



ISSN: 2447-5580

Disponível em: <http://periodicos.ufes.br/BJPE/index>



Brazilian Journal of  
Production Engineering

BJPE - Revista Brasileira de Engenharia de Produção



Campus São Mateus  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

ARTIGO ORIGINAL

OPEN ACCESS

## ANÁLISE DO LAYOUT DO PROCESSO DE EMBARQUES DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

### ANALYSIS OF THE LAYOUT OF THE PROCESS OF SHIPMENTS OF AGRICULTURAL MACHINES BY COMPUTER SIMULATION

Lázaro Antônio Fonseca Júnior<sup>1\*</sup>, Gustavo Henrique Vaz Camargo<sup>2</sup>, Aline Gonçalves dos Santos<sup>3</sup>

<sup>123</sup> Unidade Acadêmica Especial de Engenharia, Departamento de Engenharia de Produção. Universidade Federal de Goiás. Brasil.

<sup>1</sup> jrlazaro@ufg.br <sup>2</sup> gusty123900@gmail.com <sup>3</sup> alinegsantos\_23@hotmail.com

#### ARTIGO INFO.

Recebido em: 26.06.2019

Aprovado em: 08.07.2019

Disponibilizado em: 20.09.2019

#### PALAVRAS-CHAVE:

Simulação computacional; layout; ARENA, logística interna.

#### KEYWORDS:

Computer simulation; layout; ARENA, internal logistics.

\*Autor Correspondente: Fonseca Júnior, L.A.

#### RESUMO

O presente trabalho, utiliza-se da simulação computacional para a tomada de decisão de uma possível alteração do layout em um estoque de máquinas agrícolas, analisando e prevendo diferentes cenários. Os objetivos propostos são entender a realidade atual do sistema, coletar dados para a construção do modelo computacional e analisar os resultados obtidos através dos relatórios de simulação, sugerindo opções de melhorias para o sistema atual. Para a realização do trabalho, os procedimentos metodológicos utilizados seguiram as seguintes etapas: Definição dos objetivos, coleta dos dados, construção do modelo computacional, validação do modelo, condução dos experimentos e apresentação dos resultados. Foram propostos dois

diferentes cenários, nos quais foi possível compreender os impactos das alterações no layout do estoque na movimentação dos operadores. Os resultados obtidos para o melhor cenário apresentaram o decréscimo de 4% do tempo de movimentação e redução de 38% na distância percorrida pelos operadores.

#### ABSTRACT

The present work uses computational simulation to decide on a possible layout change in a stock of agricultural machines, analyzing and predicting different scenarios. The proposed objectives are to understand the current reality of the system, collect data for the construction of the computational model and analyze the results obtained through the simulation reports, suggesting options for improvements to the current system. For the accomplishment of the work, the methodological procedures used followed the following steps: Definition of objectives, data collection, construction of the computational model, validation of the model, conduction of the experiments and presentation of the results. Two different scenarios were proposed, in which it was possible to understand the impacts of changes in the layout of the stock in the movement of the operators. The results obtained for the best scenario showed a decrease of 4% in the movement time and a reduction of 38% in the distance traveled by the operators.



## INTRODUÇÃO

Em decorrência dos avanços tecnológicos e de uma crescente conscientização ecológica, o cenário econômico mundial tem sofrido modificações. Tais alterações, obriga as organizações a criarem soluções mais criativas, devido ao aumento da competitividade no mercado (Carvalho, 2003). Essa competitividade traz consigo a necessidade da identificação de métodos que apresentam respostas consistentes e eficientes para a melhoria da qualidade dos produtos e serviços.

De acordo com Ceciliano (2007), as organizações que se destacam pela sua excelência em logística vêm utilizando mais intensamente a Pesquisa Operacional, mais especificamente, as ferramentas de modelagem e simulação computacional, de forma a mitigar os impactos dos processos produtivos, reduzindo custos e aumentando a competitividade.

Banks (2000) diz que a simulação computacional recria de maneira artificial através de sua modelagem, a realidade e, a partir desse modelo é possível realizar experimentos e observações para esse sistema. Segundo Law & Kelton (2000), um modelo de simulação completamente desenvolvido e validado pode responder uma variedade de questões sobre os sistemas reais. A simulação pode ser aplicada nas mais diversas áreas, auxiliando os gestores das organizações na tomada de decisão em problemas de grande complexidade (Sakurada & Miyake; 2009).

Kikolski (2017) apresenta as principais desvantagens do uso da simulação são elas: os longos períodos para a preparação do modelo; as soluções de um modelo de simulação não podem ser utilizadas para analisar outras questões decisórias, visto que cada modelo é único; os modelos de simulação geram soluções as questões relacionadas a condições específicas e variáveis, no entanto, o responsável pela a tomada de decisão precisa levar em consideração todas as circunstancias e limitações das variáveis de decisão.

Para Prado (2010), as aplicações dessa técnica podem ser vistas, por exemplo, nas operações logísticas em portos e aeroportos, bancos, cadeias logísticas, hospitais, centrais de atendimento, parque de diversões, supermercados e nas fábricas de manufatura.

Na literatura, pode-se encontrar diversos trabalhos que aplicaram a simulação computacional na logística, como no caso de Pastore, et al. (2016), no qual utilizou o software Arena para realizar modelagem do sistema de distribuição de uniformes da Marinha do Brasil. Com os resultados do seu trabalho, foi possível analisar limitações, ociosidades, capacidades e desbalanceamento de cada atividade do processo e no final propor um cenário alternativo, garantindo, uma melhor alocação dos recursos para atender a demanda prevista.

Lopes (2016) em seu trabalho faz o mapeamento de processos e uma simulação computacional em um terminal regulador de contêineres, utilizando o software Arena, o estudo teve como objetivo minimizar os recursos necessários para se atingir um nível de serviço adequado no fluxo de contêineres vazios no terminal regulador. Foram propostos dois diferentes tipos de cenários, nos quais foram realizados comparações e adaptações com o cenário base, resultando em um melhor nível de serviços no primeiro cenário simulado.



Citação (APA): Fonseca Júnior, L.A., Camargo, G.H.V. & Santos, A.G. dos. (2019). Análise do layout do processo de embarques de máquinas agrícolas através da simulação computacional. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 36-52.

Através do segundo cenário, pode-se planejar o dimensionamento das futuras expansões do termina e acordo com a previsão de crescimento da demanda no local.

Santos & Grander (2012) aplicam a simulação no sistema de estocagem de uma indústria moveleira. Com o software Arena, os autores analisaram o sistema de estocagem de produtos acabados com o objetivo de melhorar a produtividade e nível de serviços oferecidos aos clientes desta indústria. Nesse trabalho, foi realizada uma comparação do sistema atual com um sistema hipotético proposto pelo os autores. Através do estudo de simulação, comprovou-se que a reorganização física dos produtos com maior rotatividade no estoque, nas prateleiras, resultou numa redução dos tempos de coletas de cada item, obtendo o ganho de produtividade e consequentemente o aumento nos níveis de serviços.

