

A UTILIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL EM UMA DE LINHA DE MONTAGEM DE CARRETAS DO MODELO SIDER

¹Luiz Henrique Mendes Gimenez; ¹henrique96@hotmail.com; ¹Universidade de Araraquara;
²Natalia Caetano; ²natcae@hotmail.com; ²Universidade de Araraquara;

RESUMO: *Este trabalho usa simulação computacional e o seu ambiente de estudo é uma linha de montagem de carretas de modelo sider em uma empresa de grande porte, localizada no interior do estado de São Paulo – SP. O objetivo é desenvolver um estudo que otimiza a utilização dos recursos disponíveis na linha de montagem, resultando em um aumento da produção diária. A análise desse sistema justifica-se pela dificuldade encontrada para atingir o volume de produção pré-estabelecido pela empresa com capacidade de 5 produtos/dia. O presente artigo trata-se de um estudo de caso exploratório, o qual inicialmente é realizado um estudo sobre os processos utilizados na fabricação da carreta, que posteriormente tem como base a construção do modelo conceitual. Em seguida, todas as caracterizações de processos são replicadas em um modelo operacional construído por meio do software Promodel®. O cenário atual do sistema é a partir do resultado proposto por simulação de dois novos cenários, buscando otimizar o sistema atual. Os resultados obtidos apresentam que é possível aumentar a produção diária em 8,6%, com os mesmos recursos disponíveis na empresa.*

PALAVRAS-CHAVE: *Pesquisa Operacional; Simulação Computacional; Modelagem, Promodel.*

ABSTRACT: *This work uses computer simulation and the study environment is a sider model truck assembly line of a large company located in the interior of the state of São Paulo. The objective is to develop a study that aims to improve the utilization of available resources in the assembly line, resulting in an increase of daily production. The analysis of this system is justified by the difficulty found to reach the production volume pre-established by the company of 5 products/day. This article is an exploratory case study, in which initially a study was made of the processes used in the manufacture of the trailer, which was later used as a basis for the construction of the conceptual model. Then, all process characterizations were replicated in an operational model built using Promodel®. The current system scenario was analyzed and from the results it was proposed to simulate two new scenarios, seeking to optimize the current system. The results show that it is possible to increase daily production by 8,6% using the resources already available in the company.*

KEYWORDS: *Operational Research; Computer Simulation; Modeling; Promodel.*

1. Introdução

Compreender o funcionamento de uma linha de produção, identificar falhas e apontar melhorias é uma tarefa praticamente impossível somente através da observação; a fim de facilitar essas tarefas, os gerentes de produção vêm desenvolvendo modelos aproximados da realidade, com auxílio de softwares específicos, que possibilitam analisar e simular o desempenho do processo produtivo (LOBATO *et al.*, 2018).

O uso da simulação tem se tornado cada vez mais recorrente, visto que possibilita a execução de diversos cenários sem custos desnecessários. Por exemplo, cursos de mudanças físicas; a partir da análise destes cenários é possível obter uma melhor visualização dos processos e facilidade para tomada de decisões (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

A simulação computacional realiza testes sobre a ferramenta e não sobre o sistema real. Isso permite que os gestores tenham um conhecimento detalhado a respeito do problema a ser resolvido e quais as possíveis soluções para o mesmo. As mudanças no sistema real são implementadas por meio de diversos testes e análises dos resultados obtidos pela simulação (SEVEN, 2013).

O presente estudo emprega um software de simulação computacional para modelar uma linha de montagem de carretas de uma empresa de grande porte localizada no interior de São Paulo - SP. O principal objetivo é identificar a melhor forma de otimizar os recursos existentes nos processos operacionais. Analogamente, ocorre o aumento da capacidade produtiva diária.

A metodologia do trabalho é segmentada em 2 etapas: i) a primeira trata-se de uma revisão da literatura a respeito do tema e; ii) a segunda sobre a coleta de dados. Em seguida, os dados são analisados para realizar a simulação computacional. Consequentemente, são apresentados dois novos cenários para a obtenção dos resultados obtidos, com o propósito de otimizar a capacidade de produção da organização. Por fim são realizadas as conclusões dos resultados.

