

## Dimensionamento da movimentação interna de uma fábrica de embalagens de papel por meio da simulação de eventos discretos

### RESUMO

Grandes estudos têm sido realizados envolvendo a aplicação da simulação para analisar e avaliar cenários alternativos a fim de propor soluções às atividades inerentes aos processos produtivos. O presente trabalho apresenta uma aplicação da simulação de eventos discretos em uma fábrica produtora de embalagens de papel ondulado como ferramenta para avaliar a utilização do transporte realizado por empilhadeiras no processo produtivo. O estudo demonstra o impacto na produção de embalagens devido às mudanças consideradas na movimentação interna. A aplicação da técnica de simulação permitiu verificar pontos de melhorias quanto à utilização das empilhadeiras e propor mudanças na movimentação interna de materiais, além de evitar o investimento equivocado na compra ou aluguel de mais empilhadeiras para a fábrica. As alterações realizadas provocaram um aumento de aproximadamente 5% na produção de embalagens e uma diminuição considerável no nível de estoque em processo, sem custo para a fábrica, tendo somente o rearranjo das empilhadeiras.

**PALAVRAS-CHAVE:** Simulação de eventos discretos. Logística interna. Movimentação de materiais. *Flexsim software*. Processos produtivos.

Jônatas Breno Gomes Amarante  
[jonatasbrenon@gmail.com](mailto:jonatasbrenon@gmail.com)  
Universidade Federal do Ceará,  
Fortaleza, Ceará

Levi Ribeiro de Abreu  
[leviribeiro@alu.ufc.br](mailto:leviribeiro@alu.ufc.br)  
Universidade de São Paulo, São  
Carlos, São Paulo

Heráclito Lopes Jaguaribe Pontes  
[hjaguaribe@ufc.br](mailto:hjaguaribe@ufc.br)  
Universidade Federal do Ceará,  
Fortaleza, Ceará

José Luiz Miranda-Junior  
[joseluiz@dcdn.com.br](mailto:joseluiz@dcdn.com.br)  
Grupo DCDN, Fortaleza, Ceará

## INTRODUÇÃO

O crescimento da concorrência entre as empresas no panorama atual do país tem influenciado as indústrias a buscar métodos que tornem seus processos mais eficientes e com mais qualidade a fim de que a organização tenha um potencial competitivo frente as outras empresas. Dentre as atividades fundamentais das indústrias estão as relacionadas a logística, tanto interna como externa a empresa, que, se mal administradas geram altos custos para as mesmas.

Segundo a pesquisa realizada por Resende, Sousa e Oliveira (2012), estima-se que os custos com logística no Brasil representam em torno de 12% do faturamento das empresas, sendo uma parte desse valor referente a custos com logística interna, onde estão inseridas duas dentre as principais atividades relacionadas a logística: a armazenagem e o manuseio ou movimentação de materiais.

Com relação a armazenagem de materiais, Achkar et al. (2020) indicam essa atividade é responsável pelo recebimento, manuseio e distribuição de materiais em indústrias e no setor de serviços. Sendo importante a utilização de sistemas de apoio a decisão para auxiliar na gestão de materiais, sendo proposto um sistema desse tipo pelos autores. Já Tappia et al. (2020) salientam que a evolução das exigências dos clientes por produtos cada vez mais customizados, levou as empresas a buscarem estratégias de armazenagem de materiais de forma ágil e automatizada, o que corrobora com a necessidade de desenvolvimento desses sistemas com o uso da simulação.

Com relação a movimentação de materiais nas empresas, Bowersox et al. (2013) destacam essa atividade como sendo fundamental para a produtividade de uma empresa por diversas razões, sendo o uso de tecnologias um dos fatores que mais influenciam a execução dessa tarefa. Já Ashrafian et al. (2019) analisam que a logística interna de movimentação de materiais possui um problema frequente de aparecimento de gargalos no transporte, devido o incorreto dimensionamento de veículos para esse fim.

Com base nisso, é possível verificar que o manuseio interno de materiais na indústria constitui-se uma atividade de grande importância para o processo produtivo das empresas. Sendo assim, o dimensionamento correto dos meios responsáveis pela movimentação dos materiais tais, como esteiras, empilhadeiras e outros, torna-se um fator relevante para a indústria, uma vez que permite uma maior eficiência no trabalho e uma produção contínua, sem grandes paradas devido à falta de movimentação dos materiais de um posto de trabalho a outro.

Dentro desse contexto, uma lacuna a ser preenchida com o trabalho é o estudo da armazenagem e manuseio de materiais produtivos em indústrias de transformação de através da utilização de ferramentas de simulação computacional. Analisando de maneira integrada gargalos produtivos de movimentação e armazenagem.

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo a análise do processo produtivo de uma empresa produtora de embalagens de papel ondulado a fim de avaliar o cenário atual da organização com respeito ao manuseio interno de materiais realizado por empilhadeiras com uso da simulação de eventos discretos. Após a análise, o estudo busca identificar pontos de melhorias no que diz respeito a utilização do transporte, estoque em processos e produção diária da empresa.

Após a identificação dos pontos de melhoria no processo, os autores propuseram cenários alternativos a indústria, de modo que foi possível distribuir de maneira mais adequada o manuseio dentro do processo de fabricação da empresa e gerar um aumento de sua produção.

O artigo, segundo a classificação de estudos quantitativos de Bertrand e Fransoo (2002), é definido como uma pesquisa empírica descritiva, que busca descrever a situação real do ambiente industrial modelado, com avaliações de múltiplos cenários de melhoria dos processos de movimentação interna. O trabalho a seguir possui mais quatro seções: fundamentação teórica, metodologia, estudo de caso e conclusão.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica constitui os principais conceitos para o desenvolvimento deste trabalho, sendo eles: logística interna e movimentação de materiais, simulação de eventos discretos e os principais artigos com a aplicação de simulação na análise de processos industriais e logísticos.

### Logística interna e movimentação de materiais

A logística interna está estritamente ligada a cadeia de valor da empresa quando nos referimos a qualquer forma de otimizar os processos relacionados ao layout de distribuição interna, sistemas de informação, desenvolvimento de tecnologias de aquisição e atividades primárias de apoio (COIMBRA, 2005). Embora a movimentação de materiais não agregue valor ao produto final entregue aos clientes, a atividade de transporte interno, se mal administrada, pode gerar altos custos para as empresas.

A atividade de manuseio de materiais está inserida dentro das atividades da logística interna, assim também como a gestão do fluxo de transporte, estoque e o processamento de pedidos (BALLOU, 2009). Os principais fatores que influenciam para a execução eficiente da movimentação de materiais são as horas de trabalho dedicadas a essa tarefa, as habilidades de manuseio de materiais, o gerenciamento integrado de outras atividades logísticas com a atividade de manuseio e o nível de tecnologia utilizado na execução dessa tarefa (BOWERSOX et al., 2013).

O aperfeiçoamento da atividade realizada pelos meios de transporte como empilhadeiras e caminhões, por exemplo, gera melhorias a atividade de movimentação de materiais. No entanto, diminuir cada vez mais o tempo dessa tarefa é a solução adequada para se obter uma maior eficiência produtiva e, por consequência, o aumento da produção (GERLACH, 2013). Nesse sentido, é válido avaliar e utilizar técnicas que permitam uma melhoria no desempenho da movimentação de materiais.

### Simulação de eventos discretos

A simulação é uma técnica que permite a análise de mudanças nos cenários atuais das empresas por meio de programas sem que haja necessariamente

modificações nos seus processos reais (HARRELL e PRICE, 2000). Esta técnica pode ser utilizada como uma alternativa para propor e avaliar mudanças ao exercício das tarefas relacionadas a logística interna desempenhada dentro das empresas a fim de aumentar a eficiência dos processos produtivos.

