

# Simulação Computacional do Fluxo de Valor: uma proposta de Integração da Indústria 4.0 e Lean Production

Cleiton Gaziero e Ivandro Cecconello

## Resumo

Normalmente, o primeiro passo para a implantação de um sistema Lean Production é o Mapeamento do Fluxo de Valor (VSM). O objetivo deste trabalho consiste na integração da Indústria 4.0 e Lean Production operacionalizada pelas técnicas de mapeamento de Fluxo de Valor aliados a Simulação Computacional. Para tanto, foi desenvolvido e validado um método para integrar estas duas ferramentas. A Simulação consiste em uma das ferramentas da Indústria 4.0, que proporciona uma informação mais precisa e mais ágil. Isso é fundamental na indústria do Século XXI. Por meio da abordagem do Lean Production foi possível verificar os problemas do estado atual e buscar corrigi-los, simulando um cenário em um estado futuro, podendo se comparar os resultados. As etapas produtivas simuladas, utilizadas como objeto de estudo, foram processos de pintura de móveis de madeira e MDF, visto que era o gargalo da indústria analisada. Após a Simulação, o cenário proposto apresentou uma melhora de 19% na produtividade, além de melhorias em na agregação de valor e utilização dos recursos. A aplicação do VSM aliado a Simulação proporciona ter maior assertividade no mapa atual, uma vez que a Simulação permite que sejam verificados indicadores para um grande período de tempo, enquanto o VSM somente traz dados para um instante de tempo, além disso, a Simulação permite testar alternativas e cenários futuros antes de implementá-los.

## Palavras-chave

Indústria 4.0, Lean Production, Mapeamento do fluxo de valor, Simulação.

# Computational Simulation of Value Flow: A Proposal for Integration Industry 4.0 and Lean Production

## Abstract

Typically, the first step in deploying a Lean Production system is Value Stream Mapping (VSM). The objective of this work is the integration of the Industry 4.0 and Lean Production operationalized by the techniques of Mapping Value Flow allied to Computational Simulation. This was accomplished the VSM and the simulation of the process of the current state. Simulation consists of one of the tools of Industry 4.0, which provides more accurate and more agile information. This is critical in 21st Century industry. Through the Lean Production approach, it was possible to check the problems of the current state and seek to correct them by simulating a scenario in a future state, and the results can be compared. The simulated productive steps were the processes of painting wood and MDF furniture, since it was the bottleneck of the industry analyzed. After the Simulation, the proposed scenario showed a 19% improvement in productivity, as well as improvements in value aggregation and resource utilization. The application of the VSM together with the Simulation provides greater assertiveness in the current map, since the Simulation allows indicators to be checked for a long period of time, while the VSM only brings data to an instant of time, in addition, Simulation allows testing alternatives and future scenarios before deploying them.

## Keywords

Industry 4.0, Lean Production, Value stream mapping, Computational simulation.

## I. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, com a alta competitividade a nível global as empresas precisam ser ágeis na resolução de problemas e nos estudos de melhorias, buscando diminuir custos, oferecendo uma melhor qualidade ou entregando um produto diferenciado, conforme estratégia da empresa. Devido a isso as empresas não têm mais tempo de testar e errar seus projetos fisicamente.

Com o avanço das tecnologias computacionais e industriais diversas ferramentas surgiram no auxílio à gestão de manufatura. Essas ferramentas auxiliam na coleta e análise de dados, possibilitando assertividade na tomada de decisão.

A Indústria 4.0 criou oportunidades únicas para definir roteiros e processos de manufatura. A descentralização permite decisões autônomas em um ambiente de fabricação semelhante ao mercado, composto por prestadores de serviços e consumidores, dentro do chão de fábrica, verticalmente e horizontalmente integrado para o alinhamento com processos de negócios de fabricação e cadeia de fornecimento global [1].

A Simulação computacional pode ser usada em duas fases distintas: a fase de justificativa do projeto e na fase do desenho dos processos de fabricação. Na fase de implantação a simulação colabora ajudando a prever possíveis problemas em campo e com isto gerando economia dos recursos financeiros da empresa. Permite também auxiliar na análise de retorno de investimento de um novo projeto, mostrando possíveis ganhos de produtividade e evitando super ou subdimensionamentos [2].

O presente trabalho tem por objetivo propor a integração da Indústria 4.0 e Lean Production operacionalizada pelas técnicas de mapeamento de Fluxo de Valor aliados a Simulação Computacional. Para tanto, é usado como objeto de estudo uma linha de pintura líquida em uma empresa do ramo moveleiro que fabrica mobiliário de uso residencial em madeira.

## II. REFERENCIAL TEÓRICO

### A. INDÚSTRIA 4.0

As soluções de hardware e software cada vez mais acessíveis aceleraram a transição para a fábrica inteligente e interconectada prevista pela Indústria 4.0 [1]. Começando como um programa do governo alemão para aumentar a competitividade de sua indústria manufatureira a Indústria 4.0 foi anunciada em 2011. É um projeto de cooperação entre o setor privado, a academia e o governo e gira em torno de Redes de recursos de fabricação que são autônomas, capazes de se controlar em resposta a diferentes situações, auto configuráveis, baseados no conhecimento, equipados com

sensores e especialmente dispersos e que também incorporam o planejamento e sistemas de gestão [3], [4].

Desde o início da industrialização, os saltos tecnológicos levaram a mudanças de paradigmas que hoje são chamadas “revoluções industriais”: no campo da mecanização (a chamada 1ª revolução industrial), do uso intensivo de energia elétrica (a chamada segunda revolução industrial) e da digitalização generalizada (a chamada 3ª revolução industrial). Com base em uma digitalização avançada dentro das fábricas, a combinação de tecnologias da Internet e tecnologias orientadas para o futuro no campo de objetos “inteligentes” (máquinas e produtos) resultam em uma nova mudança fundamental de paradigma na produção industrial [5]. A Indústria 4.0 é um termo utilizado para denominar a quarta Revolução Industrial. Revolução esta voltada para intercomunicação dos diversos agentes presentes no meio industrial. É considerada a próxima fase da digitalização do setor de manufatura, a “smart factory”, fábrica inteligente [4]. Sendo composta por quatro disrupções: o poder computacional e a conectividade; o surgimento de análises de inteligência de mercado; novas formas de interação homem-máquina; e melhorias na transferência do digital para o mundo físico, como robótica avançada e impressão 3D [1].

Um dos grandes objetivos da Indústria 4.0 é a integração, em todos os níveis, chão de fábrica, sistemas e softwares de manufatura, outras indústrias, até a integração com clientes e fornecedores, promovendo um melhor fluxo de informação e criação de redes de dinâmica de valor. A modelagem compreende uma das áreas de integração no contexto de Indústria 4.0. Promove a conexão de terminais, cloud, redes industriais e recursos físicos [5], [6].

As principais tecnologias presentes na Indústria 4.0 são: IoT - redes que permitem a coleta e troca de dados; big data – dados volumosos chegando a alta velocidade e em diferentes formatos; realidade aumentada; manufatura aditiva; cloud, cyber segurança [7]. A segurança é uma das preocupações mais importantes na Indústria 4.0, dado que as vulnerabilidades introduzidas durante a implantação podem ser difíceis de detectar, também pela fábrica ficar mais exposta a invasores através da Internet [6]. Os quatro principais pilares da Indústria 4.0 são: descentralização, integração vertical, conectividade e mobilidade, análise avançada de dados [1].

