

# PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS EM EMPRESA DE MANUFATURA ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO PELO SOFTWARE FLEXSIM

**Leonardo Streck Raupp (UFPE)**

streckraupp2@hotmail.com

**Lais Duanne de Farias Melo (Depto. Engenharia de Produção)**

laisduanne@hotmail.com

**Daniel Iglesias Cavalcanti Melo (UFPE)**

daniel.iglesiascm@gmail.com

**Márcio José das Chagas Moura (UFPE)**

marciocmoura@gmail.com



*A tomada de decisão, no âmbito das organizações, é fator imprescindível para o sucesso das mesmas, definido por sua competitividade de mercado. Nesse aspecto, a simulação computacional se alicerça como ferramenta auxiliar e complementar à decisão, sob jus*

*Palavras-chave: Simulação; Manufatura; Arranjo Físico; FLEXSIM;*

## 1. Introdução

No mercado atual, marcado por acentuada competitividade, as organizações precisam utilizar seus recursos de forma a otimizar seu processo produtivo. Segundo Bateman et al. (2013), muitas empresas possuem recursos disponíveis que, se forem corretamente empregados, podem trazer uma significativa melhoria, tanto em produtividade quanto em qualidade.

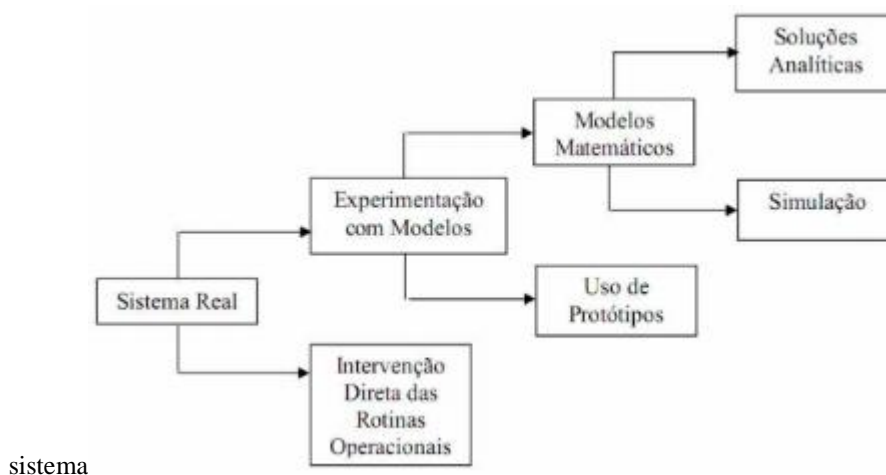
Abdulmalek e Rajgopal (2007) definem que, através da simulação computacional, é possível reproduzir diversos cenários e estimar seus respectivos resultados. Dessa forma, a simulação representa uma importante ferramenta para obter respostas a perguntas do tipo: “o que ocorre se...” (CHWIF; MEDINA, 2007).

Esta pesquisa tem como objeto de estudo uma manufatura de peças automotivas. O objetivo é reduzir no tempo necessário à produção de um lote, sob justificativa que, conforme apresentado pelo proprietário, há grande dificuldade, por parte da empresa, de atender aos prazos, para um lote previamente definido. Este trabalho propõe um novo arranjo físico à planta fabril e analisa a representatividade das mudanças no desempenho produtivo por intermédio de um modelo de simulação.

## 2. Simulação de processos

Law e Kelton (1991) apud Silva (2010) afirmam que o estudo de sistemas pode ser realizado sob diferentes formas de abordagem (figura 1). Uma das ferramentas utilizada para representar um sistema real é a simulação.

Figura 1 - Formas de estudo de um



Fonte: Adaptado de Law e Kelton (1991) apud Silva (2010)

A simulação é empregada nos mais diversos contextos, tendo como objetivo estudar o comportamento do sistema. Por meio dela, é possível avaliar desempenho do sistema, desenvolver análises e melhorar resultados, tudo através de um modelo, o qual deve ser construído de forma a representar aspectos fundamentais da realidade. Além disso, é utilizado para prever os efeitos gerados através de diferentes manipulações no modelo, possibilitando, assim, um controle mais significativo e concreto sobre as condições testadas, sem, de fato, colocar a realidade em um cenário de ‘tentativa e erro’.

Chwif e Medina (2007), apresentam duas classificações para simulação, sendo uma delas a computacional. A simulação computacional envolve o estudo do processo, da construção do modelo até o método experimental, possibilitando análises de sistemas sem a necessidade de interferência física, pois todas as mudanças ocorrerão no modelo. Além disso, a simulação computacional pode ser classificada em três categorias básicas: simulação Monte Carlo, simulação contínua e simulação de eventos discretos. Para estudar modelos de sistemas que sofrem alteração no seu estado em momentos discretos de tempo, em decorrência da realização de eventos, a simulação de eventos discretos pode ser aplicada em manufatura e serviços (CHWIF; MEDINA, 2007).