Os principais termos relacionados a simulação são modelo e sistema. A função principal do modelo é descrever o funcionamento do sistema por meio de um número menor de variáveis (SHANNON, 1998). Os modelos de simulação, segundo Law, Kelton e Kelton, (2000), podem ser classificados em diversas categorias, dentre elas estão os modelos discretos e contínuos. Nos modelos discretos as variáveis assumem valores discretos e as mudanças no sistema ocorrem em intervalos determinados, já nos modelos contínuos as variáveis podem assumir valores em intervalos não especificados. A simulação de eventos discretos, portanto, como o próprio título sugere, está relacionada aos modelos onde as variáveis assumem valores discretos, sendo o caso da presente pesquisa.

As vantagens de se utilizar essa técnica são inúmeras e suas áreas de aplicação são diversas, desde hospitais até indústrias. Segundo Boeira (2008) e Oliveira (2010), a simulação possibilita melhorias aos processos produtivos gerando o aumento da produtividade e da qualidade dos produtos e serviços, além de permitir a compreensão de como a alteração de certas variáveis relacionadas aos sistemas influenciam no seu resultado. Conforme ressaltam Banks et al. (2009), a simulação permite responder perguntas do tipo *what if?* (e se), ou seja, ela permite a compreensão sobre o impacto de certas decisões sobre o sistema.

O setor industrial tem sido durante os últimos anos uma das áreas de interesse para aplicação de simulação de sistemas e também, mais especificamente, da simulação de eventos discretos. Vieira (2006) destaca pelo menos seis áreas de interesse para realização de um estudo de simulação: logística e *supply chain*, ferrovias, siderurgia, manufatura, petróleo e celulose. Dentre os casos apresentados pelo autor, a área que mais se destaca é a de manufatura.

Com base nisso, fica evidente que utilização da técnica de simulação pode ser uma ferramenta adequada para realizar um estudo dentro do ambiente industrial, uma vez que ela possibilita a análise das atividades inerentes aos processos produtivos, assim como a atividade de transporte de materiais.

### Aplicações da simulação na indústria

Com relação a aplicação da simulação computacional, é possível encontrar diversos estudos realizados dentro de indústrias. Gerônimo et al., (2018) fizeram uso da técnica de simulação de sistemas com o objetivo de melhorar os indicadores produtivos por meio da análise e teste de cenários alternativos ao processo atual de uma indústria de pre-moldados. Gennaro et al., (2017) utilizaram-se da simulação para validar propostas de melhorias em uma linha de produção automotiva. A técnica, nesse caso, apresentou diversos cenários viáveis para a empresa, permitindo com que ele escolhesse aquele que melhor se enquadrasse com os objetivos estratégicos da organização.

Miranda et al., (2010) verificaram por meio da simulação de eventos discretos dois cenários para a realização do setup em uma célula de manufatura de uma indústria de autopeças e concluiu que a produção da empresa não altera de maneira significativa com a escolha de um dos métodos utilizados. Com os

resultados obtidos por meio dessa ferramenta, os gestores puderam tomar decisões mais assertivas com respeito ao método utilizado pela empresa para realizar a operação do setup levando em consideração outros critérios relacionados as condições ideais de trabalho para os operadores.

Além desses casos, tem-se também Negahban e Smith (2014) com um extenso levantamento dos estudos realizados na área de manufatura com uso da técnica de simulação de eventos para auxiliar na tomada de decisão. O autor mostra em sua revisão que a aplicação da técnica tem crescido ao longo dos anos, com destaque em projetos e operação de sistemas de manufatura.

### Aplicações de simulação na logística interna

De forma mais específica, também é importante ressaltar os trabalhos relacionados ao uso da simulação de sistemas com enfoque nas atividades inerentes a logística interna nas empresas, como será o caso do presente estudo.

Bohn (2017) por meio da simulação de eventos discretos analisou a utilização das empilhadeiras em uma célula de armazenagem de produtos acabados. No projeto realizado pelo autor foram avaliados cenários com mudanças relacionadas a demanda no setor de armazenagem e distribuição nos destinos dos transportes a fim de realizar ações mais precisas para o processo da empresa.

Burinskiene (2015) realizou um estudo dentro de um armazém para analisar melhorias aos processos de armazenamento e reabastecimento por meio da utilização da simulação computacional. Os resultados da simulação apresentados pelo autor mostram uma diminuição de 11% a 35% nas distâncias percorridas pelas empilhadeiras, que é o transporte utilizado pela empresa.

Além dos estudos apresentados com respeito ao transporte interno nas fábricas, destaca-se também Seebacher, Winkler e Oberegger (2015) com a aplicação da simulação para avaliar a eficiência na logística interna de uma fábrica. Os autores utilizaram a simulação de eventos discretos para modelar o fluxo de trabalho de um sistema de produção com processos de fabricação e processos relacionados a logística interna da empresa.

Em relação a aplicações no dimensionamento de recursos no varejo, Longhini et al. (2017) aplicaram a técnica de simulação de eventos discretos para simular o atendimento em um pequeno varejo, após a validação do modelo, foi executado um novo cenário com a adição de mais um colaborador, o que resultou em uma do tempo de espera de clientes e no nível de serviço do sistema.

No estudo aplicado por Santana (2018), a simulação foi utilizada como uma ferramenta gerencial para auxiliar na tomada de decisão sobre os recursos necessários para as atividades logísticas da empresa, tais como processos de recebimento, conferência, armazenagem, separação de pedidos e distribuição de materiais. A simulação permitiu ao autor identificar diversas falhas nos processos e propor soluções que geraram melhorias à execução das atividades.

Não foram encontrados estudos na literatura sobre a aplicação de simulação de eventos discretos em ambientes de manufatura para a produção de papelão ondulado, realizando análises de múltiplos cenários com o auxílio de *softwares* comerciais (BRAILSFORD et al, 2019; FERREIRA et al, 2020). Sendo, por tanto, uma

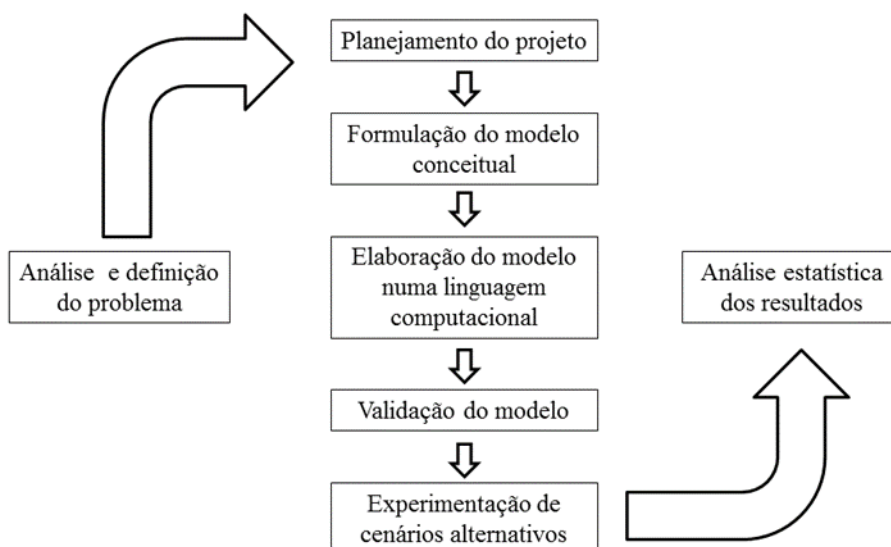
aplicação de simulação de eventos discretos emergente e a principal contribuição da presente pesquisa

## METODOLOGIA

A empresa considerada no estudo de caso é produtora de conversão de papelão ondulado, possuindo mais de dois mil funcionários ao redor do Brasil. A problemática a ser analisada é o estudo dos principais gargalos na movimentação de materiais em processo e como dimensionar corretamente os veículos de transporte para a melhoria da produção diária da fábrica. Com os possíveis cenários a serem testados sobre o aumento da quantidade de empilhadeiras em setores críticos do processo.

Para a aplicação da técnica de simulação computacional, foi utilizado o método sugerido por Freitas Filho (2008). A metodologia se divide basicamente na análise e definição do problema, planejamento do projeto, formulação do modelo conceitual, elaboração do modelo em uma linguagem computacional, validação do modelo, experimentação de cenários alternativos e interpretação e análise estatística dos resultados. O fluxograma presente na figura 1 destaca a metodologia adotada no estudo.