O artigo está decomposto em cinco seções e as referências utilizadas. A primeira seção trata-se da introdução, em que são abordados temas relacionados à simulação computacional. Na segunda seção é desenvolvida a revisão da literatura sobre: modelagem e simulação computacional e software ProModel®. Em seguida, tem-se a descrição do método de pesquisa. A seção quatro demonstra os resultados obtidos e as propostas de melhorias e, por fim, na seção cinco são apresentadas as conclusões.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Modelagem e Simulação computacional

Harrel, Ghosh e Bowden (2004) afirmam que a simulação é uma ferramenta da área de pesquisa operacional que possibilita a imitação de um sistema real, com o auxílio de um modelo computacional. Seu objetivo é de avaliar e melhorar o desempenho do sistema e adquirir melhores resultados, ou seja, a simulação é a importação da realidade para um ambiente controlado, em que observa-se e estuda o comportamento desse sistema, sob diversas condições, sem oferecer altos custos e/ou riscos físicos (MONTEVECHI *et al.*, 2007).

Andrade (2009) destaca alguns benefícios do uso da simulação como: i) previsão de resultados na execução de uma determinada ação; ii) redução de riscos nas tomadas de decisões; iii) identificação de problemas antes que eles ocorram; iv) eliminação de procedimentos em arranjos industriais que não agregam valor à produção e; v) revelação da integridade e viabilidade de um determinado projeto em termos técnicos e econômicos.

Segundo Chwif e Medina (2015), o desenvolvimento de um modelo de simulação é composto por três grandes etapas. Entre elas destacam-se: a concepção ou formulação do modelo, implementação do modelo e análise dos resultados obtidos.

Na fase de concepção é definido o problema a ser estudado, os objetivos desse sistema e onde o estudo vai ser aplicado. Durante essa fase também é realizada a coleta de dados, para que o modelo seja construído a partir dos dados obtidos. Por fim, é desenvolvido um modelo conceitual e validado, afim de assegurar que o modelo retrate o cenário real.

Na fase de implementação, o modelo conceitual é submetido a um simulador computacional. Em seguida, o modelo de simulação computacional é comparado com o modelo conceitual e, se necessário, são realizados ajustes para que esteja o mais próximo possível da realidade. Posteriormente, é realizada a validação do modelo computacional, por meio de testes, em que comparam os dados obtidos com o comportamento do sistema real.

Na fase de análise, o modelo de simulação é submetido a experimentos, dando origem ao modelo experimental. Este modelo é emulado e testado por diversas vezes e seus resultados são analisados. Se o resultado não for satisfatório, é possível realizar alterações no modelo até que se alcance o objetivo estabelecido.

2.2 Software ProModel

O ProModel é um software utilizado para projetar, planejar ou melhorar processos já realizados, afim de tomar decisões a partir de um modelo de simulação. Assim é permitido formular a reprodução de processos reais, incorporando variáveis interdependentes que possibilitam absorver análises e mudanças, com o objetivo de obter a otimização do sistema (ALVES; PAULISTA, 2017).

Para Bateman *et al.* (2013), o software ProModel destaca-se entre os demais softwares, pois oferece um ambiente de simulação direcionado por menus, não necessita de uma linguagem

de programação, possui uma ferramenta de apoio a tomadas de decisões, que auxilia no delineamento de experimentos estatísticos, além de automatizar o processo por soluções ótimas e/ou viáveis, permitindo a simulação de múltiplos experimentos em uma única saída de dados.

Harrel *et al.* (2002) mencionam que os principais elementos do Promodel são:

- **LOCAIS:** são os elementos ou máquinas que ocorrem as operações. São definidas as capacidades de cada unidade e as regras de atendimento;
- **ENTIDADES:** são os elementos móveis que sofrem as transformações ao longo do processo;
- **RECURSOS:** são os elementos necessários para a operação das entidades. Por meio de recursos, os quais são definidas características como: velocidade do recurso, regra de atendimento, tempo de coleta e tempo de descarregamento;
- **CHEGADAS:** é a forma como as entidades chegam ao sistema e os elementos são definidos como parâmetros. Por exemplo: local de chegada da entidade no sistema, quantidade, frequência e distribuição de probabilidade;
- **PROCESSOS:** são operações realizadas no sistema. As operações definem as interligações entre locais, tempos de operação, recursos necessários, lógica de movimentação, roteamentos de entidades, entre outras.

