar, rebarbar, violar	6546	65600	9,98%

Com base nas informações contidas na Figura 4 e na Tabela 1, percebe-se que os processos possuem várias perdas durante o seu desenvolvimento, pois o índice de agregação de valor é extremamente baixo, deixando claro que o tempo de paradas do processo é mais alto que o de processamento.

É possível ainda perceber que nos 3 primeiros processos da estamparia encontram-se as etapas de maior impacto, pois a agregação de valor está abaixo de 1%.

Em seguida, com o mapa atual finalizado, passou-se a detectar as perdas envolvidas nos processos, auxiliando a elaboração do estado futuro e a implementação das práticas

do lean e buscar a redução das perdas e dos desperdícios que tornam o processo menos eficiente.

Na Tabela 2 é possível analisar as principais perdas encontradas durante a análise dos processos, sendo que em todas as etapas é encontrada a existência da perda por espera, sendo de finalização de lote, falta de operador, como causas de atrasos.

Tabela 2 - Quadro de perdas do processo

Etapa	Perdas	Causas das perdas
Desbobinar e cortar tiras	Processamento	As bobinas utilizadas não possuem uma tamanho padrão, o que faz com que haja a necessidade de acompanhamento do operador, mesmo sendo um equipamento automático. Bobinas com diâmetros maiores que 1250mm acarretam paradas no corte e a necessidade de centralizar novamente o corte
	Espera	As duas primeiras etapas são feitas por apenas 1 operador, o que acarreta um maior tempo de parada dos lotes
	Espera	As peças ficam paradas até o completar o lote, e somente depois passam para a próxima tarefa
Cortar discos	Espera	As duas primeiras etapas são feitas por apenas 1 operador, o que acarreta um maior tempo de parada dos lotes
	Processamento	Esta etapa possui um tempo alto de setup, em torno de 15 minutos
Lubrificar discos	Espera	Os itens ficam paradas em um estoque intermediário aguardando o processamento
	Processamento	Alguns itens são necessários uma nova lubrificação antes de estampar, ocasionando um tempo extra nessa tarefa.
Repuxar, estampar	Processamento	Esta etapa possui um tempo alto de setup, em torno de 30 minutos, sendo que há a necessidade de 2 operadores para fazer essa etapa
	Espera	As peças ficam paradas até o completar o lote, e somente depois passam para a próxima tarefa
Refilar, rebarbar, violar	Processamento	Esta etapa possui um tempo alto de setup, em torno de 25 minutos
	Espera	As peças ficam paradas até o completar o lote, e somente depois passam para a próxima tarefa

C. Modelo científico

C.1 Simulação do estado atual

Nesse trabalho foi utilizado a simulação, pois permite prever dinamicamente indicadores de desempenho do

processo como níveis de estoque e tempos de atravessamento [18]. Assim, foi definido como software de auxílio o Flexsim.

Durante o processo de construção de modelos, uma quantidade moderada de simplificação é regularmente necessária, devido a complexidade dos processos. Depois da construção do modelo é necessário a sua validação,

confirmando o fluxo tecnológico. Depois disso, todos os parâmetros de entrada envolvidos são definidos e os parâmetros de saída são definidos [12]. A seguir, na Figura 5 pode-se verificar a simulação do estado atual, assim como o gráfico 1 mostra as informações geradas a partir da simulação computacional.

É possível verificar que os resultados do modelo conceitual e da simulação possuem divergências, isso ocorre devido as simplificações e ajustes necessários para a configuração da construção do modelo simulado. A simulação se deu em um período de 1 mês de trabalho, ou 170 horas de trabalho.

Assim como no modelo conceitual, percebe-se uma tendência a uma baixa agregação de valor, principalmente nas primeiras etapas, além de um elevado índice de tempo de

paradas, aguardando o início da operação, sendo esse caso, junto com o setup, o principal foco de necessidade de melhoria.

A Figura 5 mostra que o operador 1 é responsável pelo corte na guilhotina, assim como a operação da prensa excêntrica, o que afeta na sua produtividade. Ainda, temos o operador 2 que é responsável por fazer a lubrificação dos discos e entregar para o operador 3, que fará a estampagem. Por fim, temos o operador 4 que realizará o acabamento das bordas do produto, para que fiquem de acordo com as dimensões do produto.