No desenvolvimento de um projeto, a simulação pode ser útil para a visualização de algo novo ou das consequências que alterações em algumas variáveis podem trazer ao sistemas. O principal motivo que levam as empresas a utilizarem a ferramenta de simulação é a oportunidade de manipular as variáveis em curto espaço de tempo, as quais, sem um mecanismo como este, seriam difíceis de serem feitas na empresa, pelo preço, pela impraticabilidade ou até mesmo, pela impossibilidade de fazê-la. Entretanto, dado o caráter de simplificação da realidade, não se espera que um modelo simulado desenvolva todas as características do sistema real, mas que reproduza aspectos fundamentais (ZAMBON, 2005).

Segundo Oliveira (2008) o estudo de processos através da simulação computacional apresenta como principais aplicações:

- Simulação de um sistema que ainda está em fase de projeto, antes de sua construção, para observação do comportamento operacional;
- Suporte à análise econômico-financeira de investimentos em projetos envolvendo novos equipamentos e processos;
- Teste de novas políticas e procedimentos operacionais sem interrupção do sistema real;
- Teste de condições de segurança associadas às mudanças a serem implementadas;

- Determinação e estudos de gargalos existentes no sistema;
- Determinação de como o sistema realmente opera, ao invés de como as pessoas pensam que ele opera.

Em consequência dos pontos acima tratados, tem-se a ferramenta simulação como um meio para atingir um menor custo para a organização, se comparado com o custo de experimentações diretas, as quais envolvem grandes somas de dinheiro e de pessoas, nem sempre alcançando os resultados desejados.

A simulação de eventos discretos, utilizada como ferramenta de otimização em sistemas de manufatura, tem sido aplicada em diversas áreas, obtendo excelentes resultados. Ekren e Ornek (2008) analisam e avaliam, através de um modelo de simulação, as consequências de alterações em parâmetros do processo de um sistema de manufatura. Foram testados dois diferentes tipos de *layout*, funcional e celular, assim como regras de programação, com o apoio do *software* Arena. Yuan e Zhang (2019) analisaram as condições de fabricação do *cooler* da empresa JKL, ocorrida no fluxo do processo e seus problemas na produção. O modelo foi simulado para encontrar a fraqueza e as restrições desse sistema e foi oferecido uma estrutura para resolver problemas de gargalos. Chiminelli, Pereira e Hatakeyama (2017) desenvolveram e implementaram soluções enxutas em processamento têxtil para pequenas empresas. Através da identificação de processos que agregam valor, simulações e análises foram realizadas para estabelecer a melhor configuração.

### **3. Metodologia**

#### **3.1. Tratamento e coleta de dados**

Na coleta de dados, definiu-se, primeiramente, o início e término de cada operação, garantindo que as medições seriam feitas sobre os mesmos critérios. Feito isso, o tempo de execução de cada operação do sistema foi cronometrado, e amostras coletadas em horários e dias aleatórios. Adicionalmente, distâncias entre estações e o tempo de transporte entre elas foram coletados para servir de entrada no cálculo da velocidade dos operadores.

Após a coleta, valores atípicos ou *outliers* foram retirados das amostras, os quais não são representativos do funcionamento regular do processo. Os dados são, então, submetidos a um teste de aderência, encontrando a distribuição de probabilidade que mais se adequa a cada uma das operações.

#### **3.2. Definição do problema**

Para elaboração do modelo de simulação, foram traçados, em conjunto com o proprietário do negócio, objetivos a serem alcançados. A situação crítica a ser tratada é a credibilidade da organização: para um único lote de produtos, é informado um constante não atendimento aos prazos. Para isso, pretende-se simular a situação atual da fábrica, observando o tempo decorrido entre o início da fabricação do primeiro item até o término do último item, para um mesmo lote definido, estimado pelo proprietário como sendo de 240 produtos acabados.

A empresa em questão, entretanto, não consegue produzir a vazão projetada, mesmo estabelecendo horas-extra, as quais aumentam os custos da companhia. O não atendimento dos prazos provoca perda de credibilidade e, assim, promove uma redução em sua fatia de mercado.

#### **4. Estudo de caso**

##### **4.1. A empresa**

O estudo de caso foi realizado em uma indústria familiar, a qual fica situada na região Nordeste brasileira, que atua na fabricação de engates para automóveis, no mercado nacional. Por questões de confidencialidade, não serão divulgados os nomes da empresa e dos produtos, sendo denominada de *ALFA*. A empresa possui grupos distintos de produtos, sendo cada produto específico para cada modelo de automóveis. Apesar disso, todos estão sujeitos às mesmas etapas do processo e aos mesmos tempos de produção.