A Indústria 4.0 busca transformar o chão de fábrica em um mercado de capacidades e necessidades de produção, por meio de sistemas ciberfísicos, será possível analisar demandas e meios de manufatura, assegurando operações eficientes e eficazes [1]. A Indústria 4.0 influencia significativamente o ambiente de produção com mudanças radicais na execução das operações. Em contraste com o planejamento de produção baseado em previsão convencional, a indústria 4.0 permite o planejamento em tempo real dos planos de produção, juntamente com a

otimização dinâmica [8]. A introdução da IoT e a evolução das tecnologias de informação criou necessidades em vários setores para explorar incertezas das informações coletadas nos contextos de fabricação para alcançar capacidade de implementação, robustez e baixo custo de solução para capacitar fabricação manufatureira [9].

Os benefícios da implementação da Indústria 4.0 consistem no aumento da flexibilidade, seguido pela melhoria da produtividade, custo reduzido, tempo de entrega reduzido e melhor qualidade [3]. Em estágios mais avançados, as máquinas podem prever falhas, acionar processos de manutenção de forma autônoma e organizar a logística dos processos de acordo com o desempenho da produção [4].

Indústrias em todo o mundo se esforçam para alcançar o Lean Production, mas nem toda organização é bem-sucedida na implementação e obtenção dos benefícios dela, devido a uma estrutura abrangente de barreiras e desafios para a implementação. A partir de uma perspectiva de integração o Lean pode ser implementado através das tecnologias da Indústria 4.0. Através de sistemas integrados de informação e comunicação, as deficiências das práticas convencionais podem ser superadas para melhorar a produtividade e eliminar desperdícios. Isso implica que as indústrias têm os benefícios combinados da integração em tempo real de toda a fábrica, juntamente com a garantia de geração mínima de resíduos [8]. A Indústria 4.0 cria oportunidades de definir o melhor roteiro de fabricação de um determinado produto, pois com o auxílio da Simulação Computacional pode-se testar qual a melhor alternativa de manufatura da entrada da matéria-prima até a expedição [1].

## B. LEAN PRODUCTION

O objetivo da implantação das técnicas de Lean consiste na redução de custos eliminando atividades que não agregam valor ao produto, eliminando desperdícios e atendendo as demandas do cliente, fazer mais com menos. Esse tipo de ação tem sido imprescindível para ser competitivo no mercado global, pois são fundamentais para o aumento da competitividade das empresas [10], [11]. Lean tem contribuído para a obtenção de objetivos organizacionais que incluem lucratividade, eficiência, satisfação do cliente, qualidade e capacidade de resposta [12]. Lean Production consiste em um processo dinâmico de mudanças orientado por um conjunto sistemático de princípios e melhores práticas [13].

Um dos passos para se reduzir os custos operacionais é através da eliminação ou redução dos desperdícios, com o objetivo de facilitar a identificação dos desperdícios no processo produtivo definem-se sete categorias de desperdícios: superprodução, espera, transporte, processo, estoque, movimentação, produtos

defeituosos [13]. Nivelamento de produção eficiente em termos de volume e mix para eliminar a superprodução, está entre os objetivos fundamentais do Lean, onde a superprodução significa produzir mais, antes ou mais rápido do que o requerido pelo próximo processo. A superprodução causa custos adicionais de manuseio, inspeção, contagem e armazenamento dos produtos ainda não necessários. Além disso, com a superprodução, os defeitos permanecem ocultos nas filas de estoque até que o processo seguinte finalmente use as peças e os problemas de qualidade sejam descobertos [11]. O tempo Takt sincroniza o ritmo de produção com o ritmo das vendas. A produção no tempo takt é alcançada através de meios, tais como configurações rápidas da máquina, alterações no fluxo de processo e estratégias de capacidade escalável [14].

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. Embora se tenha uma grande divulgação dos benefícios do Lean são muitas as empresas que ainda não o implementam. Algumas razões para isso seriam que as empresas não conhecem este modelo; não sabem como o implementar; não entendem os princípios; não tem apoio da gestão de topo; desconhecem os benefícios trazidos ou não sabem como os quantificar ou consideram haver custos de investimento [15]. O Lean enfatiza o controle visual e a transparência, o que facilita a identificação de problemas no processo. Pode se classificar os benefícios de desempenho da implementação do lean production em cinco grupos: operacional, financeiro, humano, mercado e ambiental [3]. 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 [16].

O Lean incorpora uma infinidade de ferramentas, entre elas, kanban, single minute exchange of dies (SMED), total productive maintenance (TPM), kaizen, Poka-Yoke [10]. A implementação bem-sucedida dessas ferramentas e práticas resulta em sistemas de manufatura caracterizados por ter processos de pedido e entrega flexíveis de alta velocidade que melhoram o desempenho geral dos negócios [11], [17].

O Value Stream Mapping (VSM) é considerado um das ferramentas mais essenciais do Lean. VSM é uma ferramenta simples e visual baseada em processos que permite a documentação, visualização e compreensão de fluxos de processos, a fim de identificar os desperdícios e providenciar sua eliminação. Além disso, engloba uma variedade de práticas de gestão, tais como, Just in time, sistemas de qualidade, células de manufatura, gestão de suprimentos, entre outras [12]. 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 [13]. O VSM é construído pelos seguintes passos, sendo o primeiro a definição do produto ou família de produtos a ser mapeada, o segundo passo trata do desenho do estado atual, identificando suas oportunidades de melhoria e o terceiro consiste na criação do mapa futuro com a eliminação das ineficiências [18].

Apesar de constituir uma técnica fundamental para o Lean, a metodologia original de aplicação do VSM apresenta pontos frágeis que comprometem a sua eficácia. A transição entre o estado atual e o estado futuro é geralmente pobre em dados e está baseada na capacidade de abstração de cada analista. Nesse sentido, a simulação de eventos discretos pode servir de complemento para explorar todo o potencial do VSM. A simulação pode ajudar tanto a projetar diferentes cenários de estados futuros, quanto a detalhar alternativas para a implementação de um estado futuro projetado [13]. Devido a complexidade dos sistemas produtivos torna-se necessário uma ferramenta complementar que possa quantificar os ganhos durante as fases iniciais de planejamento e avaliação. A simulação pode ser usada para lidar com a incerteza e criar visões dinâmicas dos níveis de estoque, tempos de espera e utilização da máquina para diferentes mapas de estado futuro. Isso permite quantificar o retorno derivado do uso dos princípios do Lean Production. As informações fornecidas pela simulação podem permitir ao gerenciamento comparar o desempenho esperado do sistema Lean em relação ao sistema existente que ele foi projetado para substituir [10]. Além disso, a combinação de simulação com as técnicas tradicionais de VSM possibilita avaliar o desempenho de um novo layout [14].

### C. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COMO FERRAMENTA INTEGRADORA

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. É uma técnica para solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador digital [19]. O uso da abordagem de modelagem de simulação permite modelar os caminhos de fluxo de materiais complicados e coletar uma variedade de medidas de desempenho [20]. Simular o sistema a ser estudado é um dos modos de reduzir custos no planejamento a fim de prever as diversidades e compreender a viabilidade técnica e econômica do que se pretende implementar [13].

Uma simulação de eventos discretos é um tipo de simulação onde um sistema muda seu estado em pontos discretos no tempo. É comumente usado 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 [21], [20]. Com as informações de dados precisas, a simulação pode ser utilizada para maximizar lucros [22].

As indústrias de manufatura sempre foram as maiores usuárias da simulação, sendo a simulação de eventos discretos uma das mais poderosas ferramentas para modelagem e análise de problemas, utilizada para o planejamento, projeto e controle de sistemas complexos [16]. Existem diversas aplicações para a Simulação nas mais diversas áreas, como: o fluxo de trânsito, a estocagem em supermercados, os pedágios, os estacionamentos, as operações logísticas e a área da saúde [18]. 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 [19].