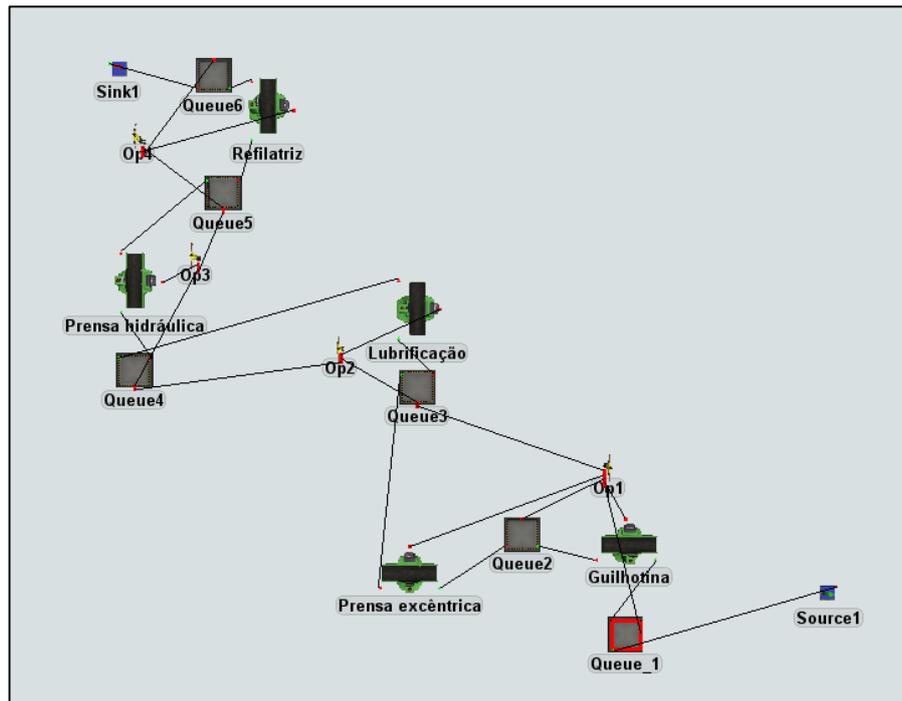


Figura 5 - Simulação Flexsim atual

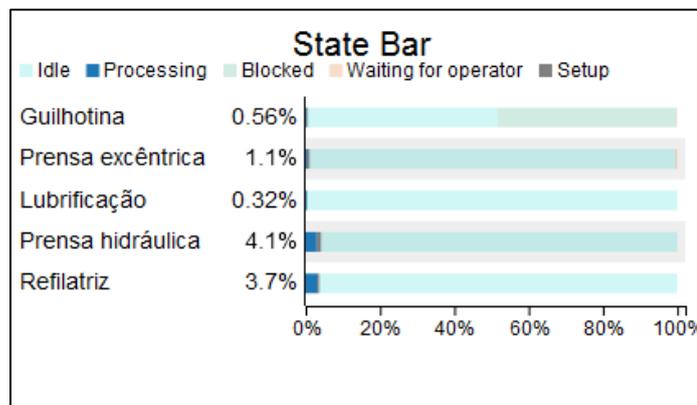


Figura 6 - Dados da simulação atual

A figura 7 mostra que o lead time da simulação do processo no estado atual fica em 79,14 horas (variável AvgStaytime = 284.932s), enquanto na medição do VSM foi encontrado 81,5 horas.

Composite Staytime		
Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
284932.00	252503.00	382168.00

Figura 7 – Lead time do processo atual

C.2 Simulação do estado futuro

Com base na análise do mapa do estado atual, elaborou-se um mapa de estado futuro que reduzisse ou eliminasse os desperdícios encontrados, ao propor uma nova alternativa que vise um fluxo de valor enxuto [18].

Como verificado no VSM e na simulação do estado atual, os maiores problemas estão no setup, no tempo de espera, devido a necessidade de finalizar todo o lote antes de iniciar uma nova etapa, além de haver somente 1 operador para fazer os dois primeiros processos.

Foi percebido ainda, que como a etapa 1 possui uma desbobinadeira e guilhotina que podem trabalhar sem supervisão após a regulagem, mas que devido ao tamanho da bobina ser praticamente no limite do equipamento gera a necessidade de supervisão durante o processo. Dessa forma, verificou-se junto ao fornecedor a padronização da bobina de aço, com a largura máxima de 1250mm.