O empreendedor observou oportunidade no negócio de engates automobilísticos em virtude de haver trabalhado em indústria similar na região sudeste do Brasil, obtendo, assim, conhecimento acerca do processo produtivo. O estado de Pernambuco é considerado ponto estratégico para alcançar um grande número de potenciais clientes nas suas proximidades, o que viabilizou o início da empresa, visando suprir uma demanda estimada.

A empresa *ALFA* mantém sua produção em um galpão, de dimensões 15x20 m<sup>2</sup>, e compartilha o espaço entre os setores administração (5x5 m<sup>2</sup>) e chão de fábrica. No chão de fábrica, existem 6 departamentos: Serralharia, Corte de Chapa, Dobragem e Estampagem, Embalagem e Acabamento, Soldagem e Pintura. Certas operações, tais quais o transporte da matéria prima e do produto acabado, assim como o fornecimento de parafusos e esfera para montagem, são atividades terceirizadas, as quais não se fazem presentes no modelo devido a impossibilidade de coleta de dados das mesmas. Além disso, por não representarem

expressividade os custos e estarem sempre disponíveis, a entrada do conjunto de parafusos e esfera foram desconsiderados e assumidos com disponibilidade contínua.

Além do papel desempenhado no atendimento do mercado automotivo nacional, o qual possui grande relevância na economia do país, a indústria *ALFA* também é responsável por empregar 11 funcionários, distribuídos dentre os departamentos supracitados. Ademais, a mesma possui, também, o maquinário e ferramentas necessários para executar a produção, sendo as principais apresentadas na descrição do processo.

#### **4.2. Descrição do processo produtivo**

Os produtos da empresa *ALFA*, apesar de diferentes entre seus modelos, passam pelas mesmas etapas ao longo do processo. Essa variedade é resultado da estrutura do chassi de cada modelo específico de carro e, como consequência, as peças precisam ser do tamanho e angulação necessárias para efetivar o encaixe. Assim, o processo produtivo foi classificado como sendo do tipo *jobbing*. O modelo se inicia a partir da chegada das matérias-primas, tubo de aço e chapa, e segue até o término da etapa de embalagem, caracterizando o produto acabado. Logo, é um processo composto de duas entradas e uma saída. Esses intervalos irão definir o alcance do modelo de simulação desenvolvido.

Cada departamento da empresa possui recursos dedicados às suas operações. São esses:

- Serraria: composto por dois funcionários, um esmeril, uma máquina de serra semiautomática, e duas furadeiras;
- Corte da chapa: Um funcionário e duas máquinas de plasma, uma automática e outra manual, peças finalizadas (gabarito) desta etapa para auxiliar o operador no contorno das próximas peças;
- Dobragem e estampagem: um funcionário, duas hidráulicas, e uma curvadora de tubo;
- Soldagem: três funcionários em mesas específicas para a operação, cada um com os devidos equipamentos de solda e segurança;
- Acabamento e pintura: dois funcionários, uma esmerilhadeira, uma cabine de pintura, um forno e um compressor;
- Departamento de embalagem: três funcionários, dois sopradores e uma seladora.

Os tubos de aço, os quais chegam em um lote de tamanho 80, entram no sistema pelo departamento de serraria, compondo a primeira entrada do modelo. Um item segue para a máquina de corte, a qual é operada por um dos funcionários, enquanto os demais tubos aguardam, no estoque, a disponibilidade do equipamento para serem processados. Cada item é dividido em três partes iguais.

Após serem cortados no tamanho específico, os tubos seguem para o departamento de dobragem e estampagem para o processo de angulação. O angulador confere aos tubos a curvatura necessária, de acordo com especificações de cada modelo. Esses, então, retornam à serraria para, na mesma máquina de corte anterior, retirar rebarbas e, assim, poderem seguir à soldagem.