O trabalho de Simulação pode ser desenvolvido segundo as seguintes etapas: formulação do problema, coleta de dados, definição e validação do modelo, construção e verificação do programa computacional, realização de execuções piloto, validação do modelo programado, projeto dos experimentos, realização das execuções de Simulação, análise de resultados e documentação e implementação [24], [20]. Diversos *softwares* de Simulação foram desenvolvidos, tais como: Arena, Promodel, Siemens Tecnomatix Plant Simulation, Dassault CATIA V6, AutoMod [25].

Apesar de numerosos estudos recentes que investigam a interação entre Tecnologia da informação e Lean Production, poucos abordam novas possibilidades introduzidas pela Indústria 4.0, ou seja, como a introdução da Indústria 4.0 influenciará práticas de gestão já estabelecidas, como o Lean e suas práticas já estabelecidas influenciarão a implementação da Indústria 4.0 [3]. A integração do Lean Production e da Indústria 4.0 é um importante campo de pesquisa a ser amplamente explorado. O advento da manufatura integrada por computador deu origem ao conceito de automação Lean, onde tecnologias robóticas, automação, simulação são empregadas para alcançar o Lean [8].

A introdução da Indústria 4.0 não elimina o Lean Production, mas ajuda a aumentar a maturidade do programa

da empresa. A Indústria 4.0 se materializará em peças que precisam ser integradas em estruturas lean existentes e aumentar a flexibilidade da manufatura enxuta. O impacto sinérgico do desempenho de uma integração motiva a otimização conjunta dos dois em vez de otimizar apenas um recurso [3]. A simulação computacional permite a integração entre o Lean Production e a Indústria 4.0, acelerando testes e novos projetos industriais. Com softwares cada vez mais condizentes com o mundo físico, é possível simular com maior precisão e assertividade [13]. A Simulação pode auxiliar no planejamento dos sistemas de produção, reduzindo lotes de produção, movimentações desnecessárias, WIP, diminuindo lead times, permitindo uma produção lean [14]. Sendo possível testar novos layouts, alterar tamanhos de lotes, verificar melhor maneira de produção para um novo produto [20].

O VSM tradicional é um processo manual de "caneta e papel" e a coleta de dados por muitas vezes pode ser desafiador e tedioso. Além disso, oferece apenas um instantâneo do processo, e pequenas mudanças podem mudar drasticamente esta imagem. Indústria 4.0 pode melhorar o VSM através da coleta de dados em tempo real, esse é o conceito de "Value stream mapping 4.0" [26]. Ao automatizar a coleta de dados, o tempo gasto e a probabilidade de erro são reduzidos. Além do que, uma imagem dinâmica do chão de fábrica é criada, o que aumenta a visibilidade da informação e fornece aos tomadores de decisão com informações precisas e em tempo real. Este tipo de VSM em tempo real oferece excelente possibilidade de redução de resíduos, bem como feedback imediato sobre as decisões. Isso facilita experimentos na produção, por exemplo, relacionado a tamanhos de lotes e sequenciamento de

produção [3]. A modelagem e simulação de eventos discretos, agregado com o VSM, permite a determinação das restrições de sistemas complexos, suprimindo informações de predição do desempenho do sistema conforme a variação dos seus campos. A simulação permite, ainda, verificar o desempenho da solução no que diz respeito ao tempo de fluxo e utilização quando a variabilidade é considerada no sistema [18].

### III. MÉTODO

O presente estudo de simulação foi realizado em uma indústria moveleira, fabricante de móveis residenciais em madeira. Neste trabalho foram utilizadas as abordagens qualitativas e quantitativas. As etapas da pesquisa estão descritas na Figura 1 [27] [13].

Foram utilizadas as seguintes técnicas qualitativas [27]:

- 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 [27]:

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

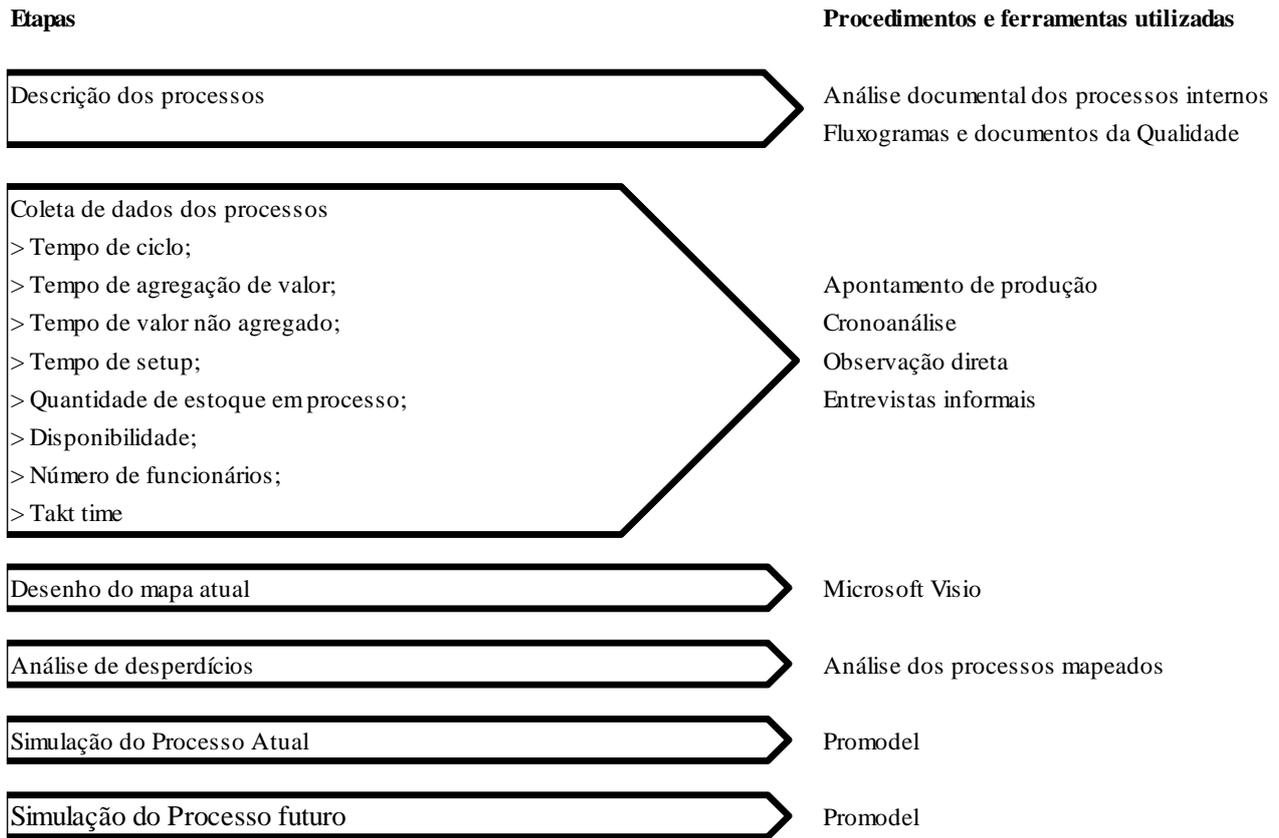


Fig 1: Etapas da Pesquisa, Adaptado [13]

#### IV. RESULTADOS

##### A. DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS

O primeiro passo para construir um modelo virtual é ter alguma visão sobre o fluxo de processo da linha de produção. É necessário compreender as características da linha de produção, incluindo a estabilidade do desempenho, a eficiência da taxa de produção, o grau de automação, a conveniência de manutenção e a qualidade dos produtos [25].