Como a empresa trabalha com produtos semi-acabados, que ficarão em estoque e só serão finalizados após a compra do cliente, sugeriu a realização da análise de previsão de compra dos produtos, e dessa forma poder reduzir os lotes de produção.

Durante os trabalhos desenvolvidos da prensa hidráulica, foi identificado uma nova lubrificação das peças, trabalho

esse feito durante o processamento da peça na prensa hidráulica. Foi analisado junto ao operador, a possibilidade de fazer uma única lubrificação, com base em testes com novos lubrificantes presentes no mercado, ou ainda a aquisição de um novo equipamento de lubrificação, podendo ser manuseado pelo mesmo operador da estampagem.

Com a realização da simulação do estado futuro, conforme identificado na Figura 9, foi possível gerar dados para comparar com o estado atual, com base no lead time do processo, demonstrado na Figura 8, e dos gráficos de simulação gerados.

Composite Staytime		
Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
123528.00	106122.00	175372.00

Figura 8 - Lead time do processo futuro

As melhorias propostas não necessitam de altos investimentos, apenas de adequações de processo e reorganização da mão de obra presente na fábrica, porém, sem a utilização da simulação não seria possível fazer essa análise preliminar, pois necessitaria fazer a aplicação e somente em seguida verificar os resultados.

Outras melhorias poderiam ser realizadas durante a simulação do estado futuro, criando diversos cenários e simulações, afim de analisar e aplicar o cenário que melhor se enquadra na necessidade da empresa, seja ela com perfil de investimento ou somente por intermédio de ajustes no layout da empresa.