Nesse contexto e vista a necessidade de estudo do assunto, o seguinte trabalho tem como objetivo geral, analisar por meio da simulação computacional o processo de embarque de uma fábrica de máquinas agrícolas. Especificamente os objetivos correspondem a compreender e analisar o sistema no seu estado atual; realizar a coleta de dados para a construção do modelo conceitual; a partir do modelo conceitual, construir o modelo computacional e os cenários alternativos no software Arena; analisar os resultados, por meio dos relatórios obtidos e sugerir melhorias no sistema atual baseando-se em um dos cenários analisados.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 LOGÍSTICA

A origem do conceito de logística está estritamente ligado às operações militares, pois ao decidir movimentar suas tropas, os generais necessitavam ter sob seu controle, uma equipe que provesse o deslocamento no local e hora correta, munição e recursos na quantidade certa para o campo de batalha (Novaes, 2007). Desta forma, durante vários anos esse conceito militar foi migrando para as organizações, obtendo um perfil estratégico e gerencial.

De acordo com Bowersox & Closs (2008), o objetivo da logística é disponibilizar produtos e serviços no local onde são requisitados, no momento em que são desejados. Dessa maneira, Ballou (1993) e Chiavenato (1991) conceituam logística como uma atividade que coordena a armazenagem, transporte, movimentação de materiais e fluxo de informação, desde o seu ponto de aquisição da matéria-prima até a entrega do produto ao consumidor final.

Barcelos Júnior (2002), associa como elementos importantes da logística interna um sistema em que todas as atividades de armazenagem de movimentação de materiais facilitem o processo, desde a aquisição até a expedição desse material. Diante disso, Moura (2005) define logística interna como o gerenciamento dos processos internos de abastecimento, armazenamento, transporte e distribuição de materiais dentro de uma organização, com o objetivo de atender suas necessidades.

Segundo Womack & Jones (2006), as atividades de transporte e movimentação de materiais não agregam valor ao produto, sendo vistas como desperdício de tempo e recursos. Essas atividades devem ser reduzidas ou até mesmo eliminadas, através de um arranjo físico que minimize as distâncias percorridas.



Citação (APA): Fonseca Júnior, L.A., Camargo, G.H.V. & Santos, A.G. dos. (2019). Análise do layout do processo de embarques de máquinas agrícolas através da simulação computacional. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 36-52.

Moura (2005) enfatiza que numa fábrica típica, as movimentações de materiais correspondem a cerca de 25% dos empregados, 55% do espaço físico da fábrica e 87% do tempo de produção. Além disso, essa atividade representa entre 15% a 20% do custo total do produto fabricado. Segundo Lee (1998), cada departamento de uma fábrica necessita de um determinado espaço para que ocorram as movimentações de materiais, pessoas ou de equipamentos e que o planejamento desse espaço deve buscar que tenham uma configuração mais funcional possível.

Como base nessa necessidade, a construção de um bom arranjo físico é fundamental para reduzir desperdícios de tempo. Assim, o transporte interno de materiais ou produtos acabados ou semiacabados, deve ser reduzido o mínimo possível, tanto nas quantidades movimentadas quanto as distâncias que se percorridas (Martins & Laugeni, 2006).

## 2.2 CONCEITOS DE SIMULAÇÃO DE SISTEMAS

Simulação possui vários tipos de definições, por ser um termo bastante amplo. Law & Kelton (2000) e Harrell, et al. (2012) apresentam a definição de simulação de maneira similar, enfatizando que a simulação é a imitação de um sistema real, utilizando um modelo computacional com o objetivo de avaliar e melhorar a performance do sistema. McHaney (2009) complementa a definição dizendo que na simulação, suposições são desenvolvidas e moldadas à um modelo através de relações lógicas, estatísticas ou matemáticas.

No ambiente industrial é repleto de situações onde uma alteração é desejada, por uma razão ou outra, porém o custo de uma tentativa de mudança as vezes não é justificável. A simulação pode ser uma ferramenta extremamente útil nesse cenário, permitindo ao observador medir e prever como as alterações em um componente de um sistema irá afetar a funcionalidade do sistema como um todo. Nesse contexto, Robinson (2004) apresenta alguns motivos para se aplicar um estudo de simulação, são eles:

- **Custo** – É caro interromper as operações do dia-a-dia na tentativa de experimentar novas ideias. Além dos custos com as mudanças, pode ser necessário a parada total do sistema por um período enquanto as alterações são realizadas;
- **Tempo** – Dependendo do tamanho do modelo e da velocidade do computador, a simulação pode ser executada de maneira muito mais rápida que o sistema real, economizando tempo e também dinheiro;
- **Controle de condições experimentais** – Ao comparar alternativas, o ideal é controlar as condições em que os experimentos são realizados, de modo que comparações diretas podem ser feitas. Em um sistema real, controlar condições do ambiente é extremamente difícil;
- **Sistema ainda não existe** – Essa é uma das maiores dificuldades de realizar experimentos em um sistema real, quando o mesmo não existe. Construir hipóteses alternativas podem ser tornar uma tarefa difícil e muito cara, em relação aos custos do experimento. A única alternativa nesse caso, é desenvolver um modelo.

Conforme visto, a simulação apresenta uma abordagem de análise sistêmica com a utilização de modelos computacionais nas experimentações. Dessa forma, um sistema pode ser definido



Citação (APA): Fonseca Júnior, L.A., Camargo, G.H.V. & Santos, A.G. dos. (2019). Análise do layout do processo de embarques de máquinas agrícolas através da simulação computacional. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 36-52.

como um grupo de elementos, como por exemplo, pessoas ou máquinas, que agem e interagem em conjunto buscando atingir um objetivo em comum (Harrell, et al., 2012).

Em um estudo de um sistema são realizados através da utilização de modelos. Chwif & Medina (2015) define um modelo como uma abstração da realidade, no qual é representando o verdadeiro comportamento do sistema de modo aproximado e simplificado. O modelo de um sistema deve levar em consideração todos os componentes do sistema estudado, tais como as atividades, atributos, entidades, eventos, recursos e estados (Miyagi, 2006).

Dessa forma, pode-se dizer que um modelo possui como característica principal resumir o funcionamento do sistema em uma quantidade menor de variáveis, permitindo sua compreensão pelo o intelecto humano (Gavira, 2003).

### **2.3 ETAPAS PARA O ESTUDO DE SIMULAÇÃO**

A estudo de um sistema real pela-simulação baseia-se em uma série de etapas para a realização do mesmo. Essas etapas ou processos são conhecidos na literatura como metodologias de simulação. Diversos autores apresentam diferentes metodologias, entre eles pode-se citar Chwif & Medina (2015), Harrell, et al. (2012), Freitas Filho (2008) e Law & Kelton (2000), no entanto, as metodologias são disponíveis de maneira semelhante.

Os procedimentos de condução do estudo de simulação nesse presente trabalho têm como referência a metodologia descrita por Harrell et al. (2012). Segundo esse autor, o estudo de simulação é um processo iterativo, cujo as atividades são refinadas e algumas vezes redefinidas com cada interação e também algumas etapas do estudo podem ser conduzidas em paralelo com outra etapa, ou seja, não há a necessidade de completar uma etapa predecessora para seguir com o estudo.