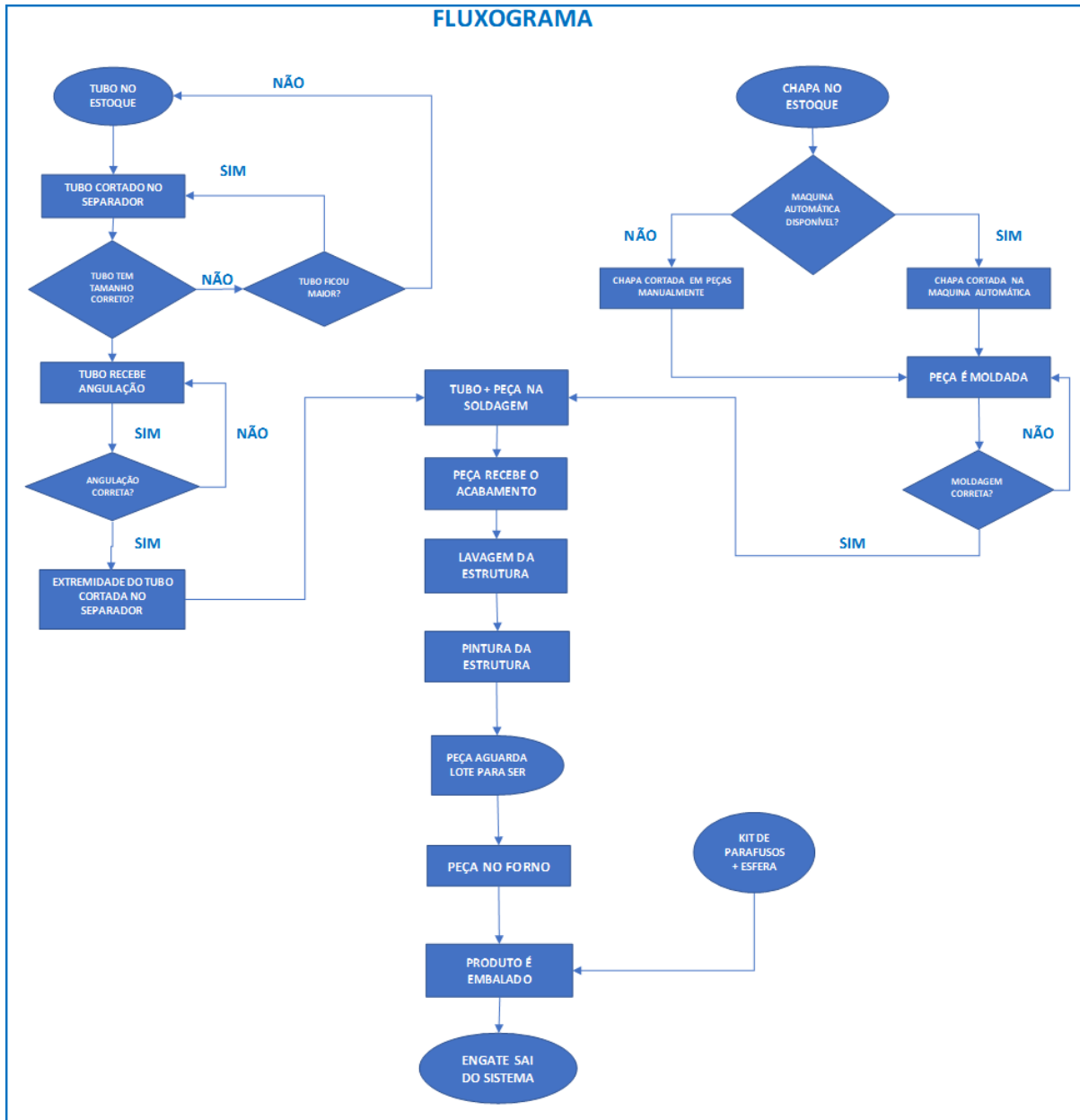
Na outra entrada do modelo, as chapas entram no processo produtivo no departamento de corte de chapa em lotes de tamanho 77, aguardando no estoque de chapas por processamento. Essas são direcionadas para uma das máquinas de plasma, sendo uma delas manual, operada por um funcionário, com auxílio de um gabarito, e uma semiautomatizada, apenas necessitando do funcionário para carga e descarga, cada uma com capacidade de processar uma chapa por vez. As máquinas são responsáveis por cortar cada chapa em 22 peças, as quais irão compor a cabeça do engate. Em seguida, as peças são transportadas para o departamento de dobragem e estampagem, onde são processadas, uma por vez, por uma das duas máquinas de moldagem.

O processo seguinte é a soldagem, no qual as chapas aguardam a chegada do tubo e a disponibilidade do operador local. Com tubo e chapas disponíveis, cada operador do departamento de soldagem é responsável por soldar a cabeça do engate, constituída por 7 peças do corte da chapa, e então soldá-la em um tubo. A soldagem é a operação que combina os dois itens, tubos e chapas, até então independentes, para o restante do processo produtivo.