O objeto de estudo deste trabalho consiste numa linha de pintura de uma empresa fabricante de móveis,

devido a mesma não estar atingido o desempenho, sendo a linha o gargalo para o sistema produtivo como um todo. A partir disso, este estudo partiu da análise do fluxo de processo, por meio da verificação dos roteiros de fabricação cadastrados no sistema ERP.

O processo de pintura é composto pelas seguintes etapas, o fluxo de processo é mostrado na Figura 2:

- Madeira: Lixação bordas, pintura base bordas, polimento bordas, pintura acabamento bordas, pintura face;
- MDF/MDP: Lixação/pintura base/polimento bordas, pintura acabamento bordas, pintura face.

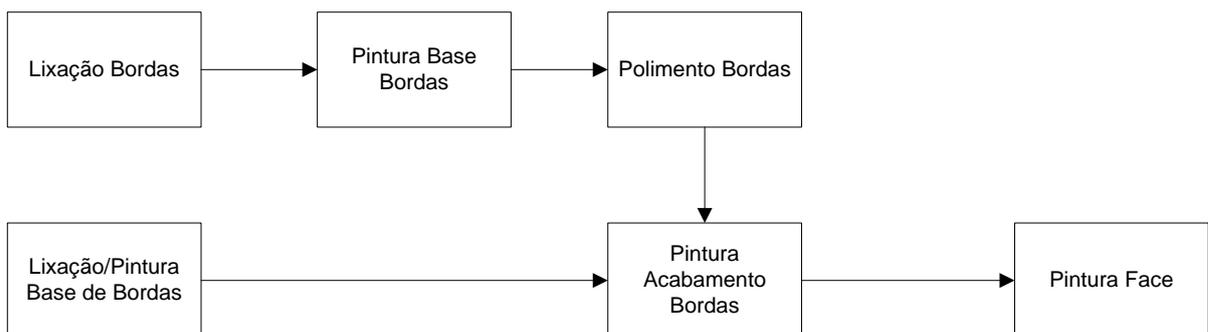


Fig 2: Fluxograma Básico

Foi escolhida como base para Simulação a linha de produtos H, que corresponde a aproximadamente 70% do faturamento da empresa. Fabricada com madeira pinus, MDF e MDP, se caracteriza por um design sóbrio, com poucos detalhes, mas mesmo assim certa complexidade de fabricação, devido as singularidades das matérias-primas que são utilizadas.

**B. COLETA DE DADOS DE PROCESSO**

Foi realizado o levantamento de dados de produtividade durante 6 meses, março a agosto de 2018, compreendendo meses de alta de mercado (março, abril, maio, junho) e meses de baixa de mercado (julho e agosto). As informações foram obtidas a partir da coleta de dados do sistema de apontamento de dados ERP que monitora a produção. Algumas mensurações foram acompanhadas diretamente no chão de fábrica com a prática do Gemba (visitas ao chão-de-fábrica), para entendimento do processo e coleta de informações complementares, como dimensões e distâncias entre recursos e cronoanálises de tempos de ciclo a fim de aferir com os apontamentos. Foram realizadas entrevistas informais com líderes e operadores da linha, com

o objetivo de compreender e esclarecer os fatores que influenciam no processo produtivo.

**C. DESENHO DO MAPA ATUAL**

Para construção do VSM do mapa atual foi utilizado o programa Microsoft Visio. Foram coletados os seguintes dados:

- Tempo de ciclo dos recursos;
- Quantidades médias de retrabalho;
- Disponibilidade dos recursos;
- Tempos de parada por recursos;
- Estoques em processo (WIP) entre os recursos (buffers).

O fluxo de matérias na produção acontece da forma empurrada, ou seja, cada recurso realiza suas operações sem verificar se o recurso seguinte está precisando daquele material. Isso aliado com problemas de qualidade, alta quantidade de retrabalho ocasiona um alto índice de estoque em processo. Na Figura 3 encontra-se o mapeamento do fluxo de valor do estado atual. Na Tabela 1 é mostrado o cálculo de agregação de valor, da mesma forma, do estado atual.

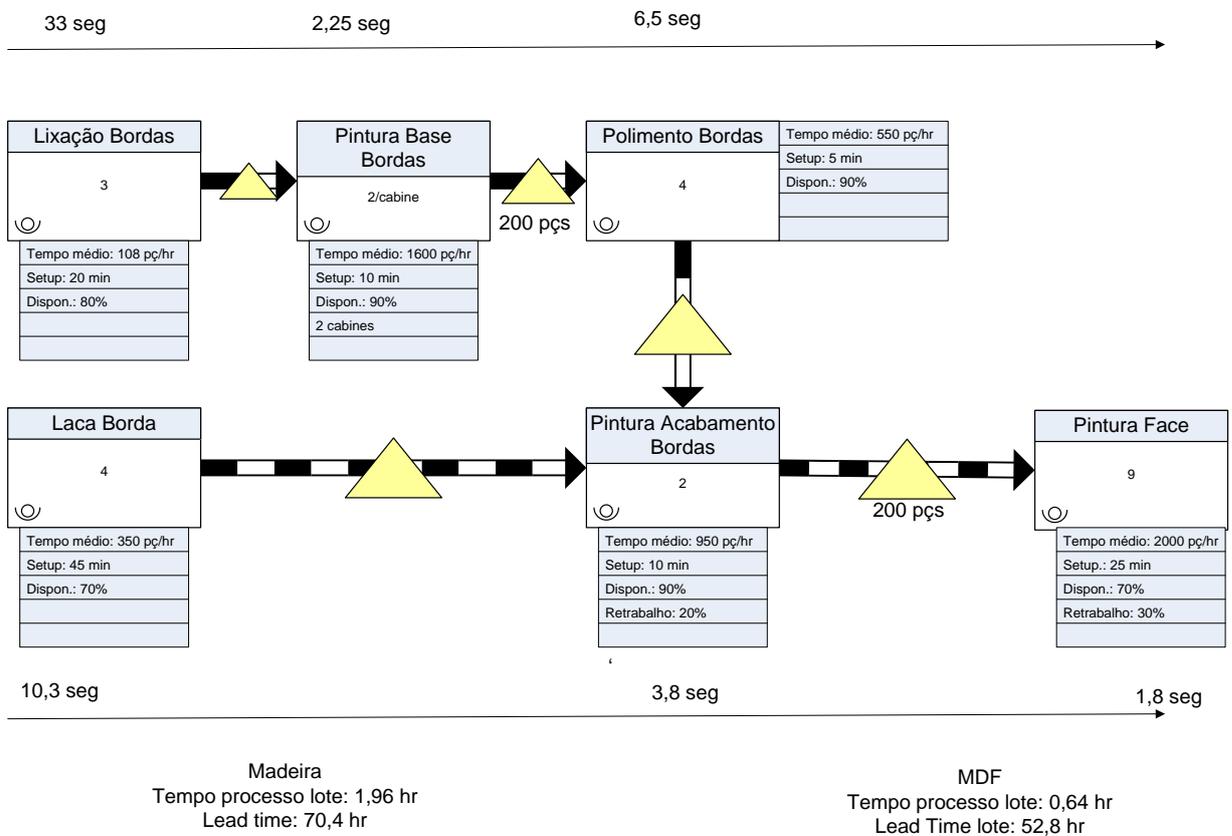


Fig 3: Mapa Atual

Tabela 1 – Cálculo Agregação de Valor

Produto	Tempo de agregação de valor (min)	Lead time (min)	% agregação de valor
Tampo MDF	0,71	2112	0,033%
Tampo Madeira	1,19	3168	0,038%
Frente Gaveta MDF	0,25	2112	0,012%
Frente Gaveta Madeira	0,42	3168	0,013%
Barra Madeira	1,22	3168	0,038%
Moldura MDF	0,75	2112	0,035%
Moldura Madeira	1,32	3168	0,042%
Painel	0,06	1056	0,006%
		Média	0,027%

Como pode ser visto no quadro acima, em todos os itens, a porcentagem de tempo de agregação de valor é muito baixa, isso se deve às várias perdas que ocorrem durante o processo. Isso faz com que as peças fiquem mais tempo paradas do que sendo realmente processadas. A média geral de agregação de valor é de 0,027%.