Figura 1: Fluxograma da metodologia do projeto



Fonte: Elaborado pelos autores

A definição do problema, no caso, o dimensionamento da movimentação interna de material no processo produtivo, foi feita em conjunto com os profissionais da empresa, que é o objeto de estudo do presente trabalho. Para isso, foram realizadas reuniões com o gestor responsável pelo projeto, sendo discutido o processo produtivo da empresa.

Em seguida, após a formulação do problema, foi realizado o planejamento do projeto. Nessa etapa, definiu-se de que maneira os dados e informações a respeito

do sistema estudado seriam coletados, assim também quais os cenários que seriam avaliados na etapa de experimentação.

A terceira etapa foi a formulação do modelo conceitual, que foi feita por meio da modelagem do processo em forma de fluxograma, utilizando-se da notação *Business Process Modeling* (BPM) e com objetivo de analisar as principais atividades inerentes ao processo produtivo da empresa.

Depois de analisados os principais processos relacionados ao problema, foram coletados os dados necessários para a elaboração do modelo computacional, que é o passo seguinte para a aplicação da simulação de sistemas. Os dados coletados no projeto restringem-se a tempos para execução das operações de produção, distâncias a serem percorridas, layout da fábrica e outras informações com respeito aos recursos intrínsecos ao problema, como a quantidade de transportadoras presentes no processo produtivo da empresa, por exemplo.

As observações dos dados quantitativos foram realizadas através da coleta de amostras de um banco de dados já existente na empresa sobre a duração dos principais processos da fábrica, como a taxa de entrada de materiais no processo, tempo de ciclos das máquinas e percentual da demanda de produtos alocada para cada máquina. Os dados coletados apresentaram tamanho de amostras aceitáveis (através do cálculo de tamanho amostral para 95% de confiança e erro amostral de 5%) e passaram por um processo de remoção de outliers com análise gráfica de *box plot* (MONTGOMERY, 2017).

Após formulação do modelo conceitual e a coleta de dados, foi realizada a etapa de tradução do modelo para o *software* de simulação e, em seguida, sua validação. A elaboração do modelo computacional foi feita no *software FlexSim*, que permite a modelagem do processo em formato tridimensional, o que facilita a visualização e compreensão do modelo de simulação. A verificação e validação do modelo foi realizada em conjunto com a gerência administrativa da fábrica, com base na comparação da produção diária real de material da fábrica e a que foi apresentada pelo modelo elaborado.

As últimas etapas da aplicação da técnica de simulação consistem na experimentação de cenários, definidos na etapa de planejamento do projeto, e a análise estatística dos resultados. Os cenários elaborados e avaliados no projeto estão relacionados a variação da quantidade de empilhadeiras no processo produtivo da fábrica, com quantidade a mais entre duas a cinco empilhadeiras. Os resultados da experimentação desses cenários foram analisados, permitindo assim, a escolha daquele que melhor se adequou aos objetivos da empresa para o projeto.

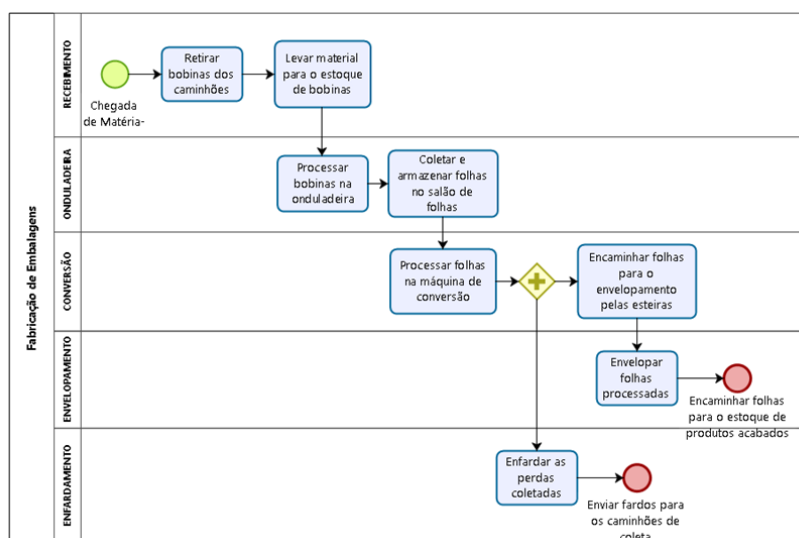
## ESTUDO DE CASO

O estudo de caso consiste na aplicação da simulação de eventos discretos para descrever a situação real do ambiente modelado e propor cenários de melhoria para o processo. São explicitados no estudo de caso: o objeto de estudo, a análise de dados dos parâmetros necessários para a simulação e a elaboração, validação e testes de cenários futuros do modelo de simulação.

O objeto de estudo do presente trabalho foi uma indústria de grande porte localizada na região nordeste do país que tem como característica principal a produção de embalagens de papelão ondulado para empresas da região.

O processo produtivo da empresa é composto pela transformação da matéria-prima em folhas de papelão ondulado e o corte do papel de modo que seja possível montar uma embalagem. Para uma melhor compreensão das atividades realizadas desde a chegada da matéria-prima até a sua transformação em produto acabado, foi utilizado o *software Bizagi Modeler* para desenhar o fluxograma do processo. A Figura 2 mostra o processo de fabricação de maneira detalhada.

Figura 2 – Processo de fabricação de embalagens



Fonte: Elaborado pelos autores

O processo é dividido basicamente em cinco etapas, onde em cada um desses pontos são realizadas algumas atividades. Inicialmente, há a chegada das bobinas de papelão, que são conduzidas até a fábrica por meio de caminhões. Após o recebimento, esse material é transportado pelas empilhadeiras para o salão de bobinas onde ficarão estocadas até que sejam solicitadas para a produção de novas folhas de papelão.

Na segunda etapa do processo, as bobinas são conduzidas à máquina onduladeira onde ocorrerá a transformação da matéria-prima em folhas de papelão. A onduladeira possui capacidade para processar 10 bobinas por vez. Depois de processadas, as folhas são coletadas a fim de formar paletes de folhas empilhadas para, em seguida, serem conduzidas por empilhadeiras para o salão de estoque de folhas.

A terceira etapa diz respeito ao processamento das folhas nas máquinas de conversão. Para isso, a empresa conta com cinco máquinas, cada máquina possui tempos de processamento diferentes, este fato está relacionado ao tempo de uso das máquinas, modelos diferentes e suas eficiências. Nessa parte do processo são realizados os cortes e a pintura das folhas conforme os pedidos dos clientes. A empresa trabalha com produtos personalizados, portanto, as embalagens variam conforme são solicitadas pelos clientes. O setup das máquinas é realizado sempre no início da conversão de folhas para um novo cliente.



Após esse processo, os paletes de folhas empilhadas são conduzidos através de esteiras até as máquinas de envelopamento (filme *stretch*) e as perdas naturais inerentes ao corte são enfardadas para serem levadas pelos caminhões de coleta para a reciclagem. A indústria possui duas máquinas de envelopamento com capacidade de produção semelhantes.

Por fim, na última fase do processo, depois dos paletes serem envelopados, as empilhadeiras conduzem o material para o estoque de produtos acabados para em seguida serem conduzidas aos caminhões onde serão transportadas até os clientes.

### Coleta de dados

Para a realização do estudo foi necessário a coleta de dados para se obter informações que permitissem uma compreensão do processo de maneira mais detalhada. A coleta dos dados foi feita em conjunto com os responsáveis pelo processo produtivo da empresa. Nesse sentido, foi realizada uma visita técnica à fábrica a fim de compreender o processo da indústria, suas principais atividades e detalhes mais específicos do processo.

Depois de mapeadas as atividades inerentes a fabricação das embalagens, foram reunidas todas as informações necessárias para a elaboração do modelo de simulação, tais como o tempo de processamento das máquinas, tempo de carregamento e descarregamento das empilhadeiras, quantidade de recursos disponíveis no processo, entre outras. As informações coletadas estão descritas no Quadro 1.