O engate, então, segue para o acabamento, onde pingos de solda e imperfeições são retiradas por um dos funcionários do departamento de acabamento e pintura. Caso a estação não esteja disponível, os itens aguardam em uma fila. Adiante, o engate, já no formato desejado, é submetido a uma lavagem química pelo funcionário, com o intuito de atribuir à peça uma carga elétrica negativa, e, em sequência, é carregado para a cabine de pintura eletrostática, onde o funcionário utiliza uma pistola de tinta com carga oposta à da peça, fazendo com que a tinta se adira ao produto justamente. Para garantir a aderência da tinta ao produto, o engate é, então, posicionado no forno, aguardando atingir a capacidade máxima do equipamento, 40 peças, para serem aquecidas.

Por último, o lote intermediário de 40 engates é enviado ao setor de embalagem, onde os mesmos são envolvidos em plástico e separados com os parafusos e a esfera, necessários para a montagem final ser feita pelo cliente. Para simplificar a visualização, foi elaborado um fluxograma do processo produtivo como um todo:

Figura 2 - Fluxograma da produção

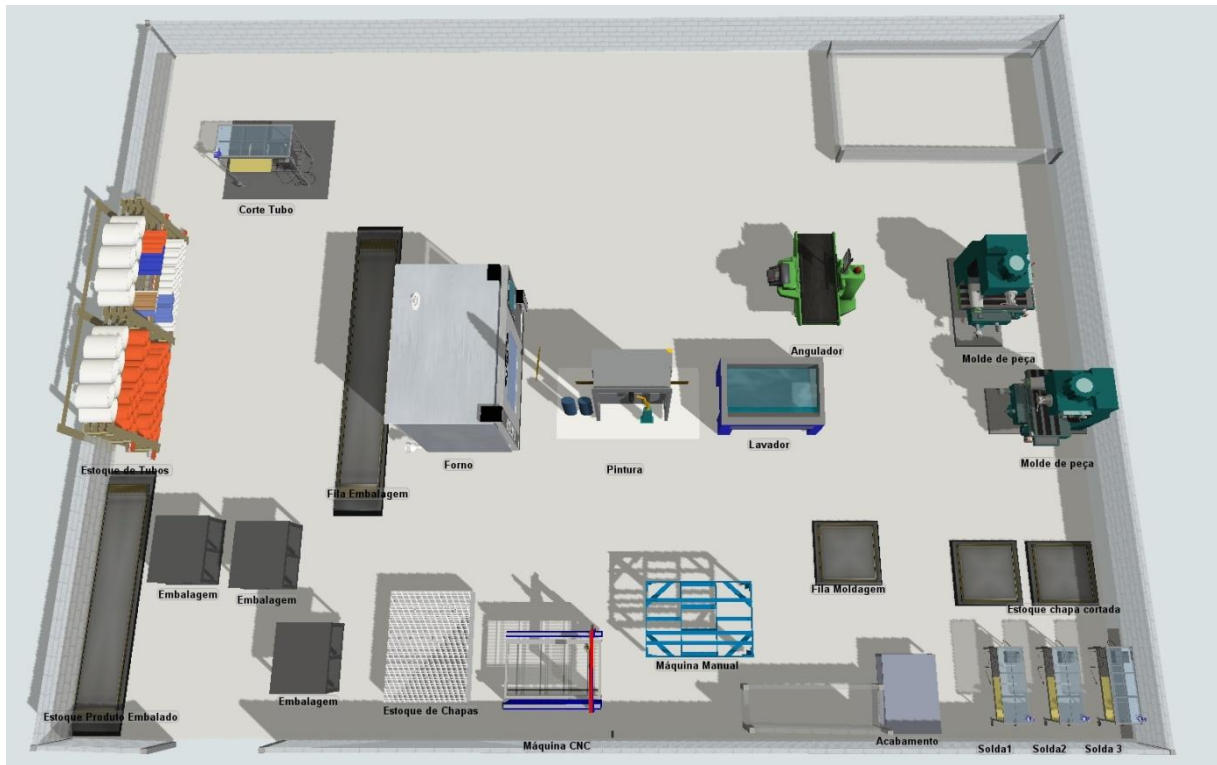


Fonte: Essa Pesquisa (2019)

### 4.3. Cenário atual



Figura 3 - Modelo atual



Fonte: Essa Pesquisa (2019)

O estado atual reflete um cenário bastante instável. Pelas classificações tradicionais de arranjo físico, presentes na literatura da área de forma bastante difundida em 4 categorias, esse não se encaixa em qualquer uma das organizações básicas: por processo, por produto, celular ou posicional. Na análise da qualidade do arranjo físico atual, serão discretizados 3 fragmentos do processo produtivo: tubos, chapas e processamento conjunto.

O processamento dos tubos se inicia no corte, no qual um deles se divide em 3 menores, iguais. Em seguida, uma unidade é levada ao angulador, para que esta seja curvada na angulação necessária. O tubo angulado, então, se dirige novamente ao corte, para a retirada de rebarbas. Finalmente, esse se dirige ao estoque intermediário de tubos finalizados, localizado em frente às soldas.