#### D. ANÁLISE DE DESPERDÍCIOS

Através da análise do estado atual foi possível enxergar alguns desperdícios que ocorrem em cada processo.

Isto possibilitou a elaboração do mapa do estado futuro, com a proposta de implementação de práticas lean visando a redução e a eliminação desses desperdícios, bem como a transposição das barreiras contrárias à criação do fluxo enxuto.

Devido ao alto índice de retrabalho e desperdícios, muitas vezes acontecem atrasos de programação. Devido a falta de sincronização dos recursos, o WIP é elevado. As perdas de processo coletadas e levantadas são descritas na Tabela 2.

Tabela 2 – Quadro de Perdas de Processo

Recurso	Perdas	Causa das Perdas
Kraftlyne	Transporte	Transporte é feito por lotes, geralmente de grandes quantidades.
	Processamento	Possui setup demorado.
Cabines 1 e 2	Transporte	Após a lixação na Kraftlyne as peças percorrem uma grande distância até chegar as cabines. Todo o transporte é feito por lotes, muitas vezes devido ao alto índice de estoque intermediário, o operador perde tempo para encontrar as peças que precisa.
Polimento	Espera	Para realizar o polimento das peças é necessário aguardar o tempo de secagem das peças. Com isso se forma um estoque intermediário.
Laca Borda	Movimentação	Possui movimentação desnecessária para o retorno manual das peças. Esse recurso permite o processamento de uma borda por vez, logo uma peça que possui 4 bordas necessita de 4 processamentos.
	Processamento	Possui um setup demorado, cerca de 45 min.
Cabine 3	Defeitos	Esse recurso por se tratar de acabamento final possui índice de retrabalho elevado. A distância da cabine de pintura até a linha de pintura é grande, as peças praticamente atravessam o setor de pintura inteiro.

	Transporte	A distância da cabine de pintura até a linha de pintura é grande, as peças praticamente atravessam o setor de pintura inteiro.
<b>Linha de Pintura</b>	Movimentação	A peça tem que ser pintada um lado por vez, dessa forma a peça tem que passar dois lados, depois de passar a primeira vez e chegar ao final da linha a peça tem que voltar ao início da linha para pintar o outro lado.
	Defeitos	Esse recurso possui um índice de retrabalho elevado, cerca de 30%.
<b>Todos</b>	Superprodução	Não é seguido um sequenciamento que auxilie o recurso seguinte, é seguida a programação de forma aleatória.
	Inventário	Por ser produzido em lotes e não se ter uma sequência de produção, em cada recurso se forma um estoque intermediário, que é maior conforme este recurso for gargalo.

#### E. SIMULAÇÃO DO PROCESSO ATUAL

O modelo utilizado neste trabalho foi desenvolvido através de um método determinístico de Simulação Computacional que permite simular o processo de forma que se assemelhe ao funcionamento deste sistema [16]. O modelo foi construído utilizando o *software Promodel*.

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 [25]. Na Figura 4 é mostrado o layout desenhado no *Promodel*.

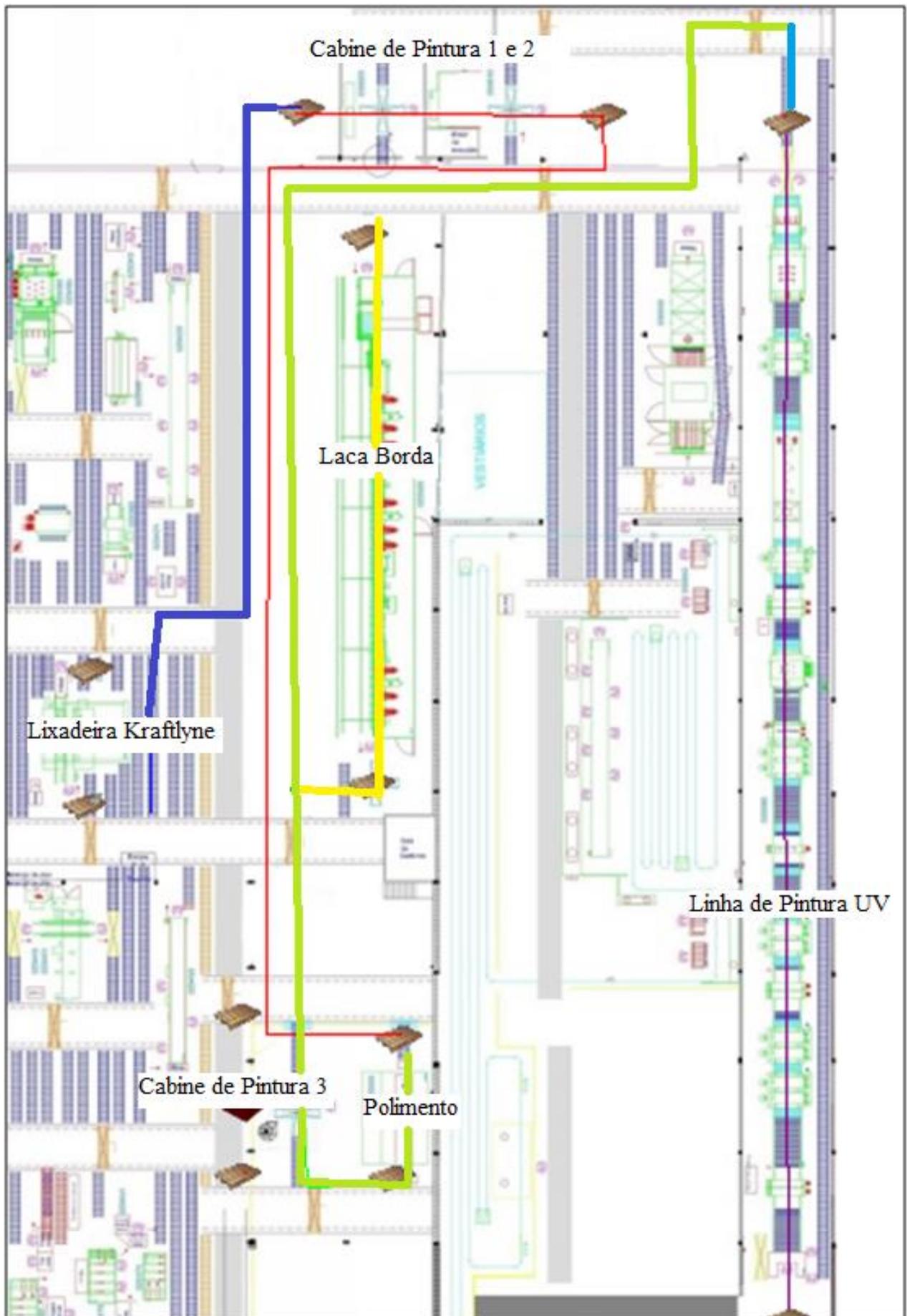


Fig 4: Layout

A simulação foi realizada para o período de um mês de trabalho, 176 horas. Comparando os valores de produção real com a simulação, conforme Tabela 3, pode-se

notar que os valores ficaram muito próximos. Essa diferença deve-se as simplificações na construção da simulação.