Quadro 1 – Informações coletadas para elaborar o modelo de simulação

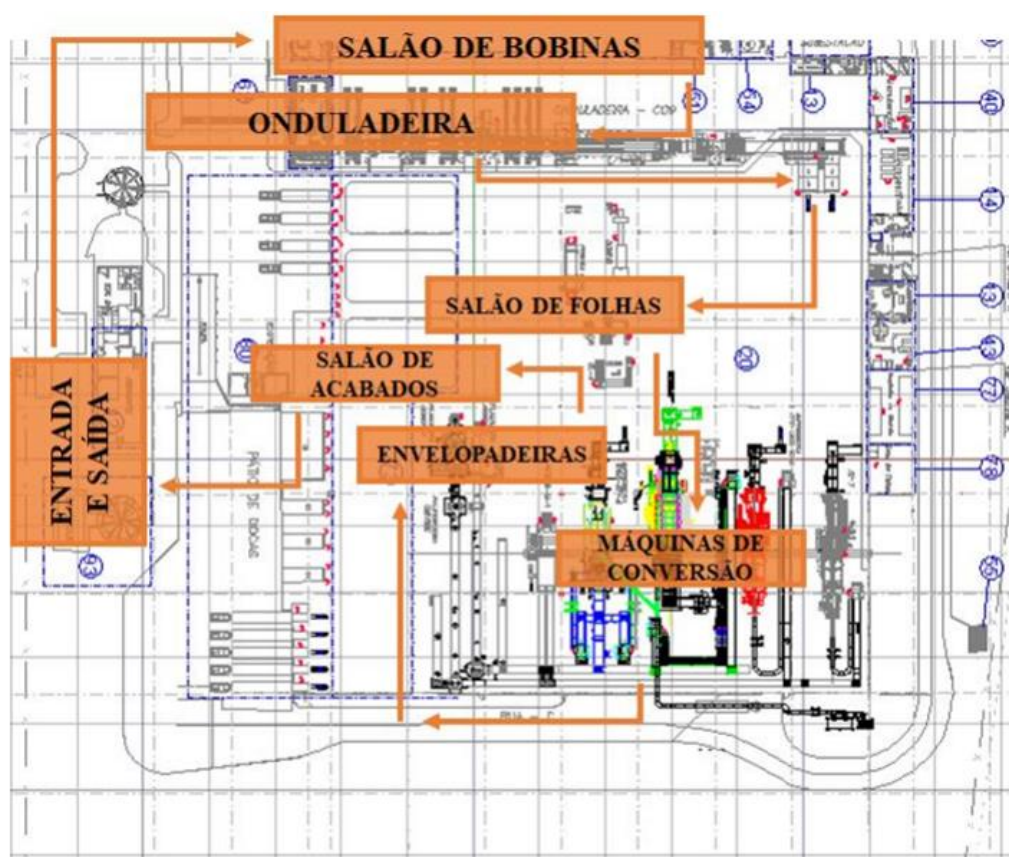
Informações necessárias	Setor/Máquina
Taxa de saída das folhas da máquina onduladeira	Onduladeira
Tempo de processamento das máquinas de conversão	Máquinas de conversão
Tempo de processamento das máquinas de envelopamento	Máquinas de envelopamento
Tempo de carregamento e descarregamento das empilhadeiras	Salão de folhas e de produtos acabados
Quantidade de máquinas de conversão	Máquinas de conversão
Quantidade de máquinas de envelopamento	Máquinas de envelopamento
Quantidade de empilhadeiras na fábrica	Salão de bobinas, de folhas e produtos acabados
Planta da fábrica	Todos os setores e equipamentos

Fonte: Elaborado pelos autores

A Figura 3 mostra a planta da indústria utilizada para elaborar o modelo de simulação. Na imagem é possível visualizar o posicionamento das máquinas, os salões de bobinas, folhas e produtos acabados. Por meio da planta pode se ter também uma compreensão sobre as áreas de movimentação das empilhadeiras durante o processo.

No período em que o projeto foi realizado, o salão de bobinas possuía uma capacidade para estocar 4.000 bobinas. O salão de folhas, descrito na Figura 3, possuía 1.800m<sup>2</sup> e tem capacidade para armazenar 400.000m<sup>2</sup> de papelão ondulado, enquanto o salão destinado ao estoque de produtos acabados tinha capacidade para 1.500m<sup>2</sup>.

Figura 3 – Planta da fábrica



Fonte: Elaborado pelos autores

As empilhadeiras utilizadas no processo se dividem entre os salões de estoque de bobinas, de folhas e produtos acabados. Na chegada das bobinas, as empilhadeiras são responsáveis pelo transporte da matéria-prima advinda dos caminhões para o salão de bobinas. As do salão de folhas conduzem os paletes de folhas de papelão para este local e também fazem o transporte do salão até as máquinas de conversão. Por fim, as empilhadeiras para o estoque acabado transportam os paletes das máquinas de envelopamento para o estoque de produtos acabados e também para os caminhões de saída. Na Tabela 1 é possível visualizar a distribuição de empilhadeiras dentro do processo. A empresa possui uma frota com 13 empilhadeiras

Tabela 1 – Divisão das empilhadeiras no processo de fabricação

Local	Quantidade
Salão de Bobinas	2
Salão de Folhas	4
Salão de Produtos Acabados	7

Fonte: Elaborado pelos autores

Existem cinco máquinas que realizam o processo de conversão das folhas de papelão. Elas diferem quanto ao tempo de processamento e na quantidade de papel processado, ou seja, algumas recebem mais material para processar do que outras. A Tabela 2 apresenta o percentual de folhas processadas por cada máquina de conversão.

Tabela 2 – Divisão das empilhadeiras no processo de fabricação

Máquina	Percentual de Pedidos Processados (%)
Máquina de Conversão 1	19
Máquina de Conversão 2	24
Máquina de Conversão 3	34
Máquina de Conversão 4	18
Máquina de Conversão 5	5

Fonte: Elaborado pelos autores

Todos os dados levantados nesta etapa do estudo foram utilizados para a elaboração do modelo computacional descrito na próxima subseção.

### Elaboração do modelo de simulação

A compreensão do sistema real é um passo de extrema importância para qualquer estudo de simulação, e é na etapa de construção do modelo computacional onde é possível descrever esse sistema e verificar o seu padrão de funcionamento.

Conforme destaca Oliveira (2010), o primeiro passo para a construção do modelo de simulação é a escolha do *software*. Nesse caso, a elaboração do modelo foi feita no *software* de simulação 3D *Flexsim*. Nele é possível descrever todo o processo produtivo da empresa de maneira bastante ilustrativa, o que permite uma melhor compreensão das atividades desenvolvidas no sistema e uma análise mais precisa com respeito a utilização dos recursos presentes na produção.