### **2.4 MODELAGEM CONCEITUAL: IDEF-SIM**

O modelo conceitual é uma descrição de um modelo de simulação a ser desenvolvido, independente de um software, descrevendo os objetivos, parâmetros de entrada e saída, componentes, premissas e simplificações do sistema (Robinson, 2004). Essa etapa do processo de um projeto de simulação é considerada por Law & Kelton (2000) o aspecto mais importante de um estudo de simulação.

O objetivo da modelagem conceitual é ser utilizada como uma base para o desenvolvimento do modelo computacional, porém existe uma tentação por parte dos condutores do projeto de simulação ignorarem essa etapa. Dessa forma, Robinson (2004) adverte que sem a devida atenção ao desenvolvimento do modelo conceitual, o objetivo do estudo pode não ser alcançado, necessitando rescrever o modelo novamente e assim desperdiçando quantidades significativas de tempo.

Leal, Almeida & Montevichi (2008) evidenciam que existem poucas técnicas de modelagem conceitual que ofereçam suporte a um projeto de simulação. Dentre essas, pode ser destacado o IDEF-SIM, técnica proposta pelos autores, vista a necessidade e importância da modelagem conceitual para o sucesso dos projetos de simulação.



Citação (APA): Fonseca Júnior, L.A., Camargo, G.H.V. & Santos, A.G. dos. (2019). Análise do layout do processo de embarques de máquinas agrícolas através da simulação computacional. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 36-52.

A técnica do IDEF-SIM é uma mescla de técnicas já consagradas de modelagem de processos de negócios: IDEF0 e IDEF3 com elementos de fluxograma. Segundo Leal, Almeida & Montevichi (2008), possui foco o projeto de simulação, no entanto, não há restrições quanto ao seu uso em outros tipos de projetos, como projetos de melhoria em geral.

### 3. METODOLOGIA

O presente trabalho possui como procedimento científico o método hipotético-dedutivo, pois serão criadas hipóteses (diferentes cenários) para o problema proposto, nas quais serão testadas com objetivo de serem confirmadas ou descartadas.

No que tange a abordagem de pesquisa de acordo com Silva & Menezes (2005), o seguinte estudo utiliza-se da abordagem quantitativa, devido ao seu objetivo de mensurar, tratar e analisar estatisticamente os dados de entrada e saída de um projeto de simulação.

Para a elaboração desse trabalho foram utilizados dois tipos de procedimentos de pesquisa: pesquisa bibliográfica e a pesquisa experimental.

A pesquisa bibliográfica é caracterizada como um levantamento de dados e informações bibliográficas já publicadas em livros, artigos, revistas e periódicos (Marconi & Lakatos, 2012). Ela foi utilizada com o objetivo de conhecer os principais conceitos aqui empregados (simulação, sistemas, modelagem conceitual, etc.) e suas contribuições científicas.

O procedimento de pesquisa experimental, segundo Silva & Menezes (2005), determina um objeto de estudo, selecionando as variáveis que o influenciam, verificando formas de controle dos efeitos que a variável realiza sobre o objeto, assim observando suas relações de causa e efeito.

O presente estudo de simulação computacional seguirá os passos proposto por Harrell, et al. (2012), já apresentados na seção 2.3, que são elas: definir objetivos e planejar estudo, coletar e analisar dados do sistema, construir um modelo computacional, validar o modelo, conduzir experimentos, apresentar os resultados. As etapas devem ser realizadas para que tenha um bom resultado no final do estudo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e as análises dos experimentos são apresentados neste tópico. Os passos seguidos foram mencionados na seção 2.3, e são detalhados nas próximas seções.

### 4.1 DEFINIR OBJETIVOS E PLANO DE ESTUDO

O estudo de simulação aqui apresentado, possui como objetivo principal modelar e simular computacionalmente o atual arranjo físico da área de embarques de uma fábrica de máquinas agrícolas, analisando diferentes cenários com a finalidade de propor uma redução na movimentação, otimização do tempo para realização do processo e também sua capacidade. Serão analisadas as movimentações realizadas pelo os operadores durante toda a operação, assim como também suas taxas de ocupação. Os tempos de todos os processos como, inspeção, lavagem e embarque de máquinas, serão mantidos em todos os cenários analisados



Citação (APA): Fonseca Júnior, L.A., Camargo, G.H.V. & Santos, A.G. dos. (2019). Análise do layout do processo de embarques de máquinas agrícolas através da simulação computacional. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 36-52.

Para a construção do modelo de simulação computacional e desenvolvimento do estudo, foi utilizado o software Arena 15 na versão *student*, em virtude de maior domínio e facilidade do desenvolvedor do projeto. O *Input Analyzer*, software que acompanha a versão do Arena 15 foi necessário para identificar as curvas de distribuição de probabilidades dos tempos dos processos analisados. Foram coletados, os tempos de lavagem das máquinas, os tempos de inspeção visual das máquinas, o tempo médio utilizado para se embarcar uma máquina no caminhão estacionado na doca de embarque e também com o auxílio da planta baixa da área de embarques, foi possível rotear e medir as distâncias percorridas para as movimentações.

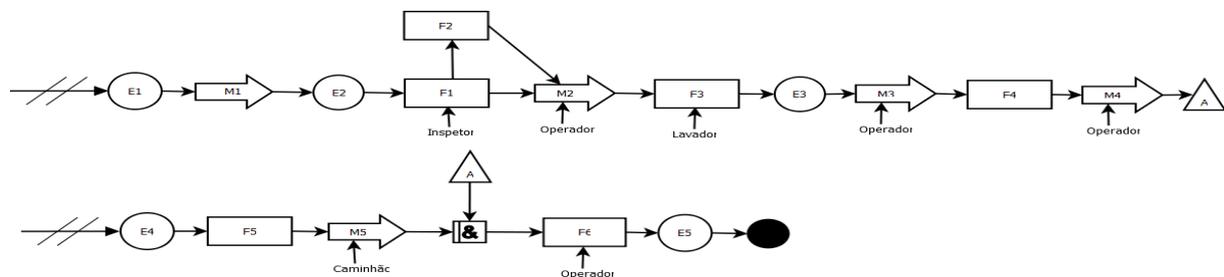
A execução do estudo de simulação teve início em julho de 2018 e sua finalização foi em novembro de 2018. Os tempos foram coletados pelo o desenvolvedor do projeto e também por colaboradores voluntários, tendo em vista o cumprimento dos prazos dispostos no trabalho e conseguir o maior número de amostras de cada processo.

Os dados do trabalho foram multiplicados por uma constante, com o objetivo de manter a confidencialidade das informações dispostas nesse trabalho.

#### 4.2 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

Utilizando a técnica de modelagem conceitual IDEF-SIM, apresentada na seção 2.4, (cuja os símbolos são apresentados de acordo com Leal, Almeida & Montevichi (2008) foi possível a construção do modelo conceitual do sistema estudado nesse trabalho, como pode ser visto na Figura 1. A partir desse modelo, pode-se identificar os dados a serem coletados para elaboração do modelo de simulação computacional.

Figura 1 – Modelo conceitual do projeto de simulação



Fonte: Dados da pesquisa

Na Tabela 1 encontra-se a legenda dos elementos utilizados no modelo conceitual do projeto de simulação ilustrado na Figura 4.