3. Método da pesquisa

Esta pesquisa foi caracterizada como um estudo de caso, pois segundo Miguel (2007) este tipo de pesquisa consistiu na coleta e análise de informações, buscando um aumento da compreensão e do entendimento sobre os eventos reais. Em relação à sua natureza, foi classificada como aplicada, pois de acordo com Zanella (2009), uma pesquisa aplicada teve como motivação a solução de problemas concretos, práticos e operacionais.

De acordo com os objetivos, o artigo foi classificado como exploratório. Selltiz, Jahoda e Deutsch (1974) afirmaram que as pesquisas exploratórias exploravam ideias e soluções na tentativa de adquirir maior familiaridade com o problema.

Para atingir o objetivo proposto, utilizou-se como base a metodologia apresentada por Montevechi *et al.* (2007), que segue três etapas principais: concepção (modelo conceitual),

implementação (modelo computacional) e análise dos resultados. A Figura 1 apresentou detalhadamente as etapas propostas pelo autor.

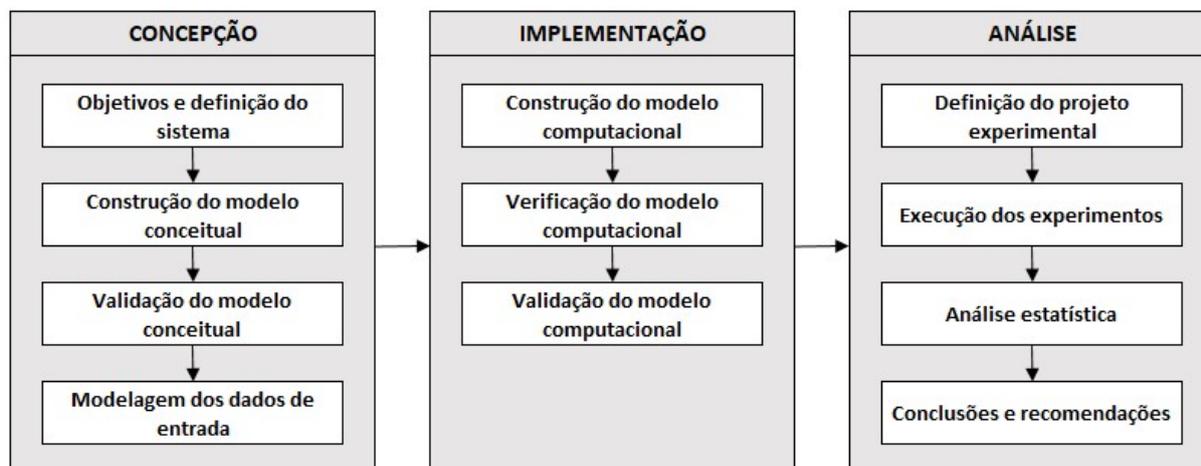


FIGURA 1 – Metodologia de condução da pesquisa. Fonte: Adaptado de Montevechi *et al.* (2007).

4. Análise dos dados e Resultados

A análise dos dados teve como objeto de estudo a linha de montagem de carretas do modelo Sider. Esta linha é dividida em seis *box*: i) montagem das espinhas; ii) montagem das asas; iii) montagem do painel frontal e quadro traseiro; iv) montagem do teto; v) montagem das lonas e; vi) montagem dos pneus. A capacidade de cada *box* é de 1 produto.

O *box* 1 foi abastecido com o chassi e as espinhas para realizar a montagem, realizada por 3 montadores. Após a montagem, o produto prosseguiu para o *box* 2, em que 3 montadores fizeram a montagem das asas. Em seguida, o produto foi encaminhado para o *box* 3, onde é realizada a montagem do painel frontal e do quadro traseiro por 4 montadores. O produto seguiu para o *box* 4, em que 4 montadores executaram a montagem do teto. Posteriormente, o produto foi direcionado para o pátio, onde aguardou até o *box* 5 estar disponível. No *box* 5, 2 montadores estavam responsáveis pela montagem das lonas laterais, e por fim, o produto foi enviado para o *box* 6. Por fim, três borracheiros ficaram responsáveis pela montagem dos pneus. Os montadores tinham conhecimento apenas das montagens realizadas no *box* em que trabalhavam, não sendo possível desloca-los para outro *box* quando terminassem suas atividades.