Tabela 3 – Comparativo entre Produção Real e Simulação

Produto	Real	Simulação	%
<b>Tampo MDF</b>	6300	6450	2%
<b>Tampo Madeira</b>	3250	3650	12%
<b>Frente Gaveta MDF</b>	24000	24000	0%
<b>Frente Gaveta Madeira</b>	9000	9200	2%
<b>Barra Madeira</b>	4500	4600	2%
<b>Moldura MDF</b>	1750	2000	14%
<b>Moldura Madeira</b>	4500	4950	10%
<b>Painel</b>	20000	19405	-3%

Pela simulação foi possível confirmar que as entidades passam muito pouco tempo em operação, a maior parte do tempo é desperdiçada em movimentação, aguardo de máquinas e/ou pessoas. Como pode se ver pela Tabela 4

os dados da simulação são um pouco mais positivos em relação a agregação de valor do que o VSM tradicional. Enquanto no VSM tradicional a porcentagem média de agregação de valor é de 0,027%, na Simulação é de 0,04%.

Tabela 4 – Comparativo VSM x Simulação

Produto	VSM			Simulação		
	Tempo de agregação de valor (min)	Lead time (min)	% agregação de valor	Tempo de agregação de valor (min)	Lead time (min)	% agregação de valor
<b>Tampo MDF</b>	0,71	2112	0,033%	0,88	7144	0,012%
<b>Tampo Madeira</b>	1,19	3168	0,038%	0,98	1504	0,065%
<b>Frente Gaveta MDF</b>	0,25	2112	0,012%	0,87	7339	0,012%
<b>Frente Gaveta Madeira</b>	0,42	3168	0,013%	0,97	1301	0,075%
<b>Barra Madeira</b>	1,22	3168	0,038%	0,97	1530	0,063%
<b>Moldura MDF</b>	0,75	2112	0,035%	0,97	6073	0,016%
<b>Moldura Madeira</b>	1,32	3168	0,042%	1,01	1728	0,058%
<b>Painel</b>	0,06	1056	0,006%	0,28	1647	0,017%
		Média	0,027%			0,040%

Quanto à utilização dos recursos, conforme Figura 5, a Cabine de Pintura 3, Laca Borda e Linha de Pintura UV estão com alta utilização e até sobrecarregadas, devido a soma dos valores de utilização, setup e paradas que passam

dos 80%. Polimento e Lixadeira Kraftlyne possuem utilização baixa. Enquanto que as Cabines de Pintura 1 e 2 são pouco utilizadas.



Fig 5: Utilização dos recursos

#### F. SIMULAÇÃO DO ESTADO FUTURO

A partir do VSM e dos resultados da Simulação do estado atual foram identificadas oportunidades de melhoria para redução de desperdícios e aumento da disponibilidade dos recursos. Com isso foi construída uma nova simulação utilizando essas oportunidades.

Como foi visto no VSM e na Simulação, os grandes problemas do cenário atual são o transporte de peças, que precisa percorrer grandes distâncias entre os recursos. Com isso no novo cenário foi proposto alterar de local a Cabine de Polimento e a Cabine de Pintura 3 para um local mais próximo das Cabines de Pintura 1 e 2 e da Linha de

Pintura. Um local atualmente ocupado por um recurso desativado, por vestiários, que pode ser trocados de local, e por um espaço vazio. Portanto, um local que pode muito bem ser utilizado.

Além disso, foi visto que os lotes grandes também dificultam o deslocamento das peças e muitas vezes fazem com que recursos fiquem parados e se tenha um elevado estoque intermediário. Como para o pré-acabamento não são necessárias duas cabines, uma delas foi transferida para o acabamento final, que estava mais sobrecarregado. Estes foram os critérios que levaram a modificação do layout. Na Figura 6 pode se ver o layout modificado.

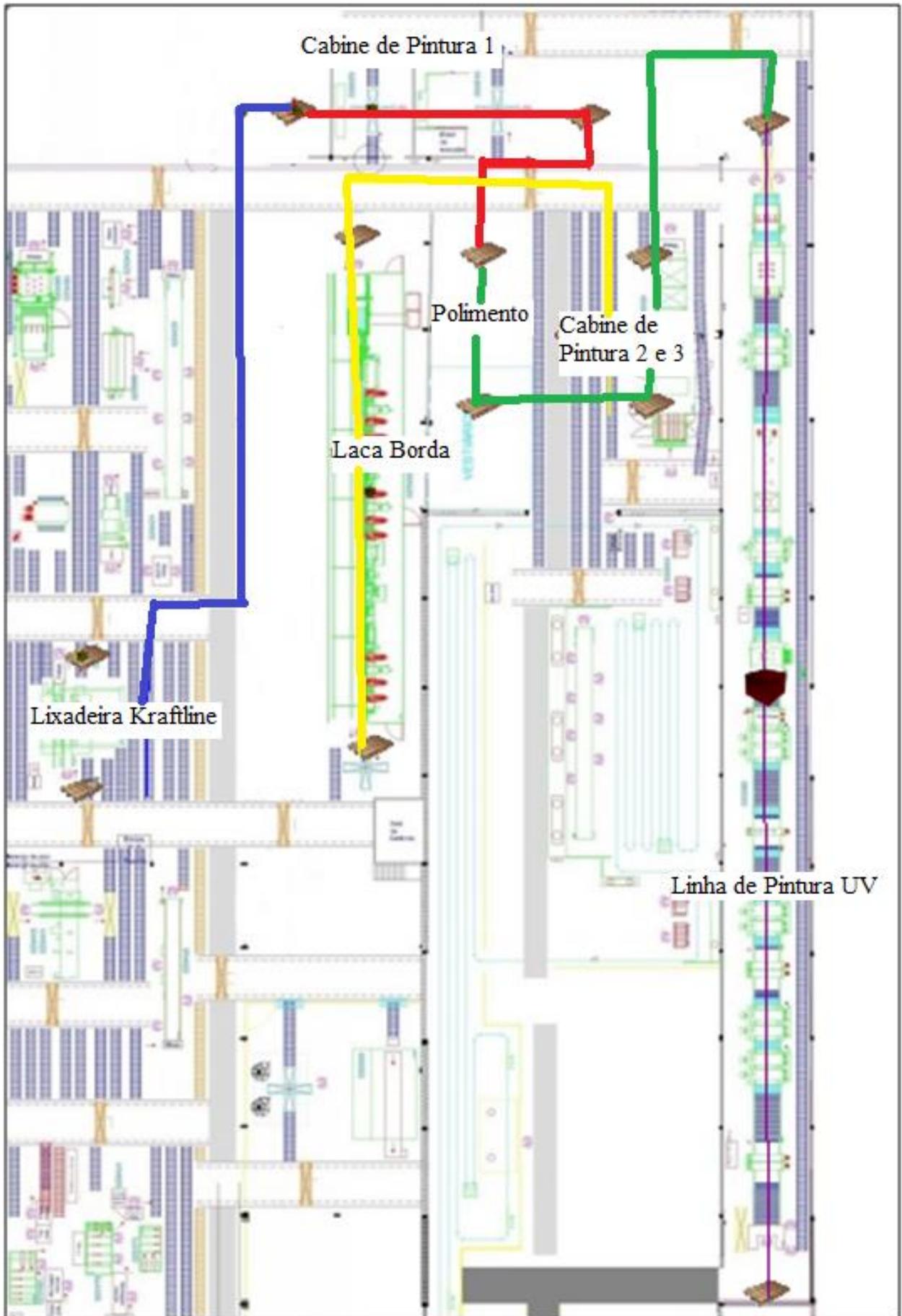


Fig 6: Layout Proposto

Com a realização da Simulação no *Promodel* foi possível obter dados para comparar o cenário atual com o proposto. No quadro 5 se tem um comparativo entre as quantidades produzidas de cada produto, no geral aplicando as melhorias propostas teria um aumento de 19% na produção, variando de 5% até 50% dependendo do item. Como pode se ver na Tabela 5 as maiores diferenças acontecem nos produtos de MDF. Isso deve se ao fato dos produtos de MDF terem um processo um pouco mais simples que os de madeira e possuïrem lotes maiores.