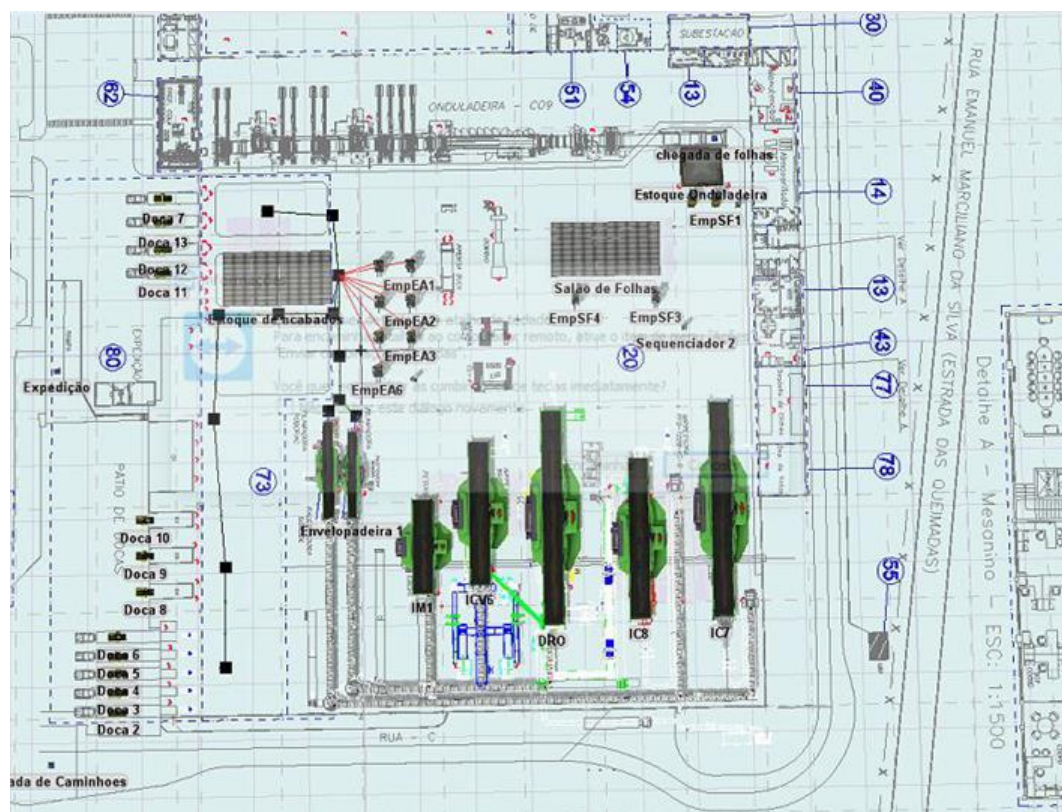
Com a planta da fábrica disponível foi possível modelar toda a estrutura da empresa no *software*, como o posicionamento das docas, máquinas, estoques e outros equipamentos. O modelo de simulação, ilustrado na Figura 4, foi elaborado por cima da planta 2D. Esse artifício do programa permite a construção do sistema com uma maior precisão e evita erros quanto a posição dos equipamentos e layout.

No modelo descrito considerou-se como o início do processo a saída de folhas de papelão da onduladeira e o final do processo como a chegada dos caminhões nas docas. A variável entidade que foi utilizada na simulação foi o palete de folhas de papelão ondulado, que é o produto de saída da máquina onduladeira. Foi adotado o segundo como unidade de tempo, embora os resultados sejam mostrados na subseção 4.5. em horas.

Depois de elaborado o sistema, foi necessário preencher o modelo com os dados estatísticos relacionados a chegada de material, execução das tarefas, tempos relacionados ao transporte, percentual de folhas processadas pelas máquinas, dentre outras informações.

Para estimar as distribuições de probabilidades para as atividades inerentes ao sistema, foram adotados os critérios destacados por Banks e Chwif (2011) e Chwif et al. (2014), onde os mesmos ressaltam que estimar distribuições com parâmetros mais intuitivos como a distribuição normal e exponencial, por exemplo, é a melhor alternativa.

Figura 4 – Modelo de simulação



Fonte: Elaborado pelos autores

A Tabela 3 mostra as distribuições utilizadas para as máquinas de conversão e de enrolamento, assim também como para a taxa de saída dos paletes na ondulateira. A distribuição normal foi escolhida para os tempos relacionados as máquinas e empilhadeiras e a distribuição exponencial para a taxa saída dos produtos na ondulateira. Os parâmetros das distribuições são dados em segundos.

Tabela 3 - Determinação das distribuições de probabilidades para os processos

Máquina	Curva	Distribuição de Probabilidade
Taxa de Saída de paletes	Exponencial	EXP (0,72)
Máquina de Conversão 1	Normal	NORM (300,60)
Máquina de Conversão 2	Normal	NORM (300,60)
Máquina de Conversão 3	Normal	NORM (600,150)
Máquina de Conversão 4	Normal	NORM (600,150)
Máquina de Conversão 5	Normal	NORM (900,150)
Envelopadeira 1	Normal	NORM (60,2)
Envelopadeira 2	Normal	NORM (60,2)
Empilhadeira	Normal	NORM (120,30)

Fonte: Elaborado pelos autores

Além desses processos, também é ilustrada na Tabela 3 a distribuição referente ao tempo de carregamento e descarregamento relacionado as empilhadeiras, seguindo os mesmos critérios destacados por Banks e Chwif (2011) e Chwif et al. (2014).

Para o processo da saída de paletes da ondulateira (chegada de folhas no sistema de simulação) foi considerada a distribuição exponencial, devido a sua utilização padrão no processo de chegada de entidades em sistemas discretos e na teoria das filas (FREITAS, 2020). Para os demais processos de tempo de processamento e tempos de carregamento e descarregamento das empilhadeiras, foi utilizado a curva normal, devido já existir os tempos médios e a variação de cada processo necessário para o modelo de simulação, presentes no banco de dados disponibilizado e validados pela gerência da fábrica.

### Validação do modelo

A validação do modelo de simulação pode ser feita de diversas formas utilizando-se da estatística para tal fim. Alvarado (2017) apresenta diversas maneiras para se validar um modelo matemático, como os testes paramétricos, que fazem uso de parâmetros como média e variância, por exemplo, e não-paramétricos. O modelo foi validado por meio dos dados de saída do sistema na simulação, ou seja, a quantidade média de paletes de folhas de papelão ondulado produzidos diariamente, em comparação com a produção média da empresa em um dia de trabalho. Para se gerar o valor médio da produção de paletes diária, a simulação foi replicada 100 vezes.

A diferença entre o resultado obtido através da simulação do processo e a média de produção da empresa por dia diferem em aproximadamente 1%, a produção de paletes da empresa é, em média, 500 paletes por dia. Já o valor médio retornado pelo modelo foi de 504,9 paletes por dia. Esse erro percentual de 1% foi considerado aceitável para a aprovação do modelo. Portanto, o sistema construído foi validado para a realização dos testes de cenários.

Depois de validado o modelo foram feitos os testes de cenários alternativos ao cenário atual da empresa a fim de verificar possíveis melhorias ao processo da fábrica. Os testes realizados se restringem a variação da quantidade de empilhadeiras na produção, responsáveis pela movimentação de material no salão de folhas e estoque de acabados.

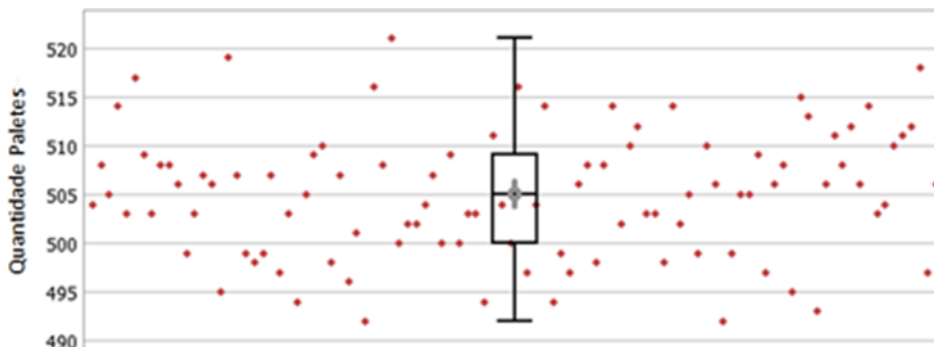
### Resultados do cenário atual

O modelo de simulação foi executado 100 vezes a fim de gerar um intervalo de confiança para os resultados. A simulação do processo produtivo se restringe a um dia de produção, ou seja, 24 horas de trabalho. Além disso, na execução do modelo computacional foi considerado também um tempo de aquecimento (*warmup time*) para o processo de 1 hora.

Os resultados obtidos com a simulação do sistema estão descritos nos gráficos e tabelas desta seção. Os principais resultados dizem respeito ao estoque em processo, utilização das empilhadeiras e produção diária de paletes de folhas de

papelão ondulado. A Figura 5 ilustra a distribuição da produção diária em um *box plot* e o resultado de cada replicação.

Figura 5 – Produção diário de paletes por replicação



Fonte: Elaborado pelos autores

A média de paletes produzidos em um dia, com um intervalo de confiança de 95%, foi de 504.9. Esse resultado, como já destacado na seção anterior, serve de base para a validação do modelo. Os resultados da Tabela 4 destacam a utilização das empilhadeiras destinadas a cada ambiente da fábrica.