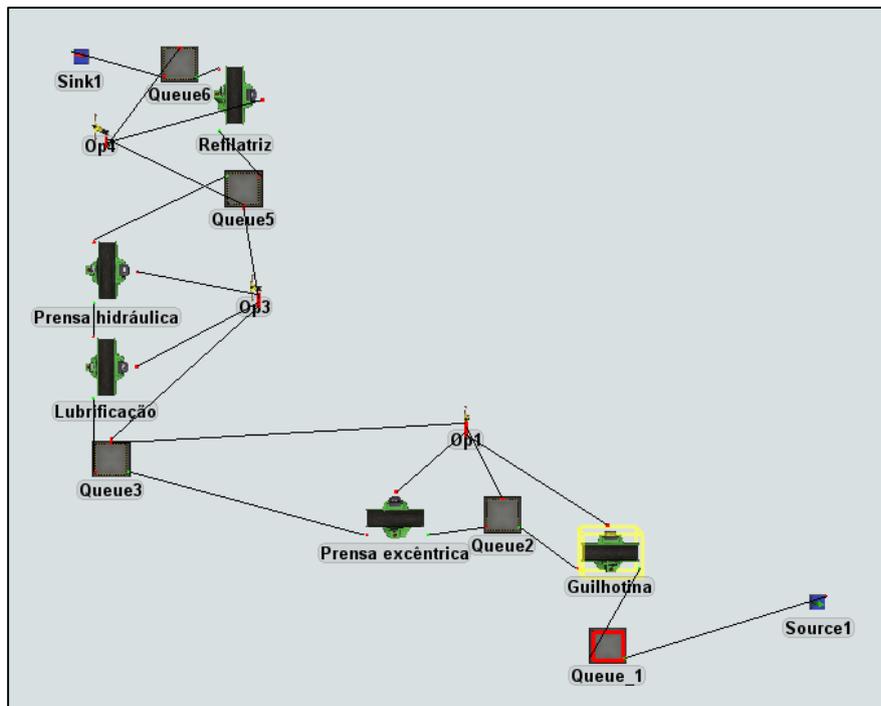


Figura 9 - Simulação Flexsim futuro

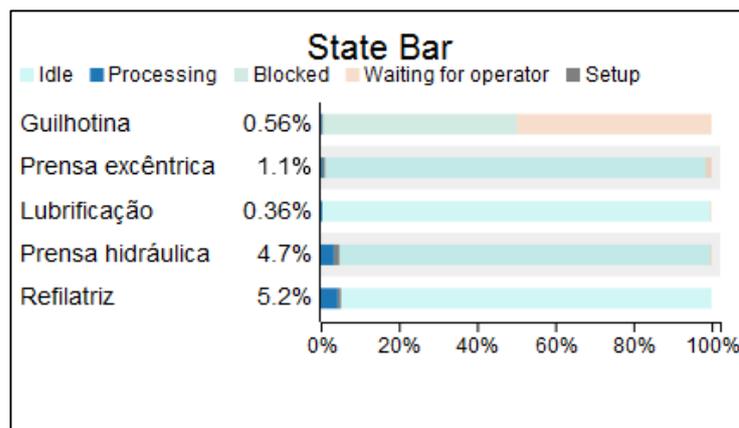


Figura 10 - Dados da simulação futura

A seguir, na Tabela 3 pode-se analisar os impactos gerados pelas propostas de melhorias aplicadas na simulação do estado futuro, confrontando com as informações obtidas na simulação do estado atual.

Tabela 3 - Comparação entre atual e proposto

Etapa	Atual	Proposto	%
Guilhotina	0,56	0,56	0%
Prensa excêntrica	1,1	1,1	0%
Lubrificação	0,32	0,36	13%
Prensa hidráulica	4,1	4,7	15%
Refilatriz	3,7	5,2	41%
Peças produzidas	600	800	33%

Percebe-se que as maiores melhorias ocorreram nas últimas etapas de produção, além da redução de 1 funcionário, que poderá ser remanejado para outra etapa de produção, alterando a localização do processo de lubrificação para junto a estamparia, acontecendo durante a realização da estampagem e efetuada pelo próprio operador.

Os aumento de processamento nas primeiras etapas não foram significativas, mas identifica-se um aumento de 13% no tempo de processamento da lubrificação, 15% no tempo de processamento de prensa hidráulica e de 40% no tempo de processamento na refilatriz, o que torna o processo com menos tempos de paradas e maior eficácia na realização da tarefa.

Com a redução dos lotes de produção foi percebido um aumento da capacidade de produção durante o período de simulação, passando de 600 peças para 800, ou seja, um aumento de aproximadamente 33% na capacidade produtiva da fábrica, em relação a simulação do estado atual.

Por fim, esta pesquisa demonstrou a importância atribuída ao modelamento conceitual, fase esta que antecede o modelo computacional em projetos de simulação. O uso do Mapeamento de Fluxo de Valor se mostrou adequado para a modelagem conceitual, permitindo o modelamento do caso prático demonstrado no artigo [18].

simulação computacional como suporte a aplicação dos conceitos do Lean Manufacturing. Por meio de um VSM do estado atual foi possível identificar os principais processos que não agregam valor no sistema. Com isso, propiciou uma melhor visualização dos processos, auxiliando na tomada de decisão.

A vantagem em usar a simulação em conjunto com os mapas VSM, é conhecer como o cenário atual vai responder às mudanças e ter a possibilidade de prever se a mudança será benéfica e quantificá-la; com isso, construir um cenário futuro ideal plausível e aplicável [16], assim é possível verificar que os resultados de ajustes de layout, aumento da agregação de valor e a capacidade produtiva da fábrica foram alcançados, e então, podendo passar para a implementação na empresa.

Com o desenvolvimento deste trabalho, foi possível aumentar a capacidade produtiva da fábrica em 33%. Resultado similar foi encontrado no estudo em uma empresa do ramo moveleiro, que por meio das melhorias, possibilitou um aumento na produtividade de 19%, possibilitando que a empresa pudesse buscar novos mercados e aumentando seu faturamento [12].

O lead time de produção é um fator predominante na busca pela participação no mercado, dessa forma, este estudo apresentou uma redução de em torno de 79 horas para aproximadamente 34 horas, sendo possível verificar resultados similares em uma empresa de embalagens flexíveis, que apresentou uma redução de 14 para 5 dias o lead time de fabricação de bobinas [18].

Esse estudo, demonstrou que a análise dos processos, junto com técnicas Lean e a simulação computacional, apresentam uma vasta gama de opções para a tomada de decisões, pois apresentam dados sobre os gargalos, etapas onde ocorrem os maiores desperdícios e assim definir de forma mais segura onde deve ser feito os investimentos.

Esse estudo pode ser aprimorado com a aplicação em todos os processos da fábrica, podendo assim ter uma visão mais abrangente, e dessa forma ter resultados mais expressivos. Para estudos futuros, propõem-se a aplicação prática na fábrica, levantando novamente os resultados obtidos e comparando com o estudo realizado.