O objetivo da modelagem foi definido como melhorar a utilização dos recursos da empresa, visando o aumento da produção diária. Esta linha foi escolhida por não conseguir atingir a

produção pré-estabelecida pela empresa de 5 produtos/dia. Devido a limitações financeiras, a empresa não autorizou a contratação de recursos adicionais para resolver este problema, portanto, observou-se a necessidade de estudar como foram utilizados os recursos disponíveis no sistema atual.

4.1 Coleta de dados, construção e validação do modelo conceitual

Foram coletados os tempos de montagem de cada *box* no período de 10 dias de produção, totalizando 90h. Os dados coletados foram apresentados no apêndice.

Para todos os tempos de montagem, procedeu-se uma análise de ajuste de distribuição utilizando o software StatFit® v.2 (Promodel). Pelos testes Chi-Quadrado, Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov não se pode rejeitar a hipótese de uma distribuição normal.

A Tabela 1 apresentou o detalhamento das operações do processo de montagem da carreta.

TABELA 1 – Detalhamento das operações do processo de montagem da carreta

Operação	Recurso utilizado	Quantidade	Tempo processo (min)	Tipo de distribuição	Próxima operação
01. Montagem das Espinhas	Montador Box 1	3	Média: 75 min Desvio-padrão: 6 min	Normal	02
02. Montagem das Asas	Montador Box 2	3	Média: 93 min Desvio-padrão: 6 min	Normal	03
03. Montagem do Painel/Quadro	Montador Box 3	4	Média: 96 min Desvio-padrão: 5 min	Normal	04
04. Montagem do Teto	Montador Box 4	4	Média: 84 min Desvio-padrão: 6 min	Normal	05
05. Montagem das Lonas	Montador Box 5	2	Média: 110 min Desvio-padrão: 9 min	Normal	06
06. Montagem dos Pneus	Borracheiro	3	Média: 121 min Desvio-padrão: 8 min	Normal	-

FONTE: OS AUTORES.

A Figura 2 ilustrou o fluxo de produção, representado como modelo conceitual. Tal diagrama representou o processo de fabricação da carreta Sider.