Tabela 4 – Utilização média das empilhadeiras por setor

Setor	Utilização (%)	Ociosidade (%)
Salão de Folhas	91,9	8,1
Estoque de Acabados	74,3	25,7

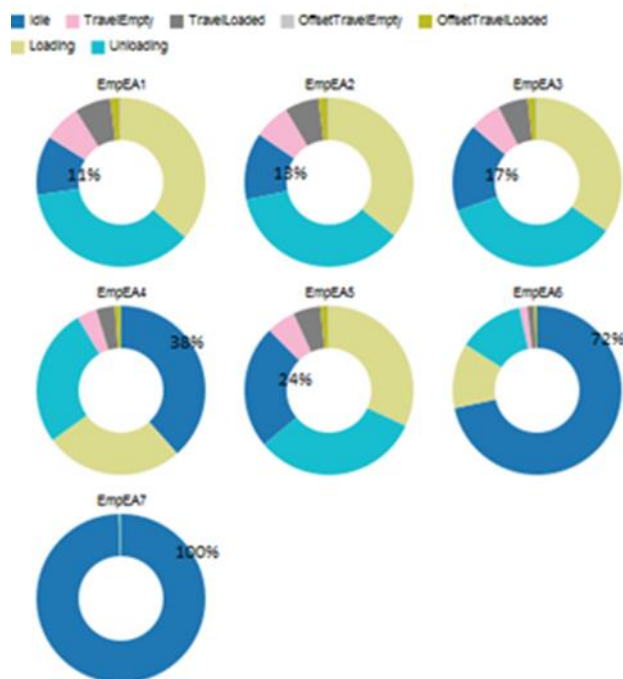
Fonte: Elaborado pelos autores

Como é possível observar na Tabela 4, a utilização das empilhadeiras para o salão de folhas é relevante, com uma média de 91,9% de utilização ao longo do tempo de simulação. Dessa forma, nota-se que o transporte nessa etapa do processo é relevante e intenso.

O resultado para a quantidade média de paletes em estoque no salão de folhas foi de 212 paletes por dia, com um tempo médio em estoque de aproximadamente 5 horas por paleta. Com os valores para a quantidade e tempo relacionados ao estoque dos paletes no salão de folhas é possível notar que as máquinas de conversão não suprem completamente a demanda, gerando assim, um estoque elevado no processo. Esse fato explica a alta utilização das empilhadeiras nessa etapa.

Além do salão de folhas também foram avaliados os resultados obtidos na etapa final do sistema, ou seja, no estoque de produtos acabados. A Figura 6 ilustra a utilização de cada uma das empilhadeiras disponíveis nessa etapa.

Figura 6 – Utilização das empilhadeiras no estoque de acabados em uma replicação da simulação



Fonte: Elaborado pelos autores

A utilização média das empilhadeiras responsáveis pela movimentação do produto acabado para o estoque e para os caminhões é de 74.3%. Esse valor médio é considerável aceitável para a empresa, entretanto, analisando as empilhadeiras individualmente, observa-se a inutilização de um dos equipamentos, que fica totalmente ocioso no processo em cada uma das replicações.

Os resultados gerados na simulação, relacionados com a utilização das empilhadeiras e estoque de produtos, destacam oportunidades de melhorias para o processo de produção da empresa. Depois de analisados os valores obtidos, foi avaliado novos cenários para o processo, com o aumento no número de empilhadeiras na etapa gargalo, ou seja, no salão de folhas.

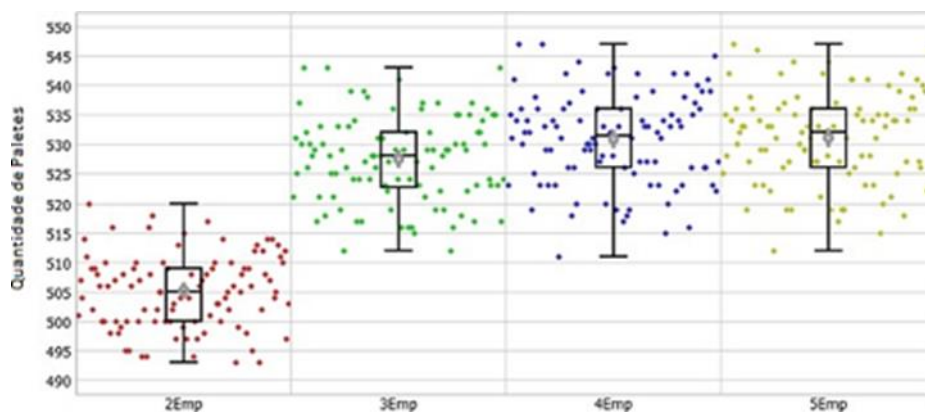
### Resultados dos cenários propostos

Os cenários propostos e avaliados na simulação apresentam o processo com uma quantidade maior de empilhadeiras na etapa referente ao manuseio dos paletes do salão de folhas para as máquinas de conversão. O objetivo principal desses cenários é diminuir o estoque em processo e permitir o aumento na utilização das máquinas de conversão a fim de aumentar a produção da fábrica e distribuir de maneira mais eficiente o trabalho desempenhado pela movimentação de materiais. Com o modelo de simulação já validado é possível analisar diferentes cenários com a troca ou reposicionamento de recursos ao longo do processo (BHOSEKAR et al. 2021). Sendo o recurso estudado, a quantidade de empilhadeiras no salão de folhas.

Atualmente o setor possui duas empilhadeiras e os testes foram realizados aumentando a quantidade do transporte em até cinco empilhadeiras. O gráfico de

box plot foi utilizado para apresentar a produção diária de paletes em relação a quantidade de empilhadeiras utilizadas para transportar as folhas do salão de folhas para as máquinas de conversão. A figura 7 mostra esse gráfico com o cenário atual com duas empilhadeiras, o cenário 1 com três empilhadeiras, o cenário 2 com quatro empilhadeiras e o cenário 3 com cinco empilhadeiras.

Figura 7. Produção diária em relação a quantidade de empilhadeiras



Fonte: Elaborado pelos autores

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos da produção diária média e o impacto percentual no custo de manuseio de materiais da fábrica com o aumento das empilhadeiras contratadas em cada um dos três cenários, além do cenário atual.

Tabela 5 - Produção diária de paletes em cada cenário e impacto no custo total

Parâmetro	Cenário Atual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Quantidade de Empilhadeiras	2	3	4	5
Produção diária (paletes/dia)	504	527	531	531
Impacto percentual no custo	-	8%	16%	25%

Fonte: Elaborado pelos autores

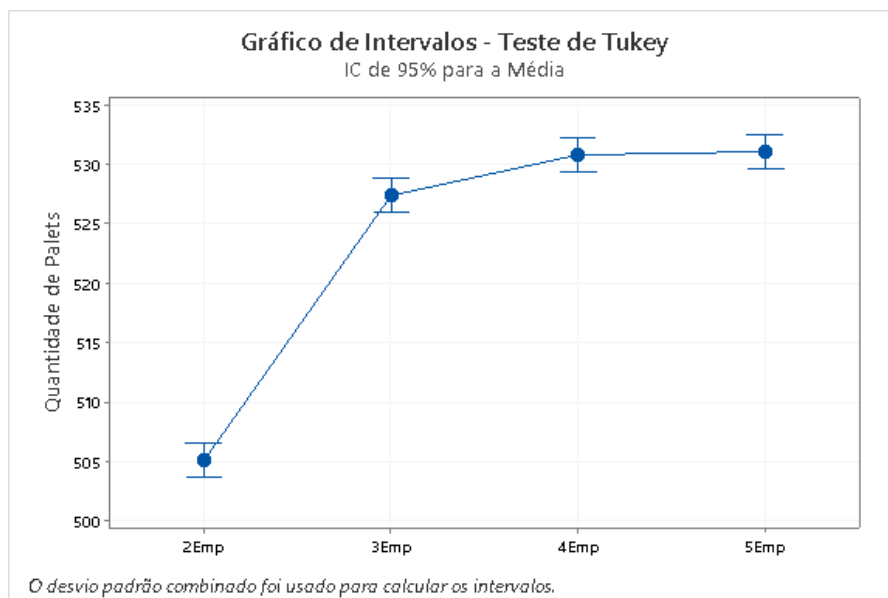
O aumento no número de empilhadeiras na etapa do processo em que há maior estoque gera um aumento da produção de folhas de papelão. O acréscimo de uma empilhadeira para transportar os paletes de folhas para as máquinas de conversão gera um aumento de aproximadamente 5% na produção diária e de 8% no custo total das empilhadeiras. Levando em consideração uma produção constante ao longo de um mês, ou seja, 30 dias, a utilização de mais uma empilhadeira nessa parte do sistema permite a produção de 15.810 paletes extras ao mês.