A etapa das chapas é iniciada por um processo de corte, efetuado por uma máquina de plasma que as dividem em 22 partes cada. Há, porém, duas opções de máquinas: uma máquina CNC, semi-automatizada, a qual só necessita do operador para carga e descarga, e uma máquina manual, a qual necessitará de um funcionário e um gabarito para a execução do corte. As 22 partes se acumulam em um estoque intermediário, enquanto, uma a uma, são moldadas no formato necessário para o modelo do engate que está sendo produzido. Após a

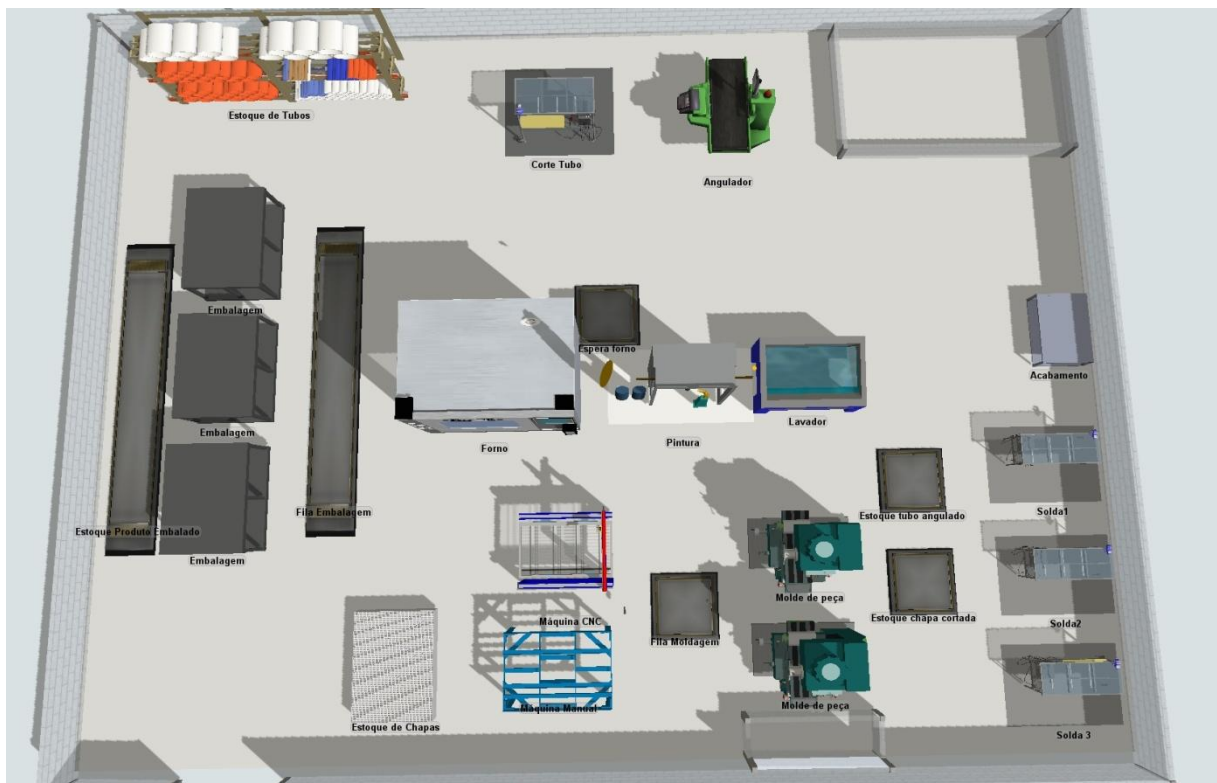
moldagem, as peças se dirigem ao estoque intermediário de chapas moldadas, localizado frente às soldas.

A última etapa, o processamento conjunto, inicia-se na soldagem, a qual é responsável por soldar 1 tubo angulado e 7 peças da chapa. Após o conjunto estar fixo, se destina ao acabamento, realizando pequenas operações corretivas. Em seguida, se destina à lavagem, pintura, e então ao forno, o qual necessita de 40 engates para operar. Os engates prontos então se dirigem à embalagem, saindo do processo ao término.

Pode-se perceber, pela figura acima, em conjunto com o detalhamento feito, que a distância percorrida pelo operador no transporte dos tubos, relativa ao espaço físico total, é muito alta. Outro ponto observado é a presença de diversos cruzamentos entre etapas distintas do processo produtivo, os quais geram instabilidades no fluxo interno. O principal objeto de estudo para este trabalho foi a redução da movimentação do operador e, em segundo plano, a redução de cruzamentos.