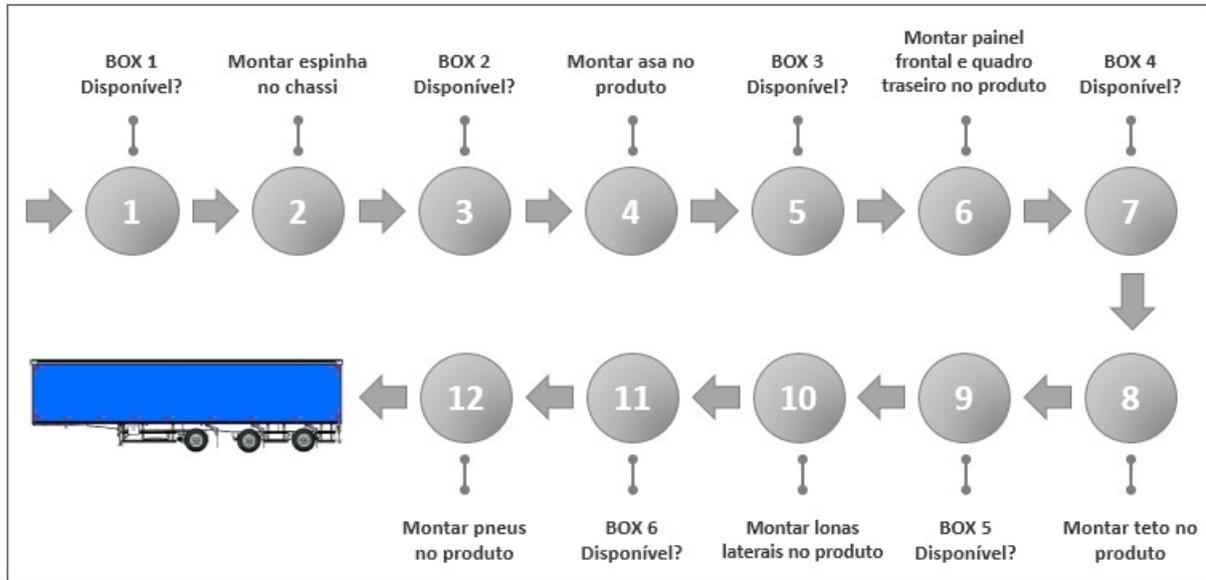


FIGURA 2 – Fluxo de produção da carreta sider. Fonte: OS AUTORES.

A validação do modelo conceitual foi realizada face a face com o engenheiro industrial da empresa, indicando que o modelo representava a realidade e poderia embasar a modelagem computacional.

4.2 Construção, verificação e validação do modelo computacional

Para construção do modelo computacional utilizou-se o software ProModel® versão 8.62, considerando sua grande aceitação e uso em projetos de simulação. A seguir foram apresentadas as entidades, os locais, os recursos e as chegadas do modelo.

Ao todo foram nove diferentes entidades dentro do processo de produção das carretas: chassi, espinha, asa, quadro, teto, lona, pneu, montagem produto e produto finalizado.

O modelo utilizou 14 locais, sendo eles: *box* 1, 2, 3, 4, 5 e 6, todos com capacidade 1; Pallet espinha, asa, quadro, teto, lona e pneu, sendo todos com capacidade 1, exceto o pallet de lona que possui capacidade 2 e o de pneu com capacidade 13; pátio com capacidade 300, e por fim, entrada do chassi com capacidade 1.

Existem 6 recursos disponíveis: montador *box* 1, montador *box* 2 e borracheiro com capacidade 3; montador *box* 3 e montador *box* 4 com capacidade 4; montador *box* 5 com capacidade 2.

As entidades chassi, espinha, asa, quadro e teto chegaram uma por vez quando foram

solicitadas pelos montadores. As lonas chegaram duas por vez e os pneus 13 por vez – quando solicitados.

A simulação representou 10 dias de operação da linha de montagem. Assim, o tempo de simulação foi definido como 90 horas. O tempo de aquecimento da simulação é de 9h:40min – tempo médio para que os boxes estivessem em operação – visto que no início do turno os boxes foram abastecidos com produtos.

Como há variáveis aleatórias (tempo de operações), foram feitas 50 replicações para obtenção dos indicadores de desempenho médios, dentro de intervalos de confianças satisfatórios.

4.3 Análise do modelo atual

Após as 50 replicações de 90 horas, os indicadores de desempenho do sistema atual foram apresentados na Tabela 2 e na Figura 3.

TABELA 2 – Indicadores de produção do cenário atual

Produção média diária (carretas/dia)	Intervalo de confiança 99,9%	Tempo médio no sistema (hr)	Tempo médio de operação (hr)
4,43	4,39 - 4,46	19,42	9,65

FONTE: OS AUTORES.