Para verificar se os resultados do aumento da produção diária para os cenários com duas, três, quatro e cinco empilhadeiras é significativo, foi executado um teste de Tukey para diferenças de médias com um nível de confiança de 95% da média. O resultado do teste é ilustrado na figura 8, com um gráfico de intervalos de confiança para a média da quantidade de paletes produzidos em cada simulação do cenário.



O resultado ilustrado na figura 8 indica que quando o intervalo da média da quantidade de paletes produzidos não se cruza entre dois cenários diferentes, significa que a diferença da média entre eles é significativa, caso corra o cruzamento, os cenários possuem resultados similares, não sendo significativa a diferença entre eles. Por tanto, ao analisar a figura 8 é perceptível que o aumento para três, quatro ou cinco empilhadeiras implica em um aumento significativo da quantidade de paletes produzida por dia. O aumento de três empilhadeiras para quatro ainda é significativo, mas o aumento de quatro empilhadeiras para cinco não representa aumento expressivo na produção diária da fábrica.

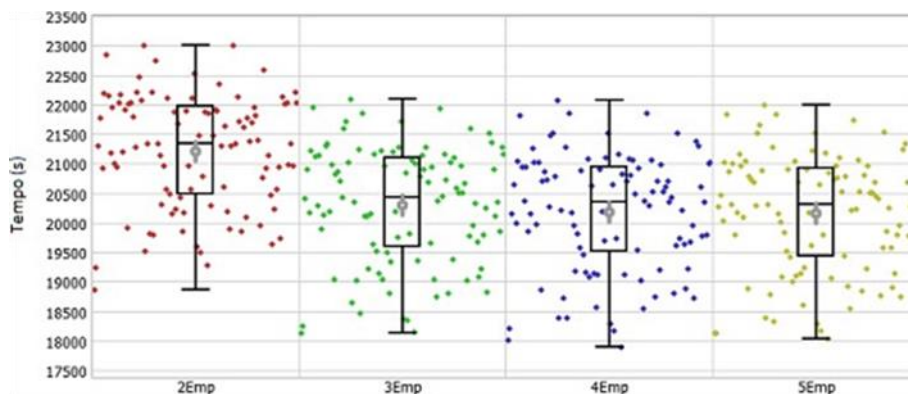
Figura 8. Teste de Tukey para diferenças de médias para a quantidade de paletes diária



Fonte: Elaborado pelos autores

Além disso, como mostra a Figura 9, o tempo médio do produto em estoque no salão de folhas diminuiu em aproximadamente 4%. Isso revela uma menor espera para se processar as folhas nas máquinas de conversão, diminuindo a ociosidade e elevando a produção de embalagens.

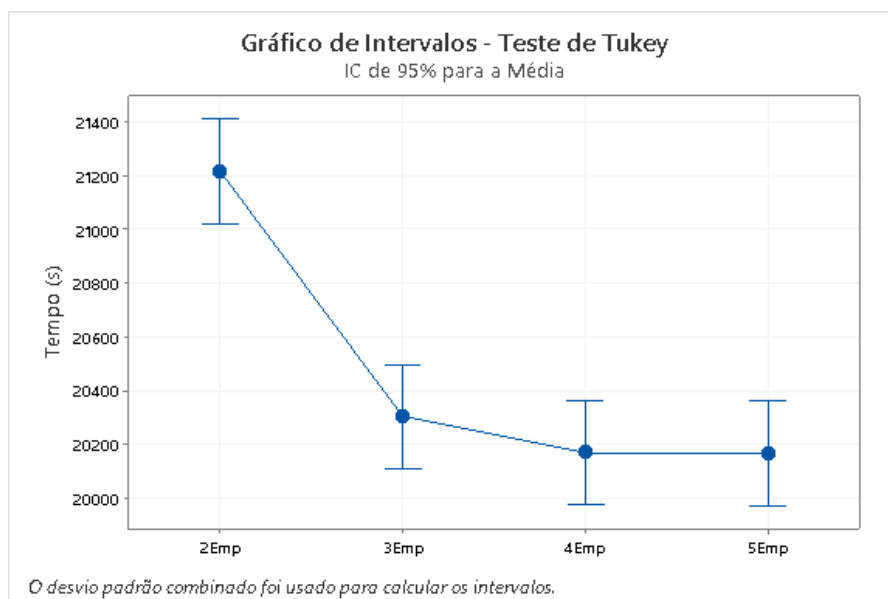
Figura 9. Tempo em estoque no salão de folhas



Fonte: Elaborado pelos autores

Realizando uma análise de diferença de médias para o tempo em estoque no salão de folhas. A figura 10 ilustra um teste de Tukey com 95% de confiança. O resultado indica que a partir de três empilhadeiras no setor, a redução do tempo das folhas no estoque é significativa. Contudo, um acréscimo para quatro ou cinco empilhadeiras não ocasiona redução significativa no tempo médio do material no salão de folhas.

Figura 10. Teste de Tukey para diferenças de médias para tempo em estoque no salão



Fonte: Elaborado pelos autores

Dentre os cenários testados na simulação optou-se por escolher o cenário 1 como o melhor para a empresa, uma vez que os outros cenários não geravam mudanças significativas em comparação a esse cenário. Além disso, cabe destacar que não somente foi avaliado o aumento da produção em detrimento do acréscimo de empilhadeiras ao processo, mas também o custo para realizar esse investimento.

Portanto, a solução proposta para o sistema foi o deslocamento da empilhadeira inutilizada no estoque de acabados para o transporte de paletes no salão de folhas. Esse cenário permite não somente o aumento da produção da empresa, mas também um melhor aproveitamento do transporte responsável pelo manuseio de materiais no processo de fabricação, além de evitar o investimento em mais uma empilhadeira ao processo.

A utilização das empilhadeiras no salão de folhas com a replicação do cenário 1, considerando o novo arranjo de empilhadeiras, foi de 88.4%. Com o deslocamento da empilhadeira inutilizada no estoque de acabados para o salão de folhas obteve-se uma melhora significativa na utilização do transporte, reduzindo a ociosidade na etapa final do processo e distribuindo melhor o trabalho para as empilhadeiras no salão de folhas, permitindo também uma maior disponibilidade de material para as máquinas de conversão e gerando um aumento diário na produção de embalagens.

## CONCLUSÃO

O presente estudo tinha como objetivo principal a análise do processo produtivo de uma fábrica produtora de embalagens de papel ondulado a fim de verificar a utilização do transporte, no caso as empilhadeiras, na movimentação de materiais da empresa e propor soluções para o sistema em questão.

Dessa forma, a simulação de eventos discretos foi utilizada como uma ferramenta para a tomada de decisão gerencial, propiciando a empresa realizar uma ação mais assertiva, evitando gastos com tempo e recursos. Na empresa em questão, a técnica permitiu uma realocação adequada do transporte utilizado no processo de fabricação de embalagens e um aumento da produção. No entanto, é importante frisar que a aplicação de outras ferramentas pode garantir uma melhoria contínua à fábrica, como as utilizadas no Sistema *Toyota* de Produção, por exemplo. Além disso, a simulação de eventos discretos pode ser implementada em conjunto com essas ferramentas para avaliar o impacto das possíveis mudanças.