Tabela 1 – Legenda dos elementos do Modelo Conceitual

Entidades		Movimentação		Funções	
<b>E1</b>	Delivery	M1	AMS -> Estoque	F1	Inspeção
<b>E2</b>	Máquina Suja	M2	Estoque -> Lavador	F2	Retrabalho
<b>E3</b>	Máquina Limpa	M3	Lavador -> Separação	F3	Lavagem
<b>E4</b>	Prancha Vazia	M4	Separação -> Doca	F4	Armazenagem (Separação)
<b>E5</b>	Prancha Cheia (E3 + E4)	M5	Portaria -> Doca	F5	Liberação
				F6	Embarque

Fonte: Dados da pesquisa



Citação (APA): Fonseca Júnior, L.A., Camargo, G.H.V. & Santos, A.G. dos. (2019). Análise do layout do processo de embarques de máquinas agrícolas através da simulação computacional. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 36-52.

A entidade E1 entra no sistema através da liberação de faturamento da máquina, o operador recebe essa informação e se desloca do AMS, pequeno escritório onde se encontra os operadores, para o estoque. Essa movimentação é representada pelo o símbolo gráfico M1. No estoque, o operador localiza a entidade E2 (Máquina suja) e realiza uma pequena vistoria visual na máquina (F1). Com essa inspeção, visa-se detectar pequenas não conformidades antes do embarque, por exemplo, pneus com rachadura ou pontos onde a pintura já se desgastou. Caso encontra-se alguma não conformidade a máquina é enviada para serem retrabalhada (F2).

As máquinas aprovadas no processo de inspeção são movimentadas do estoque para o lavador (M2), onde além de serem lavadas é feito a aplicação de alguns produtos químicos que contribuem para a conservação da máquina durante o seu transporte (F3). Com a máquina limpa (E3), o operador movimenta a máquina para a área de separação (M3), nessa área as máquinas prontas para o embarque são armazenadas enquanto aguardam o seu transporte (F4).

Nesse momento, a entidade E4 entra no sistema representando o caminhão vazio no qual a máquina será transportada. O caminhão, aguarda sua liberação na portaria da empresa (F5), sendo verificado todos os documentos e autorizações para o transporte do produto. Após sua liberação o caminhão faz sua movimentação para a doca de embarque (M5), enquanto também o operador retira a máquina da área de separação e a movimenta também para a doca (M4).

Com o caminhão e máquinas na doca de embarque, com o auxílio de mais um operador, a máquina é colocada em cima da prancha do caminhão, com isso realizando a união das duas entidades E3 e E4, resulta na criação da entidade E5. Feito o embarque, o caminhão se dirige a portaria, saindo do sistema.

A partir do modelo conceitual, foi iniciada a cronometragem de tempos e a mensuração das distâncias de movimentação dos produtos durante o embarque. O processo de coleta de dados teve início no mês de setembro de 2018 e finalizou em outubro de 2018. Com os dados coletados pode-se encontrar as distribuições de probabilidades que compõe o sistema, permitindo a construção do modelo computacional com o auxílio do software Arena e também do software Minitab 17 para a manipulação e tratamento de dados.

#### 4.3 CONSTRUÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL

Com o auxílio do modelo conceitual apresentado na Figura 1, foi construído o modelo computacional do sistema no software Arena 15 na versão *student*. O modelo foi resumido e simplificado devido a restrições da versão utilizada, sendo uma das suas restrições a criação de apenas 150 entidades no modelo.

A Figura 2 define de maneira aleatória qual operador irá se movimentar para o estoque em busca da máquina selecionada. No modelo, as distâncias entre as posições das máquinas no estoque foram consolidadas em três grandes grupos, nomeados como: Posicao\_1, Posicao\_2 e



Citação (APA): Fonseca Júnior, L.A., Camargo, G.H.V. & Santos, A.G. dos. (2019). Análise do layout do processo de embarques de máquinas agrícolas através da simulação computacional. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 36-52.

Posicao\_3. Cada grupo, possui uma distância diferente em relação as outras estações do modelo.

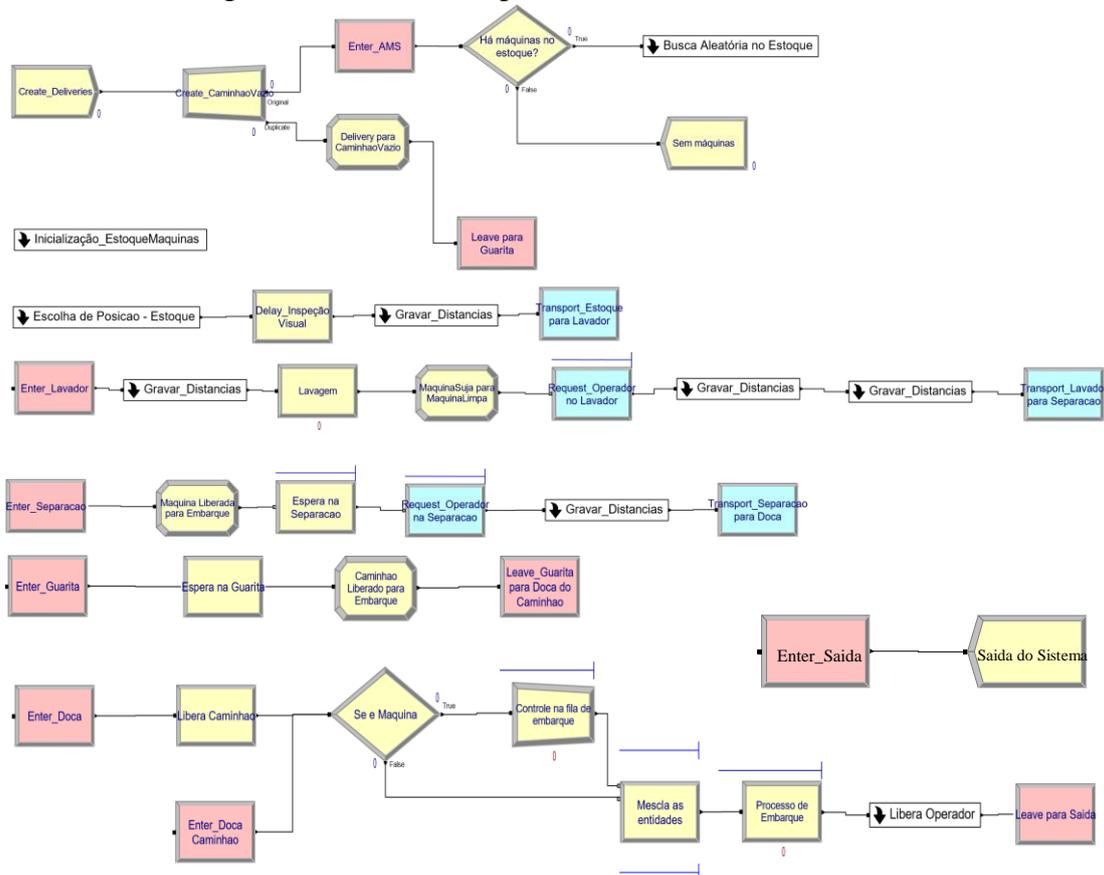
No modelo, considera-se as velocidades apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Velocidades de movimentação dos transportadores

Tipo	Velocidade (m/s)	Velocidade no Software (m/min)
A pé (Sem a máquina)	1,5	90
Dirigindo a máquina	2,8	166,7

Fonte: Dados da pesquisa

Figura 2 – Modelo computacional no software Arena 15.