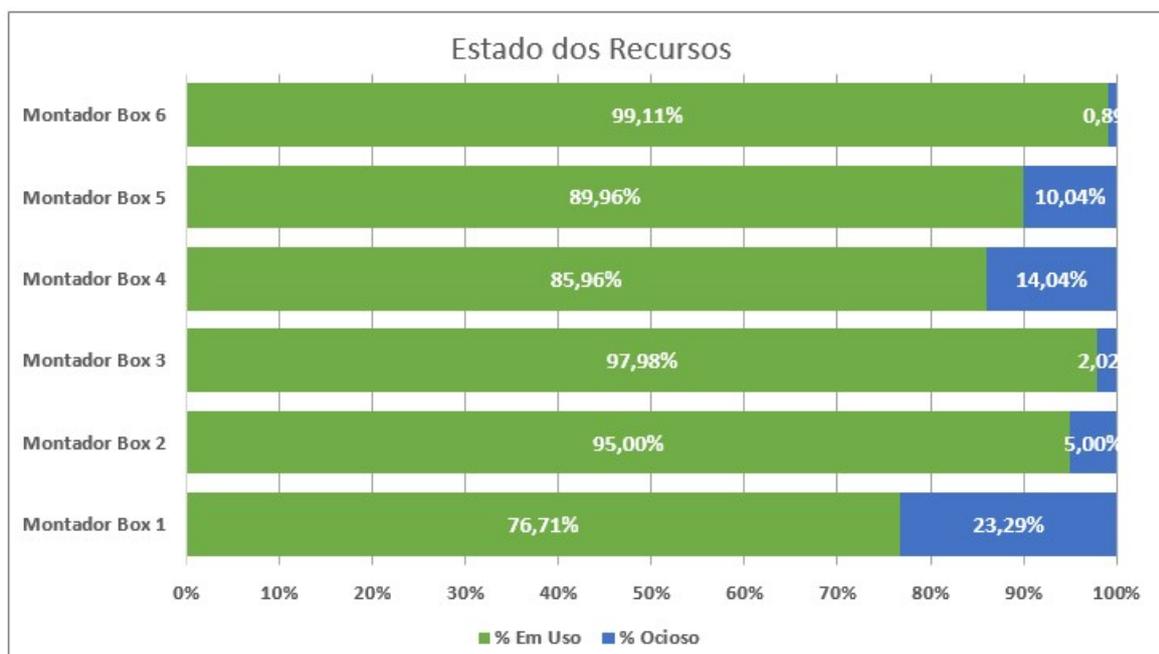


FIGURA 3 – Percentual médio de utilização dos recursos no cenário atual. Fonte: OS AUTORES.

Os resultados ilustrados na Figura 3 apresentaram a produção do sistema atual com média de 44,26 carretas a cada 90 horas, sendo uma média de 4,4 carretas/dia. Os recursos de maior utilização foram os montadores do *box 2*, do *box 3* e os borracheiros, sendo que os montadores do *box 1*, do *box 4* e do *box 5* apresentaram ociosidades de taxas médias maiores.

Devido a situação evidenciada, foram propostos a geração de dois novos cenários, com objetivo de otimizar o sistema atual. Essa proposta foi apresentada na próxima seção.

4.4 Definição, execução e análise do projeto experimental

Visto que os borracheiros são os recursos mais utilizados no processo, com uma taxa média de 99,11%, e os montadores do *box 1* e *4*, os mais ociosos – taxa média de utilização de 76,71% e 85,96%, respectivamente – a melhoria proposta adicionou um borracheiro no *box 6* e retirou um montador em algum dos *boxes* que apresentou maior taxa de ociosidade, buscando atingir o objetivo de otimizar o sistema atual sem acrescentar novos recursos. A Tabela 3 ilustrou a nova distribuição dos recursos.

TABELA 3 – Cenários propostos para otimização do sistema atual

Cenário	BOX 1	BOX 2	BOX 3	BOX 4	BOX 5	BOX 6
Atual	3	3	4	4	2	3
1	3	3	4	3	2	4
2	2	3	4	4	2	4

Fonte: OS AUTORES.

Após as 50 replicações de 90 horas, obteve os indicadores de desempenho representados pela Tabela 4 e na Figura 4.

TABELA 4 – Indicadores de produção dos cenários propostos

Cenário	Produção média diária (carretas/dia)	Intervalo de confiança 99,9%	Tempo médio no sistema (hr)	Tempo médio de operação (hr)
Atual	4,43	4,39 - 4,46	19,42	9,65
1	4,81	4,77 - 4,84	11,67	9,62
2	4,78	4,75 - 4,81	10,11	9,78

Fonte: OS AUTORES.