V. CONCLUSÃO

Este trabalho teve por objetivo propor a utilização da

VI. BIBLIOGRAFIA

- [1] Ma Ga (Mark) Yang, Paul Hong, Sachin B. Modi, “Impact of lean manufacturing and environmental management on business performance: An empirical study of manufacturing firms”, *International Journal of Production Economics*, vol. 129, no. 2, pp. 251-261, 2010.
- [2] Ghobadian, Abby et al., “Examining legitimatisation of additive manufacturing in the interplay between innovation, lean manufacturing and sustainability”, *International Journal of Production Economics*, vol. 201, pp. SI, 2018.
- [3] Giuliano Marodin, et al., “Lean product development and lean manufacturing: Testing moderation effects”, *International Journal of Production Economics*, vol. 123, pp. 301-310, 2018.
- [4] Anupma Yadav, S. C. Jayswal, “Evaluation of batching and layout on the performance of flexible manufacturing system”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 101, no. 5, pp.1435-1449, 2018.
- [5] Blaž RODIČ, “Industry 4.0 and the New Simulation Modelling Paradigm”, *Faculty of Information Studies*, vol. 50, pp.193-207, 2017
- [6] Lixiong Gong , Bingqian Zou, Zhiqun Kan, “Modeling and Optimization for Automobile Mixed Assembly Line in Industry 4.0”, *Journal of Control Science and Engineering*, vol. 2019, pp. 1-10, 2019.
- [7] Nicholas Ho, Syn-Dee Ngooi, Chee-Kong Chui, “Optimization of workcell layout for hybrid medical device fabrication”, *Journal of Manufacturing Systems*, vol 50, pp. 163-179, 2019.
- [8] Zhexuan Zhou, et al., “Sustainable Production Line Evaluation Based on Evidential Reasoning”, *College of Information System and Management*, Vol.9, pp.1-14, 2017.
- [9] X. Zhu, et al., “A Flexsim-based Optimization for the Operation Process of Cold-Chain Logistics Distribution Centre”, *School of Mechanical, Electronic and Control Engineering*, Vol.12, no 2, pp.270-288, 2014.
- [10] Cristiano Chiminelli, Ricardo Pereira, Kazuo Hatakeyama, “Implementação de melhorias no setor têxtil empregando a Metodologia Lean Manufacturing e simulação no software Flexim”, *Revista Espacios*, vol. 38, no.19, pp. 36, 2017.
- [11] Falah Abu, et al., “The implementation of lean manufacturing in the furniture industry: A review and analysis on the motives, barriers, challenges, and the applications”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 234, pp. 660-680, 2019.
- [12] Cleiton Gaziero, Ivandro Cecconello, “Simulação Computacional do Fluxo de Valor: uma proposta de Integração da Indústria 4.0 e Lean Production”, *Scientia Cum Industria*, v. 7, n. 2, pp. 52-67, 2019.
- [13] J. A. Garza-Reyes, J. Torres Romero, K. Govindan, A. Cherrafi, and U. Ramanathan, “A PDCA-based approach to Environmental Value Stream Mapping (E-VSM),” *J. Clean. Prod.*, vol. 180, pp. 335–348, 2018.
- [14] Mohammad H. Khalili, Farhad Zahedi, “Modeling and simulation of a matters production line using promodel”, *2013 Winter Simulations Conference (WSC)*, pp. 2598-2609, 2013.
- [15] Aziz, Zeeshan; Qasim, Rana Muhammad; Wajdi, Sahawneh, “Improving productivity of road surfacing operations using value stream mapping and discrete event simulation”, *Construction Innovation*, Vol.17, no.3, pp.294-323, 2017.
- [16] R. B. M. Oliveira, V. A. Corrêa, and L. E. N. do P. Nunes, “Mapeamento do Fluxo de Valor em um Modelo de Simulação Computacional,” *Produção Online*, vol. 14, no. 3, pp. 837–861, 2014.
- [17] Li-Hong CHEN, Da-Wei HU, Ting XU, “Highway freight terminal facilities allocation based on flexsim”, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 96, pp. 368-381, 2013.
- [18] Ribeiro, Danilo R.S. et al; “Mapeamento do fluxo de valor e uso da simulação integrada lean com sistemas ciberfísicos em uma indústria de embalagens flexíveis”, *Produção online*, v.19, n. 1, pp. 346-374, 2019.