Fonte: Dados da pesquisa

#### 4.4 VALIDAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL

De acordo com Chewif & Medina (2015), a fase de verificação e validação do modelo computacional é uma etapa importante dentro do processo de modelagem. Segundo os autores, não é possível garantir que o modelo computacional esteja representando fielmente o sistema real, porém há maneiras de aumentar sua confiabilidade e minimizar seus erros. Harrell, et al. (2012) indica que essa dificuldade é devida as aleatoriedades que impactam o sistema estudado.

Existem várias ferramentas e técnicas de verificação e validação do modelo computacional, entre elas estão: verificação entre o modelo conceitual e modelo computacional, utilização do



Citação (APA): Fonseca Júnior, L.A., Camargo, G.H.V. & Santos, A.G. dos. (2019). Análise do layout do processo de embarques de máquinas agrícolas através da simulação computacional. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 36-52.

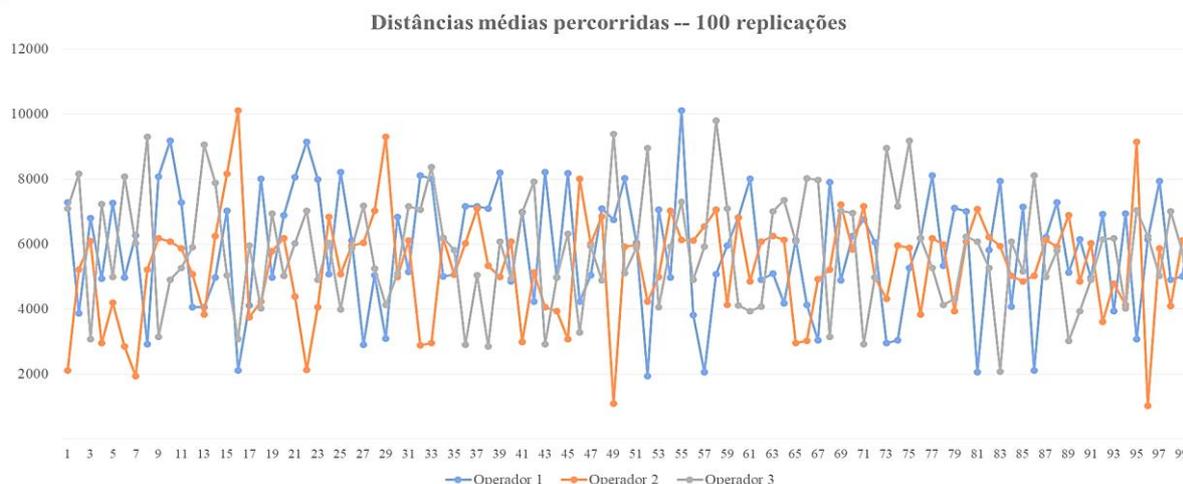
recurso de *debugging* do software e animação gráfica (Chewif & Medina, 2015). Tais técnicas consistem em assegurar a confiabilidade do modelo.

Dessa forma, o primeiro passo foi a verificação entre o modelo conceitual e o modelado no software Arena, foram analisados se todos fluxos e processos representados do modelo conceitual estavam alinhados com o modelo computacional. Após a verificação da compatibilidade entre os modelos, na etapa seguinte, utilizou-se o recurso de *debugging* do Arena. Nesta etapa é possível verificar se as lógicas utilizadas estão sendo executadas de maneira correta e também possibilita a correção de falhas na programação. Assim cada módulo foi verificado e certificado que as entradas de dados, equações e lógicas estão em pleno funcionamento. A última etapa utilizada para verificação do modelo computacional foi a construção das animações, onde proporciona a verificação visual dos fluxos de entidades, filas e estações. Durante essa etapa é possível perceber falhas na representação do modelo e corrigi-las.

Com a etapa de verificação concluída, a próxima etapa é a validação do modelo computacional. Tanto Chewif & Medina (2015) quanto Harrell, et al. (2012) apresentam diversas técnicas de validação, sendo a confrontação do modelo computacional com o sistema real a mais utilizada. No presente trabalho, o sistema real já possui um estudo realizado pela própria fábrica sobre o processo modelo. Nesse estudo foi concluído que os operadores gastam cerca 3 meses do tempo em um período de um ano em movimentação, isso representa em cerca de 25% do dia de trabalho dos operadores. Esse número pode ser traduzido para a taxa de ocupação dos operadores no modelo computacional, sendo assim o cenário atual apresentou a taxa de ocupação de cerca de 23,77% após 451 replicações. Portanto, o número estatisticamente está próximo do realizado no sistema atual.

Outro ponto importante nesse estudo, foi que todos operadores percorrem em média a mesma distância durante o processo. Com a finalidade de certificar se os operadores do modelo computacional possuem o mesmo comportamento, as distâncias percorridas pelo os mesmos foram coletados e representados na Figura 3.

Figura 3 – Médias das distâncias percorridas pelos operadores no modelo computacional



Fonte: Dados da pesquisa



Citação (APA): Fonseca Júnior, L.A., Camargo, G.H.V. & Santos, A.G. dos. (2019). Análise do layout do processo de embarques de máquinas agrícolas através da simulação computacional. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 36-52.

A fim de determinar se as médias são iguais, uma análise de variância entre as médias foi realizada e com o auxílio do Minitab, obteve-se o *p-value* de 0,064, dessa forma, pode-se aceitar a hipótese nula e concluir que as médias dos operadores são iguais, convergindo ao exposto no sistema real.

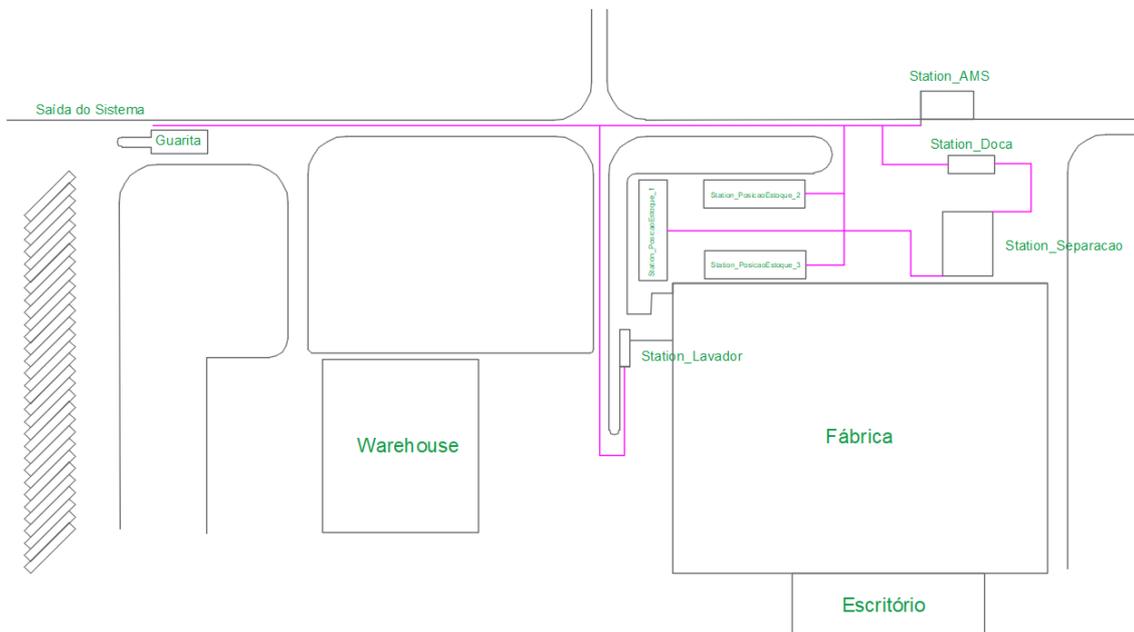
#### 4.5 CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Para o estudo do sistema, analisou-se 3 diferentes cenários. Em cada cenário estudado, são simulados 8,4 horas de forma a corresponder ao horário de funcionamento da fábrica para o embarque de máquinas.