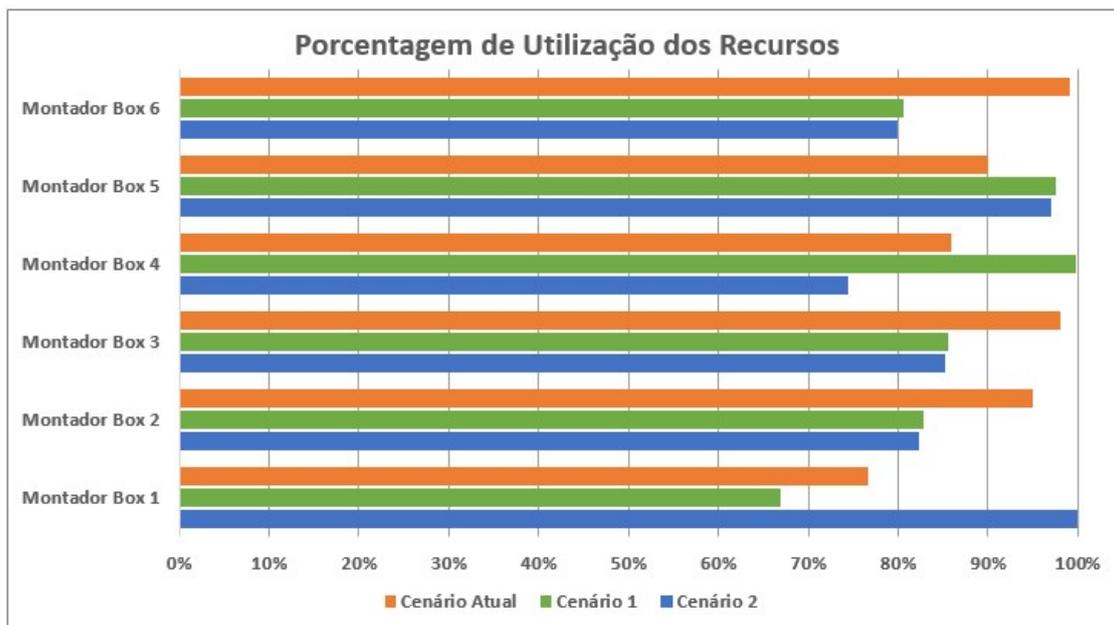


FIGURA 4 – Percentual médio de utilização dos recursos em todos os cenários. Fonte: OS AUTORES.

Com os resultados obtidos por meio da simulação de novos cenários, observou-se que o cenário em melhor produtividade média de carretas é o cenário 1. Avaliando este cenário, constatou-se uma melhora significativa na produção, visto que, possibilitou uma produção média de 4,8 carretas/dia, representando um aumento de 8,6% na produção diária, sem a necessidade de contratação de novos recursos. Outro fator importante foi o tempo médio que o produto permaneceu no sistema. A partir da alteração proposta, este tempo reduziu de 19,42 horas para 11,67 horas, ou seja, uma delimitação de 39,91%.

5. Conclusão

A presente pesquisa apresentou o desenvolvimento de um estudo de simulação que permitiu a criação de um modelo operacional embasado no modelo real de uma linha de montagem de carretas. A partir deste estudo, obteve-se dados de saída significativos para futuras tomadas de decisões que resultassem em um sistema real eficiente.

Um dos principais resultados do estudo foi a possibilidade de aumentar a produção diária de 4,4 para 4,8 carretas/dia realocando os recursos. Assim, a meta da empresa foi atingida a produção de 5 carretas/dia. Observou-se que a modificação sugerida pela presente pesquisa contribuiu para que a empresa aproximasse de sua meta.

Conclui-se que o objetivo proposto foi atingido, pois foi possível realizar a proposta de criação de um projeto experimental, que após submetido a simulação, apresentou um aumento

de 8,6% na produção diária da empresa e uma queda de 39,91% no tempo médio que o produto permaneceu no sistema.

Por fim, o uso da simulação permitiu compreender que foi possível atingir melhores resultados na produção, apenas realocando os recursos já existentes, dispensando assim a contratação de novos recursos.

Referências

ALVES, R. A.; PAULISTA, P. H. **Estrutura de modelagem e simulação utilizando o software ProModel: uma abordagem teórica.** In: V Simpósio de Engenharia de Produção, 2017, Salvador. **Anais...** Joinville: SIMEP, 2017.

ANDRADE, E. L. **Introdução à Pesquisa Operacional: modelos e métodos para análise de decisões.** 4º Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

BATEMAN, R. E.; BOWDEN, R. O.; GOGG, T. J.; HARRELL, C. R.; MOTT, J. R. A.; MONTEVECHI, J. A. B. **Simulação de sistemas – Aprimorando processos de logística, serviços e manufatura.** Rio de Janeiro: Campus, 2013, p. 161.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações.** 4º Ed. São Paulo: Editora Elsevier-Campus, 2015.