#### 4.4. Cenário proposto

Figura 4 - Novo modelo



Fonte: Essa Pesquisa (2019)

É proposta uma reorganização no arranjo físico da planta fabril, tornando as 3 etapas distintas do processo mais suaves entre si. A reestruturação do modelo tem como base uma configuração de arranjo físico por produto (ou linha de produção). Dessa forma, o *layout* é

focado em permitir o melhor fluxo possível do produto, sendo assim organizado em uma linha de produção.

A principal melhora, qualitativamente falando, é observada no cenário do processamento dos tubos. A redução na distância entre o corte e o angulador propõe um cenário com um ritmo de trabalho mais focado em processos e menos em deslocamentos. Também é possível perceber uma redução nos cruzamentos: o reposicionamento das máquinas responsáveis pelos moldes e das soldas evitou dois cruzamentos: um na passagem do corte para a moldagem e outro na passagem do acabamento para a pintura.

Além da reorganização do arranjo físico, certas modificações adicionais são feitas no modelo, com o objetivo de analisar a robustez do mesmo. A primeira delas é a designação dos operários à funções e máquinas específicas, dado que, originalmente, os funcionários de uma mesma etapa do processo podem operar todas as máquinas daquela etapa. Outra modificação avaliada é a adição de um funcionário extra à etapa de corte da chapa, visto que, quando a máquina de corte manual está sendo utilizada, isto é, operada por um dos trabalhadores, uma das duas máquinas de moldagem sempre estará ociosa, pois, no momento, só há um único operador disponível; o funcionário adicional visa solucionar esse problema.

Por fim, a nova organização física promove um ambiente muito mais organizado, com divisão mais clara entre os 3 processos, e muito mais fluido, do ponto de vista que cada etapa pode ser realizada com menor foco em deslocamentos. Adicionalmente, as modificações acerca dos operadores avaliam se uma maior rigidez e organização no procedimento dos funcionários é, de fato, fator importante na redução do *lead time* do processo.

## **5. Resultados**

Com o fim de auxiliar a tomada de decisão e tornar os projetos de otimização mais confiáveis, a partir da análise e comparação entre cenários baseados no comportamento atual do sistema e no esperado após melhorias, a ferramenta de simulação mostrou-se bastante eficiente. Em outras palavras, a metodologia apresentou quais seriam as implementações dentro da fábrica que trariam o maior custo-benefício.

No estudo de caso proposto, o lote de tubos chega ao sistema, é dividido em três, angulado e cortado, em um processo que leva 3385 minutos e 24 segundos. Na outra entrada do sistema, 77 chapas são divididas em 22 partes cada e moldadas, necessitando de 1901 minutos e 45 segundos para tal. Por fim, peças moldadas e tubo são soldados, passam por acabamento, pintura, aquecimento, e embalagem, procedimento que leva 7658 minutos e 49

segundos. Os 3 subsistemas, tubos, chapas e o conjunto de ambos, iniciado soldagem, ocorrem em paralelo. Apesar disso, o terceiro modelo, em conjunto, só se inicia quando chegam 7 chapas e 1 tubo no subsistema. Dado isso, calcula-se o tempo total para a produção do lote como sendo de 7680 minutos e 6 segundos. Nesse cenário, a indústria familiar não conseguia atender à demanda prevista, dado que o tempo de processamento do lote era maior que o suficiente.

Com a implementação do modelo melhorado de simulação, o qual é baseado em um arranjo físico por produto, já sujeito às limitações do espaço físico, visualizou-se uma redução substancial no tempo necessário para a produção de um lote. A primeira fase, representativa do processamento dos tubos, foi completada em 767 minutos e 6 segundos, uma redução de aproximadamente 77.3%. A segunda fase, das chapas, 976 minutos e 54 segundos, redução de 48.6%. A terceira etapa, processamento conjunto, 1483 minutos e 38 segundos, representando 80.6% de redução. O modelo completo, calculado da mesma forma, é dado por 1500 minutos e 9 segundos, redução de 80.4%. O resultado é que, após a simulação da planta em um *layout* modificado, a performance do sistema melhorou consideravelmente, favorecendo a redução dos custos e atendimento dos prazos.