O primeiro cenário corresponde ao sistema real. Este cenário foi verificado e validado na seção 4.4, estando apto para basear os experimentos no mesmo. O objetivo desse cenário é analisar a capacidade de movimentação dos operadores dentro do layout atual da fábrica, verificando sua taxa de ocupação e distância média percorrida por cada operador durante todo período de trabalho dos mesmos.

O layout atual da fábrica é apresentado na Figura 4, que representa cada local simulado, desde o AMS (local que funciona como escritório para os funcionários) até a Guarita (local onde as entidades saem do sistema). As linhas rosas, representam uma simplificação das alternativas de percursos que o operador pode-se movimentar.

Figura 4 – Cenário atual do sistema estudado



Fonte: Dados da pesquisa

As variáveis que sofrerão alterações nos três cenários estudados correspondem as distâncias entre os locais. Os dados referentes a tempos de processos e entrada das deliveries serão mantidos em todos os cenários.

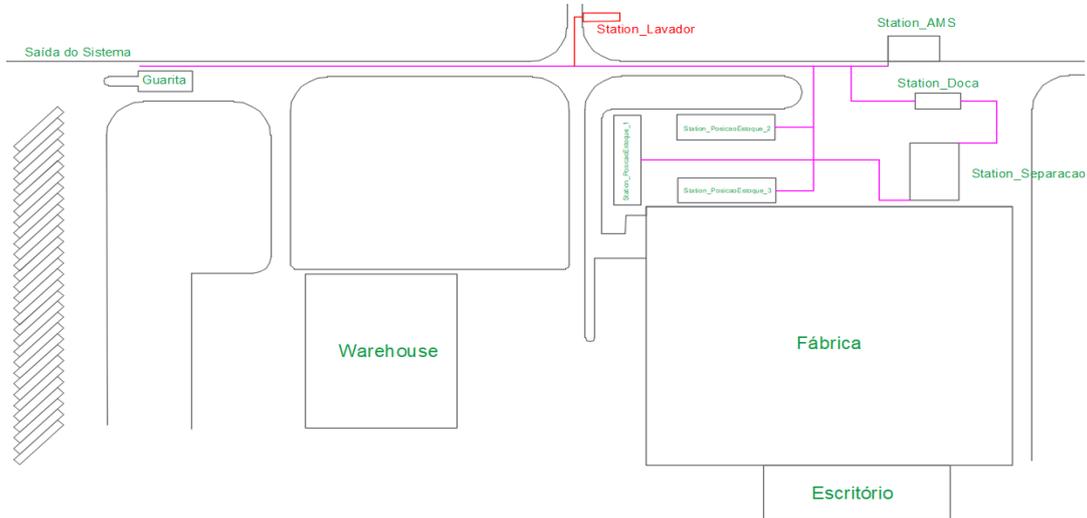
O segundo cenário, identificado nesse estudo como Cenário II, apresenta apenas uma diferença em relação ao Cenário atual. Visto que o Lavador é o local de maior distância e



Citação (APA): Fonseca Júnior, L.A., Camargo, G.H.V. & Santos, A.G. dos. (2019). Análise do layout do processo de embarques de máquinas agrícolas através da simulação computacional. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 36-52.

possui a obrigatoriedade do operador se movimentar até o mesmo, foi movido para uma posição intermediária dentro do sistema. Na Figura 5, pode-se observar a nova disposição dos locais no cenário analisado, em destaque a nova posição do Lavador.

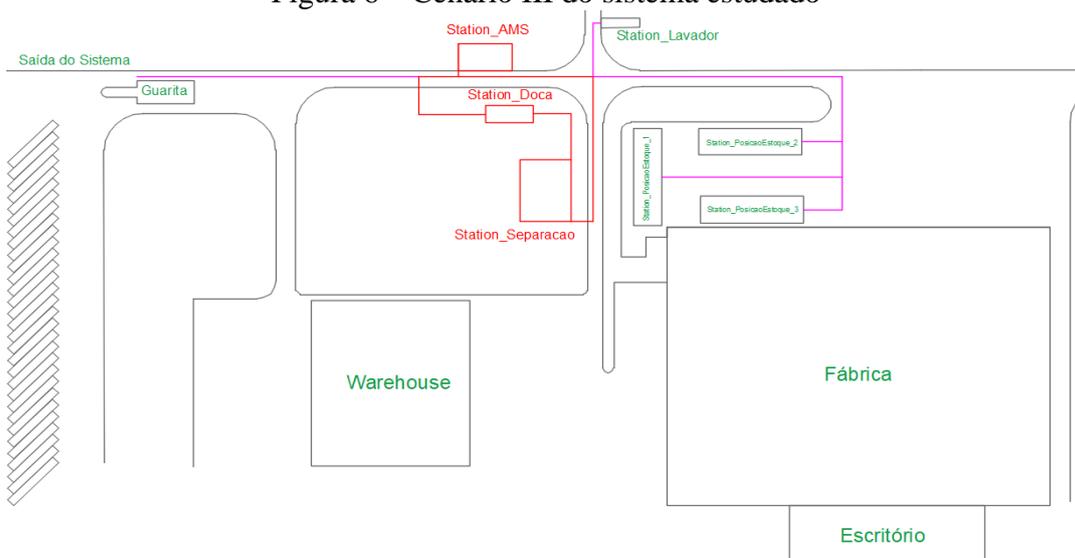
Figura 5 – Cenário II do sistema estudado



Fonte: Dados da pesquisa

O terceiro cenário, identificado como Cenário III, apresenta uma disposição que se difere dos demais. Neste cenário, movimentou-se os locais AMS, Separação e Doca para mais próximo da saída do sistema. Neste cenário, além de aproximar a movimentação de máquinas dos locais com maior distância do Cenário Atual ele também disponibiliza mais espaço na parte lateral da fábrica, possibilitaria uma futura expansão da planta fabril. A Figura 6 apresenta a disposição do Cenário III estudado, em destaque as novas posições dos locais AMS, Doca e Separação.

Figura 6 – Cenário III do sistema estudado



Fonte: Dados da pesquisa



Citação (APA): Fonseca Júnior, L.A., Camargo, G.H.V. & Santos, A.G. dos. (2019). Análise do layout do processo de embarques de máquinas agrícolas através da simulação computacional. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 36-52.