Tabela 5 – Comparativo entre Produção Atual e Proposta

Produto	Atual	Proposto	%
<b>Tampo MDF</b>	6450	8250	28%
<b>Tampo Madeira</b>	3650	4350	19%
<b>Frente Gaveta MDF</b>	24000	30960	29%
<b>Frente Gaveta Madeira</b>	9200	10630	16%
<b>Barra Madeira</b>	4600	5300	15%
<b>Moldura MDF</b>	2000	3000	50%
<b>Moldura Madeira</b>	4950	5700	15%
<b>Painel</b>	19405	20400	5%
<b>Total</b>	74255	88590	19%

Na comparação da agregação de valor, conforme Tabela 6, não se teve uma melhora significativa com as melhorias propostas, provavelmente para se ter um aumento quantitativo seria necessário intervenções maiores no sistema, como produção em linha, implementação de sistema de secagem que possibilitasse um menor tempo de espera das peças após a pintura, entre outros. Mesmo assim se teve um aumento de 82% em relação ao percentual de agregação de valor do processo atual.

Tabela 6 – Comparativo Agregação de Valor Atual x Proposto

Produto	Atual			Proposto		
	Tempo de agregação de valor (min)	Lead time (min)	% agregação de valor	Tempo de agregação de valor (min)	Lead time (min)	% agregação de valor
<b>Tampo MDF</b>	0,88	7144	0,012%	1,01	3718	0,027%
<b>Tampo Madeira</b>	0,98	1504	0,065%	1,04	796	0,131%
<b>Frente Gaveta MDF</b>	0,87	7339	0,012%	1,01	3731	0,027%
<b>Frente Gaveta Madeira</b>	0,97	1301	0,075%	1,03	788	0,131%
<b>Barra Madeira</b>	0,97	1530	0,063%	1,03	862	0,119%
<b>Moldura MDF</b>	0,97	6073	0,016%	1,05	3487	0,030%
<b>Moldura Madeira</b>	1,01	1728	0,058%	1,04	1060	0,098%
<b>Painel</b>	0,28	1647	0,017%	0,29	1742	0,017%
<b>Média</b>			0,040%			0,072%

Quanto à utilização dos recursos, como pode ser visto na Figura 7, não houve grandes diferenças em relação ao atual, a não ser pela Cabine de Pintura 3 que teve um aumento de 5%, além do fato de uma cabine quase ociosa

anteriormente passar a se ter uma utilização de cerca de 80%. Também deve se levar em conta o fato que a produção aumentou 19% e ainda a possibilidade de melhoras nos

recursos com trabalhos em setup e qualidade que podem aumentar ainda mais a produção.

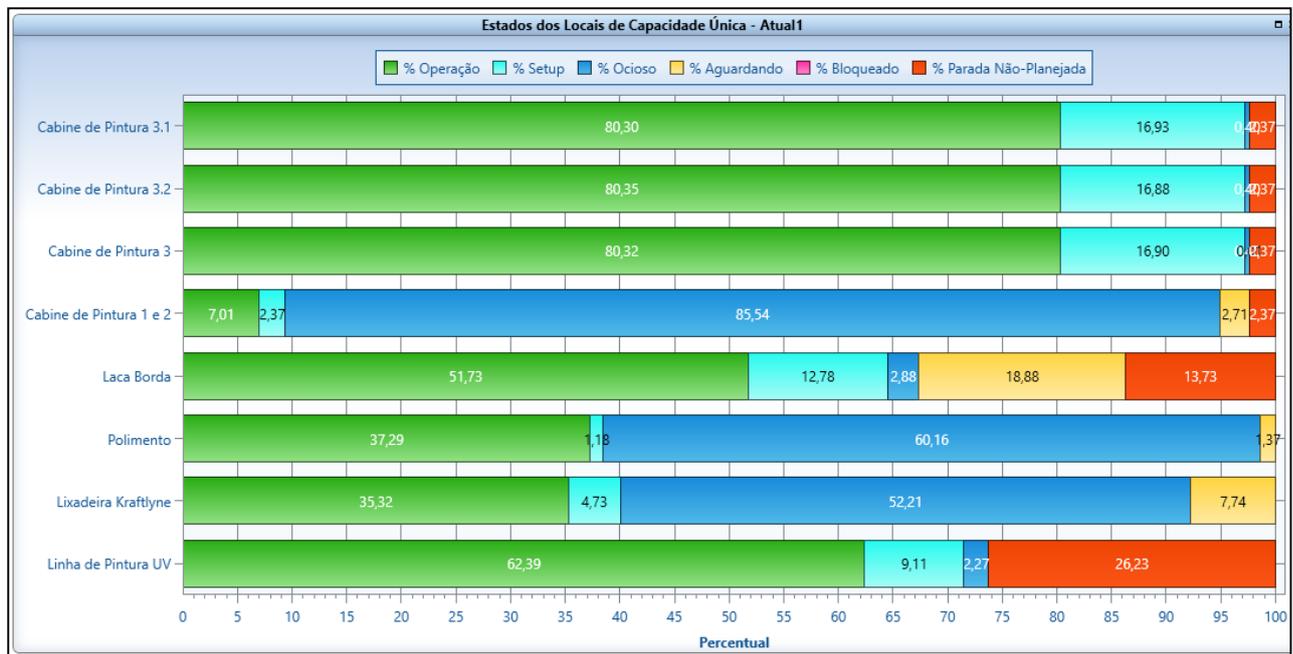


Fig 7: Utilização dos recursos

Como visto, a melhoria no processo possibilita um aumento de 19% na produtividade e melhor utilização dos recursos, sendo uma melhoria relativamente simples, visto que somente necessita o remanejamento de cabines de pintura e polimento. Não carece de investimentos em maquinários, equipamentos e mão de obra, nem alteração de matéria-prima e forma de processamento.

Esse é um dos exemplos de como pode ser aplicada a Simulação, outros cenários poderiam ser propostos para buscar melhorias no processo, como automatização ou robotização da pintura, colocação de esteiras ou ser feita análises voltadas para a qualidade e/ou manutenção. Assim, as melhorias poderiam ter seus resultados confirmados no ambiente computadorizado antes de serem colocadas em prática.

A Simulação permite o levantamento de outros inúmeros dados, não apresentados nesse trabalho, que dependendo do tipo de estudo e de processo podem ser úteis para a implantação do Lean Prouction, diminuição de desperdícios e análise das soluções propostas.

## V. CONCLUSÕES

Este trabalho teve por objetivo propor a integração da Indústria 4.0 e Lean Production operacionalizada pelas técnicas de mapeamento de Fluxo de Valor aliados a Simulação Computacional. Por meio do VSM atual foi possível verificar os desperdícios do processo, bem como seus gargalos. Conseguiu-se identificar as etapas que não agregavam valor ao produto. A simulação do estado atual

confirmou esses dados e trouxe uma visão mais abrangente do processo, possibilitando um detalhamento maior dos recursos.