HARREL, C. R.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R. O. **Simulation using promodel.** Boston: McGraw-Hill, 2004.

HARREL, C. R.; MOTT, J. R. A.; BATEMAN, R. E.; BOWDEN, R. O.; GOGG, T. J. **Simulação: otimizando os sistemas.** 2º Ed. São Paulo: IMAM, 2002, p. 136.

LOBATO, R. P.; PINHEIRO, D. F.; GOMES, L. R.; NONATO, R. F. **Uma aplicação de simulação computacional em uma empresa do ramo cerâmico no município de Igarapé-Miri.** In: XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2018, Maceió. **Anais...** Maceió: ABEPRO, 2018.

MIGUEL, P. A. C. **Estudo de caso na administração: estruturação e recomendações para sua condução.** Produção, v. 17, n. 1, 2007, p. 216-229.

MONTEVECHI, J. A. B.; PINHO, A. F.; LEAL, F.; MARINS, F. A. S. **Application of design of experiments on the simulation of a process in automotive industry.** In: Simulation Conference, 2007 Winter. IEEE, 2007, p. 1601-1609.

OLIVEIRA, M. S.; PEREIRA, T. F.; TUMANI, C.; OLIVEIRA, M. **Análise do fluxo de pacientes em um pronto atendimento por meio da simulação a eventos discretos.** In: XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2018, Maceió. **Anais...** Maceió: ABEPRO, 2018.

SELLTIZ, C.; JAHODA, M.; DEUTSCH, M. **Métodos de pesquisa nas relações sociais.** São Paulo: EDUSP, 1974.

SEVEN, B. **Modeling automated guiged vehicle systems in material handling.** Dou Universitesi Dergisi, 2013.

ZANELLA, L. C. H. **Metodologia de Estudo e de Pesquisa em Administração.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Administração Pública) – Departamento de Ciências da Administração, Universidade Federal de Santa Catarina. Brasília, 2009. Disponível em: <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/mansano/downloads-para-disciplina-de-metodologia-da-pesquisa-uab/downloads/UAB_Metod_Livro_Base.pdf> Acesso em: 08 de agosto de 2019.

Apêndice A – Dados coletados na empresa do estudo no mês de maio de 2019.

Coleta de 10 dias de 9hs de produção (50 carretas) - tempos em min											
BOX 1 – Montagem das Espinhas		BOX 2 – Montagem das Asas		BOX 3 – Montagem do Painel/Quadro		BOX 4 – Montagem do Teto		BOX 5 – Montagem das Lonas		BOX 6 – Montagem dos Pneus	
76	74	106	94	98	93	82	79	103	112	121	109
73	68	89	93	104	96	79	84	96	105	137	118
72	77	94	99	96	102	93	81	107	116	118	117
66	69	91	102	101	95	82	88	101	93	124	105
81	72	113	97	93	91	88	87	115	108	123	129
66	75	94	85	107	94	97	92	119	114	120	133
75	76	87	88	104	98	84	86	103	121	112	128
73	81	93	91	91	106	89	82	126	111	123	119
71	71	95	86	94	93	77	88	112	97	114	127
74	68	92	84	92	98	79	80	107	124	134	124
87	66	88	93	106	94	77	89	101	105	113	111
68	82	91	101	102	91	83	85	124	127	116	126
73	87	87	93	99	97	91	96	117	121	109	123
68	79	89	85	93	95	74	82	109	125	121	117
79	81	93	89	95	88	87	80	127	108	128	131
77	87	86	98	103	96	77	83	116	102	118	122
83	78	96	87	91	88	89	79	98	116	123	103
69	79	95	109	97	101	82	92	103	99	119	134
72	67	89	95	89	93	84	82	107	104	127	128
83	83	97	91	103	98	81	77	113	94	107	123
69	81	99	96	91	92	93	84	109	116	119	129
73	87	87	85	93	94	72	77	102	114	112	132
81	74	96	83	97	93	87	89	114	105	123	124
83	67	105	88	101	90	79	94	121	101	118	122
69	71	91	92	104	103	82	85	97	114	116	130