O número de replicações de cada cenário foi determinado seguindo a abordagem recomendada por Law & Kelton (2000), baseada nos valores de *half-width*. Tal valor é interpretado como a que confiança de 95% das replicações, a média amostral obtida estaria dentro de um intervalo da média mais ou menos o valor do *half-width*.

Essa abordagem assume que a variância da população não irá se alterar com o aumento do número das replicações. Dessa forma, para a obter um *half-width* desejado de 5% da média obtida, utiliza-se a seguinte equação (Law & Kelton, 2000):

$$n \cong n^* \frac{h^*{}^2}{h^2} \quad (1)$$

Onde o  $n^*$  e  $h^*$  referem-se respectivamente ao número inicial de replicações e ao *half-width* associado. Já  $h$  refere-se ao *half-width* desejado e  $n$  é o número necessário de replicações.

Com base nesse cálculo, foi necessárias 451 replicações no Cenário Atual, 440 para o Cenário II e 476 replicações para o Cenário III. De tal maneira que esse número atenderia todas as variáveis envolvidas na análise, possibilitando uma precisão satisfatória na análise dos dados.

Para o Cenário Atual, os relatórios demonstram que, em média, foram criadas 18 *deliveries*, com o mínimo de 14 e o máximo de 24.

Realizando os experimentos para o Cenário II, os relatórios demonstram que, em média, entraram no sistema 18 *deliveries*, com o mínimo de 14 e o máximo de 26.

Por fim, no Cenário III, as entidades apresentaram resultado similar aos outros cenários deste estudo. Havendo em média, 18 *deliveries* criadas no sistema com variação entre 14 e 24 *deliveries*. Os recursos em todos cenários, obtiveram a mesma taxa de utilização (Tabela 3).

Tabela 3 – Resultado dos Recursos no Cenário III

Relatório	Recursos	Média	Half-Width	Mínimo	Máximo
Taxa de utilização	Lavador	0,58	< 0,01	0,47	0,78
	Operador_Embarque	0,19	< 0,00	0,14	0,26

Fonte: Dados da pesquisa

Com os resultados de todos os cenários, pode-se então analisar cada cenário e compará-los. Os relatórios das entidades e recursos em todos cenários apresentaram resultados similares, tal resultado já era previsto, pois não foram alterados os parâmetros de entrada das entidades e distribuições de probabilidades dos recursos. Leva-se em consideração que, as operações de lavagem, embarque ou programação de embarque de máquinas não são afetadas pela a localidade das instalações.

Em contrapartida, tanto a taxa de utilização quanto as distâncias percorridas sofreram variações. Dessa forma, com os relatórios dos cenários pode-se analisar a utilização do transportador em cada arranjo físico dos locais sugeridos. Na Tabela 4 os dados referentes aos transportadores são organizados para uma fácil visualização.



Citação (APA): Fonseca Júnior, L.A., Camargo, G.H.V. & Santos, A.G. dos. (2019). Análise do layout do processo de embarques de máquinas agrícolas através da simulação computacional. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 36-52.

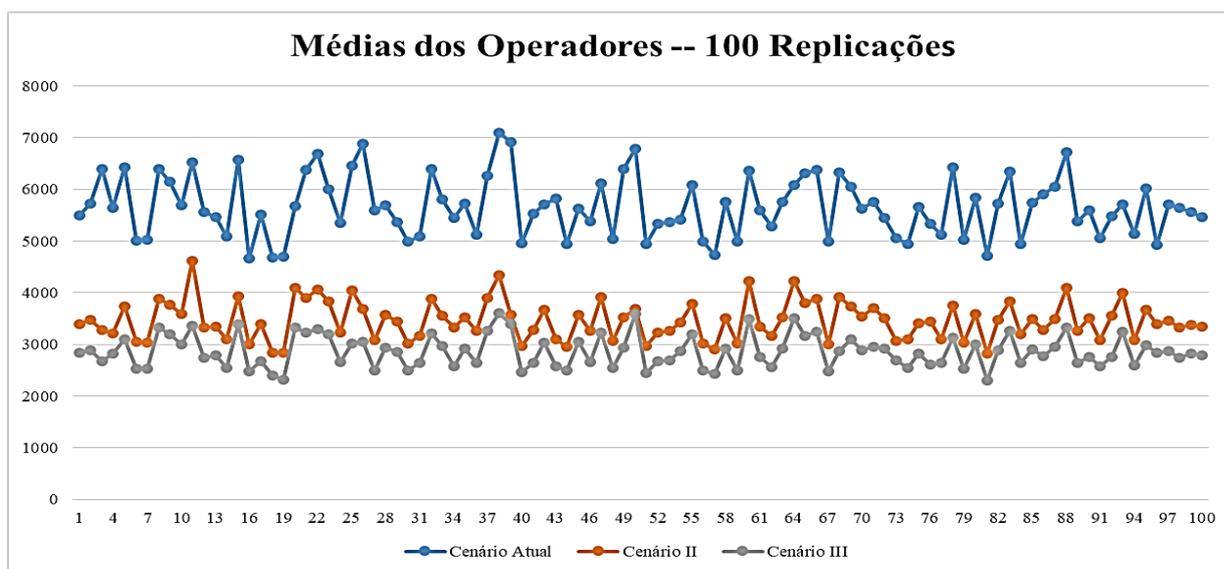
Tabela 4 – Resumo dos resultados dos Transportadores em cada cenário

Resultado		Cenário Atual		Cenário II		Cenário III	
		Média	Half-Width	Média	Half-Width	Média	Half-Width
<b>Taxa de utilização</b>	Operador	0,24	< 0,00	0,20	< 0,00	0,19	< 0,00
<b>Distâncias percorridas (metros)</b>	Operador 1	5668,48	153,79	3479,03	99,17	2865,71	86,82
	Operador 2	5560,72	158,28	3363,51	105,06	2784,33	86,95
	Operador 3	5634,39	162,72	3472,83	101,70	2852,73	88,10

Fonte: Dados da pesquisa

Pode-se observar que, houve uma nítida diferença entre as taxas de utilização dos transportadores, com um ganho percentual de 4% do Cenário Atual para o Cenário II e 1% do Cenário II para Cenário III. Nota-se que, quanto menor for a utilização dos operadores na movimentação dos produtos, maior o tempo disponível para a dedicação das atividades de agregam valor. Na Figura 7, são apresentadas as médias das distâncias percorridas pelo os operadores em cada cenário.

Figura 7 – Médias das distâncias percorridas pelo os operadores



Fonte: Dados da pesquisa

Pode-se observar que, as médias entre os operadores em cada cenário foram descoladas e com o auxílio do Minitab, foi realizada uma análise de variância entre essas médias com o objetivo de comprovar estatisticamente que as mesmas são diferentes. Portanto, com o *p-value* de 0,000, a hipótese nula é rejeitada, justificando o comportamento das medias do gráfico. Na Figura 7, é possível notar que há uma redução significativa entre o Cenário Atual e o Cenário II. Em média, as distâncias percorridas pelos os operadores apresentaram uma redução cerca 38% do Cenário Atual para o Cenário II e 17% do Cenário II para o Cenário III.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste trabalho demonstra a capacidade da utilização da Simulação Computacional como uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão. Assim como apresentado na seção 2.3 que a simulação pode servir como ferramenta útil de previsão da funcionalidade de um sistema, com a mínima utilização de recursos, como tempo, custo e pessoas.