A robustez do modelo é avaliada frente a uma análise de sensibilidade, através de modificação de parâmetros tais quais a designação de funcionários à máquinas e/ou transportes específicos e a adição de um funcionário extra à etapa das chapas. Os tempos de produção, discretizados entre primeira etapa (tubos), segunda etapa (chapas) e total, podem ser avaliados na tabela abaixo:

Tabela 1 - Resultados

Tabela: Tempos (em minutos)	Cenário Existente	Cenário Proposto	Atribuição de funcionários	Adição de um operário extra
Primeira Etapa	3385.4	767.1	1013.47	-----
Segunda Etapa	1901.75	976.9	1349.8	688.46
Total	7680.1	1500.15	1521.72	1498.95

Fonte: Essa Pesquisa (2019)

Com a tabela de resultados, pode-se perceber a robustez do modelo de *layout* modificado proposto. Além das melhorias visualizadas com a organização de um arranjo físico por produto, já mencionadas anteriormente, a análise de sensibilidade nos permite visualizar o comportamento dos tempos em função dos operadores. Com a designação de operadores para máquinas e transportes fixos, houve um significativo aumento nos tempos da

primeira e segunda etapas; entretanto, o aumento total, em relação ao cenário novo, foi de apenas 1.4%, o que trás uma certa segurança acerca dos resultados obtidos. Além disso, a adição de um novo operador ao processamento das chapas provocou uma significativa melhora no tempo dessa operação em particular, porém não trouxe um ganho significativo no todo, reduzindo apenas 0.08%. Essa análise global nos assegura que pequenas e médias variações no tempo das duas primeiras etapas não fornecem ganhos ou perdas significativas para o *lead time* do lote como um todo.

## **6. Considerações Finais**

A competitividade de mercado, aliada aos requisitos dos clientes, os quais têm se tornado cada vez mais exigentes, implica em cenários os quais as organizações devem sempre priorizar sua credibilidade. Nesse aspecto, as empresas devem estar preparadas para cumprir o que lhes é solicitado, tomando decisões em prol da melhoria contínua dos seus processos produtivos, atendimento dos prazos, da minimização de custos e do posicionamento competitivo de mercado.

Sob a mesma ótica, a simulação computacional se firma como ferramenta importante no auxílio da tomada de decisão. Isso se deve pois, através da mesma, há possibilidade de estruturação de modelos e teorias e a consequente avaliação de desempenho para diversos cenários. Desse modo, viabiliza-se a utilização de modelos de simulação, dada a redução de custos e riscos que a aplicação de um modelo do gênero proporciona. Em contraponto à direta execução na prática, abordagem essa denominada de ‘tentativa e erro’, a simulação permite avaliar e testar previamente diversas possibilidades, avaliando as consequências dessas frente à uma representação da realidade. Apesar de simplificado, o modelo proporciona análise de características fundamentais do sistema real (ZAMBON, 2005).

No estudo de caso apresentado, percebe-se uma redução significativa, de 80.4%, no tempo decorrido entre a entrada, no modelo, do primeiro tubo e da primeira chapa, o que ocorre no mesmo instante de tempo, e a conclusão do engate de número 240. Dessa forma, a simulação proporcionou uma avaliação de diversos cenários diferentes de modificações no arranjo físico, sem que, necessariamente, o sistema real fosse submetido ao risco. A decisão, a qual se torna passível de ser aplicada na prática, é tomada com base no desempenho obtido no modelo. Com a aplicação do arranjo físico por produto, espera-se: redução no *lead time*, atendimento aos prazos prometidos aos clientes, ampliação da competitividade de mercado e redução no capital empregado em produtos em processamento.

## Referências

ABDULMALEK, F. A.; RAJGOPAL, J. **Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study**. International Journal of Production Economics, Vol. 107, p. 223–236, 2007.

BATEMAN, R. E. et al. **Sistemas de simulação: aprimorando processos de logística, serviços e manufatura**. Elsevier: Rio de Janeiro, 2013.

CHIMINELLI, C.; PEREIRA, R., HATAKEYAMA, K. **Implementação de melhorias no setor têxtil empregando Metodologia Lean Manufacturing e simulação no software Flexsim**. Revista ESPACIOS, Vol. 38, Nº 19, p. 36, 2017.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações**. Editora dos Autores: São Paulo, 2ª Edição, 2007.

EKREN, B.Y. & ORNEK, A.M. **A simulation based experimental design to analyze factors affecting production flow time**. Simulation Modelling Practice and Theory, Vol. 16, p. 278– 293, 2008.

OLIVEIRA, C. S. **Aplicação de técnicas de simulação em projetos de manufatura enxuta**. Estudos Tecnológicos, Vol. 4, nº3, p. 204-217, 2008.

SILVA, G. L. P. **Simulação do processo de produção de uma indústria de água mineral pelo método system dynamics**. Dissertação (Dissertação em Ciência e Tecnologia de Alimentos.) – Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, p. 17. 2010.

YUAN, J.; ZHANG, R. **Analysis and Optimization of Bottlenecks via Simulation**. 2018 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM): Bangkok, pp. 1879-1883, 2018.

ZAMBOM, A. C. **Contribuição à dinâmica de sistemas baseada na estruturação do conhecimento multiespecialista**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, p. 200, 2005.