A simulação é um dos pilares da indústria 4.0 e permite às empresas visualizar o desempenho dos sistemas de produção com a adoção do lean production antes de serem executadas [13]. O presente trabalho confirma essa tese, pois foi possível por meio da simulação testar uma hipótese e verificar se a mesma apresentava bons resultados antes de aplicá-la na prática. Isso possibilita melhor assertividade e agilidade na tomada de decisão.

A vantagem em usar a simulação em conjunto com o VSM é conhecer como o cenário atual vai responder às mudanças e validar os eventos, e ter a possibilidade de prever se a mudança será benéfica e quantificá-la; com isso, construir um cenário futuro ideal plausível e aplicável. A Simulação traz dinâmica para a abordagem tradicional do VSM, acarretando maior agilidade na tomada de resultados e na aplicação de mudanças no processo [16].

Essas melhorias foram encontradas em outros estudos como na indústria calçadista [13], que obteve melhorias na produtividade em seus cenários propostos, além da diminuição de desperdícios por meios das práticas lean. O estudo em uma linha de envase de bebidas [18] possibilitou o aumento da disponibilidade dos equipamentos e consequentemente da produtividade, visto que foram verificadas que o principal problema era as paradas das máquinas. No processo de embalagem [16] obteve-se redução no lead time, através da eliminação de desperdícios e tarefas que não agregam valor. Isso mostra que esse tipo de estudo pode ser aplicado nos mais diversos tipos de

manufatura e obtendo-se resultados variados, mas fundamentais para a melhoria dos resultados das empresas.

Este trabalho, apesar de suas limitações, demonstrou ser possível ter ganhos consideráveis de produtividade na indústria estudada, a melhoria de 19% na produtividade pode fazer com quem a empresa aumente seu faturamento mensal, por meio da entrega de mais pedidos, ou até abertura de novos mercados, até então mantidos em stand by devido a falta de capacidade.

O estudo apresenta a limitação de ter sido analisado apenas um setor da empresa e apenas uma linha de produto, mesmo que essa representa cerca de 80% do faturamento. Como proposta de trabalhos futuros, sugere-se a implementação do presente estudo na prática, comparando os resultados obtidos com os da simulação, poderia ser feito o mapeamento e simulação de outros setores da empresa e de outras linhas de produtos.

## VI. BIBLIOGRAFIA

- [1] F. Almada-Lobo, "The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES)," *J. Innov. Manag.*, vol. 3, no. 4, p. 17, 2016.
- [2] R. N. Duarte, "Simulação computacional: Análise de uma célula de manufatura em lotes do setor de auto-peças," *Diss. (Mestrado em Eng. Produção) Programa Pós-Graduação em Eng. Produção, UNIFEI- Itajubá*, p. 168, 2003.
- [3] S. V. Buer, J. O. Strandhagen, and F. T. S. Chan, "The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 7543, pp. 1–17, 2018.
- [4] T. K. Sung, "Industry 4.0: A Korea perspective," *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 132, no. November 2017, pp. 40–45, 2018.
- [5] H. Lasi, P. Fettke, H. G. Kemper, T. Feld, and M. Hoffmann, "Industry 4.0," *Bus. Inf. Syst. Eng.*, vol. 6, no. 4, pp. 239–242, 2014.
- [6] C. Lin, D. He, X. Huang, K. K. R. Choo, and A. V. Vasilakos, "BSelN: A blockchain-based secure mutual authentication with fine-grained access control system for industry 4.0," *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 116, no. May, pp. 42–52, 2018.
- [7] M. Y. Santos *et al.*, "A Big Data system supporting Bosch Braga Industry 4.0 strategy," *Int. J. Inf. Manage.*, vol. 37, no. 6, pp. 750–760, 2017.
- [8] A. Sanders, C. Elangeswaran, and J. Wulfsberg, "Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing," *J. Ind. Eng. Manag.*, vol. 9, no. 3, pp. 811–833, 2016.
- [9] C. F. Chien, T. W. Liao, and R. Dou, "Soft computing for smart production to empower industry 4.0," *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 68, pp. 833–834, 2018.
- [10] F. A. Abdulmalek and J. Rajgopal, "Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 107, no. 1, pp. 223–236, 2007.
- [11] A. M. Deif and H. Elmaraghy, "Cost performance dynamics in lean production leveling," *J. Manuf. Syst.*, vol. 33, no. 4, pp. 613–623, 2014.
- [12] 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.
- [13] D. F. S. de Lima, P. G. de França Alcantara, L. C. Santos, L. M. F. Silva, and R. M. da Silva, "Mapeamento do fluxo de valor e simulação para implementação de práticas lean em uma empresa calçadista," *Rev. Produção Online*, vol. 16, no. 1, pp. 366–392, 2016.
- [14] T. Yang, Y. Kuo, C. T. Su, and C. L. Hou, "Lean production system design for fishing net manufacturing using lean principles and simulation optimization," *J. Manuf. Syst.*, vol. 34, no. 1, pp. 66–73, 2015.
- [15] L. C. Maia, A. C. Alves, and C. L. Leão, "Metodologias Para Implementar Lean Production: Uma Revisão Crítica De Literatura," *6º Congr. Luso-Moçambicano Eng. (CLME2011)" A Eng. no Combat. à pobreza, pelo Desenvol. e Compet.*, p. 0915A, 2011.
- [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] E. Andreadis, J. A. Garza-Reyes, and V. Kumar, "Towards a conceptual framework for value stream mapping (VSM) implementation: an investigation of managerial factors," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 55, no. 23, pp. 7073–7095, 2017.
- [18] A. Nicoletti Junior, M. S. Correa, M. C. Oliveira, and A. L. Helleno, "Simulação de Eventos Discretos para Análise da Disponibilidade Fabril em Uma Linha de Envase de Bebidas," *Rev. Ciência Tecnol.*, vol. 19, no. 37, pp. 19–29, 2016.
- [19] D. S. do Prado, "Teoria das Filas e da Simulação," *Belo Horizonte, MG Ed. Desenvol. Gerenc.*, vol. 2, 1999.
- [20] Y. S. Liu, L. N. Tang, Y. Z. Ma, and T. Yang, "TFT-LCD module cell layout design using simulation and fuzzy multiple attribute group decision-making approach," *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 68, pp. 873–888, 2018.
- [21] R. Bloomfield, E. Mazhari, J. Hawkins, and Y. J. Son, "Interoperability of manufacturing applications using the Core Manufacturing Simulation Data (CMSD) standard information model," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 62, no. 4, pp. 1065–1079, 2012.
- [22] S. Hoffenson, A. Dagman, and R. Söderberg, "Visual quality and sustainability considerations in tolerance optimization: A market-based approach," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 168, pp. 167–180, 2015.
- [23] E. L. de Andrade, *Introdução à pesquisa operacional: métodos e modelos para a análise de decisão*. Livros Técnicos e Científicos, 1998.
- [24] A. M. Law and W. D. Kelton, "Building valid, credible, and appropriately detailed simulation models," *Simul. Model. Anal. 3rd ed. Singapore McGraw-Hill*, pp. 264–291, 2000.
- [25] Z. Zhang, X. Wang, X. Wang, F. Cui, and H. Cheng, "A simulation-based approach for plant layout design and production planning," *J. Ambient Intell. Humaniz. Comput.*, vol. 1, no. 0, p. 0, 123AD.
- [26] T. Meudt, J. Metternich, and E. Abele, "Value stream mapping 4.0: Holistic examination of value stream and information logistics in production," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 66, no. 1, pp. 413–416, 2017.
- [27] M. A. Marconi and E. M. Lakatos, "Metodologia Científica. 6ª Edição, São Paulo," ISBN 978-85-224-6625-2, Ed Atlas, 2011.