Utilizando as ferramentas da Simulação Computacional, foi possível analisar a movimentação dos operadores no processo de embarque da fábrica de equipamentos agrícolas, tanto na disposição de arranjo físico atual quanto em cenários hipotéticos. Dessa forma, pode-se comparar vários cenários e verificar os impactos de alterações no arranjo físico atual, utilizando como variável principal a distância percorrida pelo os operadores.

A partir de um estudo anterior a esse trabalho, constatou que os operadores em um período de ano, 3 meses do seu tempo era dedicado as movimentações de produtos dentro da planta da fábrica. Isso equivale a cerca de 25% do tempo dos mesmos em movimentação, atividade que não agrega valor ao processo.

O Cenário Atual construído no software Arena, atingiu a taxa de utilização do operador de 24%, condizendo com o processo atual. As médias das distâncias percorridas pelo os operadores ficaram entre 5560 à 5568 metros em média. Com isso, foi proposto a alteração do local do Lavador para uma posição mais próximas aos demais locais, resultando assim o Cenário II. No Cenário II, a taxa de utilização do operador diminuiu para 20% e as médias das distâncias percorridas diminuíram 38%, uma melhoria significativa em relação ao Cenário Atual. Um terceiro cenário foi sugerido, no qual se manteve a posição do Lavador proposto no Cenário II com a alteração da Doca, da área de Separação e do AMS. Assim, o Cenário III obteve a taxa de utilização 19% com as médias das distâncias percorridas apresentaram-se 17% menor.

Com base nos resultados obtidos através do estudo de Simulação Computacional, demonstram que a alteração do local do Lavador refletirá com o decréscimo de 4% do tempo de movimentação e redução de 38% na distância percorrida pelos operadores. E também as posições da Doca, da área de Separação e AMS, ajudariam na diminuição da taxa de utilização, mas com um menor peso em relação a posição do Lavador. A proposta de melhoria sugerida a esse processo é a alteração do local do Lavador para mais próximo as operações e locais de embarque, ou seja, o Cenário II, pois foi o que teve mais influência no sistema. As alterações sugeridas no Cenário III não influenciou tanto como a do Cenário II, por isso, em termos de prioridade, a mudança do local do Lavador se torna mais relevante.

Visando a continuação desse estudo em pesquisas futuras, sugere-se estudos voltados aos processos realizados dentro do processo de embarque que não foram englobados dentro do escopo deste trabalho, são eles: a análise ao longo da semana de trabalho, o embarque da máquina na prancha do caminhão, processo de lavagem, gerenciamento do estoque, etc.



Citação (APA): Fonseca Júnior, L.A., Camargo, G.H.V. & Santos, A.G. dos. (2019). Análise do layout do processo de embarques de máquinas agrícolas através da simulação computacional. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 36-52.

## REFERÊNCIAS

- Ballou, R.H. (1993). *Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física*. São Paulo: Atlas.
- Banks, J. (2000). Introduction to simulation. In: *The 2000 Winter Simulation Conference*, Orlando. Proceedings... Orlando: WSC.
- Barcelos Junior, H. (2002). *O papel da logística na cadeia produtiva: um estudo de caso*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, SC.
- Bowersox, D.J. & Closs, D. J. (2008). *Logística empresarial: o processo da integração da cadeia de suprimentos*. São Paulo: Altas.
- Carvalho, L.S. (2003). Modelagem e Simulação: Poderosa Ferramenta para a Otimização de Operações Logísticas. *Bahia Análise & dados*.13(2), 267-274.
- Ceciliano, W.R.A. (2007). *Aplicação de um método de simulação-otimização na cadeia produtiva de minérios de ferro*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Logísticos) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- Chiavenato, I. (1991). *Iniciando à administração de materiais*. São Paulo: MacGraw-Hill.
- Chwif, L. & Medina, A.C. (2015). *Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações*. 4ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier.
- Freitas Filho, P.J. (2008). *Introdução à modelagem e simulação de sistemas*. 2ª ed. Florianópolis: Visual Books.
- Gavira, M.O. (2003). *Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos, SP.
- Harrell, C., Ghosh, B.K & Bowden, R.O. (2012). *Simulation using ProModel*. 3ª ed. Nova Iorque: MacGraw Hill, 2012.
- Instituto de Logística e Supply Chain. (2017). *Custos Logísticos No Brasil*. Retrieved Maio, 25, 2017 from <http://www.ilos.com.br/web/analise-de-mercado/relatorios-de-pesquisa/custos-logisticos-no-brasil/>
- Kikolski, M. (2017). Study of Production Scenarios with the Use of Simulation Models. *Procedia Engineering*. 182, 321-328.
- Law, A.M. & Kelton, W.D. (2000). *Simulation Modelling & Analysis*. 3ªed. Nova Iorque: McGraw-Hill Books.
- Lee, Q. (1998). *Projeto de instalações e do local de trabalho*. São Paulo: IMAM.
- Lopes, R.B. (2016). *Mapeamento dos processos e simulação de um terminal regulador de contêiner*. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Transportes e Logística) – Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, SC.
- Marconi, M.A.; Lakatos, E.M. (2012). *Metodologia do Trabalho Científico*. 7ª ed. São Paulo: Atlas.



Citação (APA): Fonseca Júnior, L.A., Camargo, G.H.V. & Santos, A.G. dos. (2019). Análise do layout do processo de embarques de máquinas agrícolas através da simulação computacional. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 36-52.

Martins, P.G.; Laugeni, F.P. (2006). *Administração da produção*. 2ª ed. São Paulo: Saraiva.

Mchaney, R. (2009). *Understading Computer Simulation*. 1ªed. Bookboon.

Miyagi, P.E. (2006). *Introdução a Simulação Discreta*. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Moura, R.A. (2005). *Sistemas e técnicas de movimentação e armazenagem de materiais*. 5ªed. São Pualo: IMAM.

Novaes, A.G. (2007). *Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação*. 3ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier.

Pastore, P., Guimarães, A.M.C. & Diallo, M. (2010). Simulação computacional aplicada à logística de distribuição de uniformes da Marinha do Brasil. In: *XXX Encontro Nacional De Engenharia De Produção*, 2010, São Carlos. Anais... São Carlos: Abepro.

Prado, D.S. (2010). *Usando o Arena em simulação*. 4ª ed. Belo Horizonte: INDG Tecnologia e Serviços LTDA.

Robinson, S. (2004) *Simulation: The practice of model developmente and use*. 1ª ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.

Sakurada, N. & Miyake, D.I. (2009). Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços. *Gestão e Produção*. v.16, n.1, p. 25-43.

Santos, J.A.A. & Grander, G. (2012) Análise e simulação do sistema de estocagem de uma indústria moveleira: um estudo de caso. *Fasci-tech*, 1(6), 64-76.

Silva, E.L. & Menezes, E.M. (2005). *Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação*. 4ª ed. Florianópolis: UFSC.

Womack, J.P; Jones, D.T. (2006). *Soluções Enxutas: como empresas e clientes conseguem juntos criar valor e riqueza*. Rio de Janeiro: Elsevier.