Como proposta para estudos futuros está a coleta de dados a fim de ajustar distribuições de probabilidades, com auxílio de testes estatísticos, para os tempos de execução das atividades e levar em consideração mais restrições inerentes ao processo. Dessa maneira, será possível representar o processo de fabricação da empresa em um modelo computacional mais próximo da realidade, alcançando assim, resultados mais robustos. Por fim, a metodologia implementada nesse estudo pode ser aplicada em outros ambientes industriais, desenvolvendo os testes de diferentes cenários em *softwares* de simulação e realizando análises quantitativas para a avaliação dos resultados.

# Design of the internal logistic of a corrugated packaging industry using discrete-event simulation

## ABSTRACT

Great studies have been carried out involving the application of computational simulation to analyse and evaluate alternative scenarios with the purpose of proposing solutions to the activities inherent in the processes. The present work presents an application of the discrete event simulation in a factory producing corrugated paper packaging as a tool to evaluate the use of forklift transport in the production process. The study demonstrates the impact on the production of packaging due to the changes considered in the internal movement. The application of the technique allowed to verify points of improvements regarding the use of the forklifts and to propose changes in the internal movement of materials, besides avoiding the wrong investment in the purchase or renting of more forklifts to the factory. The changes brought about an increase of approximately 5% in the production of packaging and a considerable decrease in the level of inventory in process, at no cost to the company due to the rearrangement of the forklifts.

**KEYWORDS:** Discrete-event simulation. Internal logistics. Material movement. Flexsim software. Productions processes.

---

## REFERÊNCIAS

ACHKAR, Victoria G. et al. A Simulation-Based Tool to Support Decision-Making in Logistics Design of a Can Packaging Line. **International Journal of Food Engineering**, v. 16, n. 5-6, 2020.

ALVARADO, Christiam Segundo Morales. **Estudo e implementação de métodos de validação de modelos matemáticos aplicados no desenvolvimento de sistemas de controle de processos industriais**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Ballou, R. H. (2009). *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Logística Empresarial*. Porto Alegre: Bookman Editora.

ASHRAFIAN, Alireza et al. Full-scale discrete event simulation of an automated modular conveyor system for warehouse logistics. In: **IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems**. Springer, Cham, 2019. p. 35-42.

BANKS, Jerry; CHWIF, Leonardo. Warnings about simulation. **Journal of Simulation**, v. 5, n. 4, p. 279-291, 2011.

BANKS, Jerry., CARLSON, J. S., NELSON, B. L., NICOL, D. M. **Discrete event system simulation**. Pearson Education India, 2009.

BERTRAND, J. Will M.; FRANSOO, Jan C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. *International Journal of Operations & Production Management*, 2002.

BHOSEKAR, Amogh et al. A discrete event simulation model for coordinating inventory management and material handling in hospitals. **Annals of Operations Research**, p. 1-28, 2021.

BOEIRA, Leandro do Amaral. *Simulação computacional: um estudo de caso em uma empresa fabricante de câmaras de ar pneumáticas*. 2008.

BOHN JÚNIOR, Vangünther et al. Simulação e análise da taxa de ocupação de empilhadeiras em uma célula de armazenagem de produtos acabados. 2017.

BOWERSOX, Donald J. et al. *Gestão logística da cadeia de suprimentos*. AMGH Editora, 2013.

BRAILSFORD, Sally C. et al. Hybrid simulation modelling in operational research: A state-of-the-art review. *European Journal of Operational Research*, v. 278, n. 3, p. 721-737, 2019.

BURINSKIENE, A. Optimising forklift activities in wide-aisle reference warehouse. *International Journal of Simulation Modelling*, v. 14, n. 4, p. 621-632, 2015.

CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso. *Modelagem e simulação de eventos discretos*, 4a edição: Teoria e aplicações. Elsevier Brasil, 2014.

COIMBRA, C. dos S. O custo da ineficiência na logística interna. In: Congresso USP de controladoria e contabilidade. 2005.

FERREIRA, William; ARMELLINI, Fabiano; DE SANTA-EULALIA, Luis Antonio. Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review. *Computers & Industrial Engineering*, p. 106868, 2020.

FREITAS, Paulo J. de. *Introdução a modelagem e Simulação de Sistemas*. Florianópolis, SC, Brasil: Visual Books, p. 2-14, 2001.

GENNARO, Caroline Kuhl et al. Aplicação da Simulação de Eventos Discretos para propostas de melhorias numa linha de montagem de uma empresa do setor automotivo. *Exacta*, v. 15, n. 1, p. 47-56, 2017.

GERLACH, Gustavo. Proposta de melhoria de layout visando a otimização do processo produtivo em uma empresa de pequeno porte. Trabalho Final De Curso para Obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Produção. FAHOR, Faculdade Horizontina, Horizontina, 2013.

GERÔNIMO, Maycon et al. O uso da simulação computacional para melhoria nos processos produtivos: uma aplicação da teoria de filas com o uso de simuladores. *Exacta*, v. 16, n. 3, p. 167-180, 2018.

HARRELL, Charles R.; PRICE, Rochelle N. Simulation modeling and optimization using ProModel. In: 2000 Winter Simulation Conference Proceedings (Cat. No. 00CH37165). IEEE, 2000. p. 197-202.

LAW, Averill M.; KELTON, W. David; KELTON, W. David. *Simulation modeling and analysis*. New York: McGraw-Hill, 2000.

LONGHINI, Tatielle M.; FREITAS, Kenyth A.; SILVA, Rafaela C.; CAVALCANTI, Joyce M. M. Uso de simulação de eventos discretos para a análise de atendimento de pequeno varejo. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 13, n. 28, p. 171-190, 2017.

MIRANDA, Rafael. Avaliação da operação de setup em uma célula de manufatura de uma indústria de autopeças através da simulação a eventos discretos. *Revista Gestão Industrial*, v. 6, n. 3, 2010.

MONTGOMERY, Douglas C. **Design and analysis of experiments**. John Wiley & sons, 2017.

NEGAHBAN, Ashkan; SMITH, Jeffrey S. Simulation for manufacturing system design and operation: Literature review and analysis. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 33, n. 2, p. 241-261, 2014.

OLIVEIRA, Mona Liza Moura de. Análise da aplicabilidade da técnica de modelagem IDEF-sim nas etapas de um projeto de simulação a eventos discretos. 2010. 168 f. 2010. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG.

RESENDE, P.; SOUSA, P. R.; OLIVEIRA, P. Pesquisa de custos logísticos no Brasil. Fundação Dom Cabral. Brasil. 2012.

SANTANA, W. A. L. D. Utilização da simulação a eventos discretos para o gerenciamento do almoxarifado de materiais utilizados numa indústria automotiva. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de São Paulo (UNESP), São Paulo, São Paulo, Brasil. 2020.

SEEBACHER, G.; WINKLER, H.; OBEREGGER, B. In-plant logistics efficiency valuation using discrete event simulation. *International Journal of Simulation Modelling*, v. 14, n. 1, p. 60-70, 2015.

SHANNON, Robert E. Introduction to the art and science of simulation. In: 1998 winter simulation conference. proceedings (cat. no. 98ch36274). IEEE, 1998. p. 7-14.

TAPPIA, Elena; MORETTI, Emilio; MELACINI, Marco. A simulation analysis of part feeding to assembly stations with vertical robotic storage and retrieval systems. In: **IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems**. Springer, Cham, 2020. p. 45-53.

VIEIRA, Guilherme E. Uma revisão sobre a aplicação de simulação computacional em processos industriais. Simpósio de Engenharia de Produção, XIII, Bauru, Anais, p. 1-10, 2006.

**Recebido:** 05/06/2021

**Aprovado:** 18/11/2021

**DOI:** 10.3895/rts.v18n50.14377

**Como citar:** AMARANTE, J.B.G. et al. Dimensionamento da movimentação interna de uma fábrica de embalagens de papel por meio da simulação de eventos discretos. **Rev. Technol. Soc.**, Curitiba, v. 18, n. 50, p.298-321, jan./mar., 2022. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/14377>. Acesso em: XXX.

**Correspondência:**

**Direito autoral:** Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

