

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA**

BRUNA DE MATTEO DOBES

**UTILIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO COMO INSTRUMENTO DE
MELHORIA DA EFICIÊNCIA DE UM PROCESSO DE
CARREGAMENTO DE CARGA PARA TRANSPORTE E
DESPACHO**

Lorena - SP

2019

BRUNA DE MATTEO DOBES

**UTILIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO COMO INSTRUMENTO DE
MELHORIA DA EFICIÊNCIA DE UM PROCESSO DE
CARREGAMENTO DE CARGA PARA TRANSPORTE E
DESPACHO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
à Escola de Engenharia de Lorena - Universi-
dade de São Paulo como requisito para con-
clusão do Curso de Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Fabrício Maciel Gomes

Lorena - SP

2019

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Automatizado
da Escola de Engenharia de Lorena,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Dobes, Bruna de Matteo

Utilização da simulação como instrumento de melhoria da eficiência de um processo de carregamento de carga para transporte e despacho / Bruna de Matteo Dobes; orientador Fabrício Maciel Gomes. - Lorena, 2019.
35 p.

Monografia apresentada como requisito parcial para a conclusão de Graduação do Curso de Engenharia de Produção - Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo. 2019

1. Simulação. 2. Carregamento. 3. Despacho. I. Título. II. Gomes, Fabrício Maciel , orient.

Dedico o presente trabalho aos meus pais que sempre estiveram comigo e me apoiaram
durante toda a vida.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à Escola de Engenharia de Lorena como um todo, pelos melhores anos da minha vida até hoje. Aos professores pelos ensinamentos, aos funcionários e aos alunos e amigos pelo companheirismo. Com certeza me tornei uma pessoa melhor depois de todos esses anos. Também gostaria de agradecer a minha família, meus pais Graziela e Waldo e a minha irmã Júlia pelo apoio e por acreditarem em mim. Agradecer ao André por estar ao meu lado e fazer esses últimos anos mais felizes. E para finalizar um agradecimento em especial ao professor Fabrício Maciel Gomes por me orientar no presente trabalho, me auxiliar e me ensinar durante toda a graduação.

RESUMO

Este trabalho descreve a utilização de uma ferramenta de simulação com o objetivo de aumentar a eficiência do processo de carregamento e despacho de uma empresa produtora de cimento. No Brasil o mercado de cimentos constitui um oligopólio, dessa forma, evidencia-se a necessidade de um olhar estratégico aos pequenos processos, garantindo uma diferenciação e o aumento do lucro. No presente trabalho, estuda-se o pequeno processo de transporte da carga já preparada até o veículo utilizado para o despacho. O sistema é composto por três baías de carregamento e três variáveis: o tipo de transporte utilizado que pode se fazer por carreta ou *trucks*, o meio de carregamento da carga que poderá ser automatizado através de empilhadeira ou manual e por fim o tipo do produto carregado, que estará disponível em produtos unitizados através de *pallets* de madeira ou individuais. Essas variáveis foram agrupadas de diversas formas, realizando dezesseis simulações com auxílio da ferramenta *Simul8*® objetivando encontrar a combinação que representa a maior eficiência desse processo. Os arranjos foram comparados através dos resultados estatísticos obtidos e indicadores selecionados. Os resultados apresentaram as variações esperadas, concluiu-se que o arranjo ótimo seria a baía 1 carregando truck de forma manual com produtos individuais a B2 também carregando truck com auxílio de empilhadeira e produtos individuais e a B3 carregando carretas com auxílio de empilhadeira e produtos palletizados. Todos os objetivos foram correspondidos e apresentou-se como maior contribuição um arranjo ótimo das variáveis garantindo um aumento da eficiência do processo comprovando a efetividade da utilização da modelagem e simulação como ferramenta de análise e apoio na tomada de decisão.

PALAVRAS-CHAVE: Simulação. Carregamento. Despacho.

ABSTRACT

This paper describes the use of a simulation tool to increase the efficiency of the loading and dispatching process of a cement company. In Brazil, the cement market is an oligopoly, thus highlighting the need of a strategic look at small processes, ensuring differentiation and increase in profits. The present work studies the small process of transporting the product already prepared to the vehicle used for dispatch. The system consists of three loading bays and three variables: the type of transport used that can be done by Flatbed truck or truck with trailer, the loading which can be done by forklift or manually and finally the type of product which can be unitized through wooden pallets or just individual bags. These variables were grouped in different ways, running sixteen simulations with the aid of the textit Simul8 textsuperscript textregistered tool in order to find the combinations that represent the highest efficiency on this process. The arrangements were compared through the statistical results and chosen indicators. The results showed the expected variations, it was concluded that the optimal arrangement would be bay 1 manually loading a flatbed truck with individual products, B2 also loading a flatbed truck with a forklift and individual products, and B3 loading truck with trailer using forklift and palletized products. All objectives were met and the optimal contribution was presented by an optimal arrangement of variables ensuring an increase in process efficiency, proving the effectiveness of the use of modeling and simulation as a tool for analysis and decision support.

KEYWORDS: Simulation. Loading. dispatching.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Modelo de fluxo utilizado	16
Figura 2	Layout do sistema	19
Figura 3	Fluxo do processo de carregamento	20
Figura 4	Fluxo atual	21
Figura 5	Simulação atual	21
Figura 6	Fluxo modelagem detalhado	22
Figura 7	Simulação validação	24
Figura 8	Fluxo com ativação da B1	28
Figura 9	Fluxograma para tomada de decisão	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados do carregamento	19
Tabela 2 – Dados da distribuição	20
Tabela 3 – Dados da simulação	24
Tabela 4 – Resultados da simulação B2 e B3	26
Tabela 5 – Análise das simulações B2 e B3	27
Tabela 6 – Resultados da simulação B1 e B2	29
Tabela 7 – Análises das simulações B1 e B2	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1	Logística	11
2.2	Carregamento de Carga	11
2.3	Simulação em carregamento de cargas	12
2.4	Simulação e estatística	13
3	METODOLOGIA	15
4	SISTEMA OU PROBLEMA REAL	18
5	MODELO MATEMÁTICO	20
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
7	CONCLUSÃO	32
7.1	Sugestões para pesquisas futuras	32
	REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

Na última década o cenário econômico instável do Brasil fomentou a necessidade das empresas buscarem meios de se manter dentro do mercado competitivo. Com a indústria de cimento não foi diferente, aumentou-se a busca contínua pelo aumento da eficiência dos processos internos visando elevar a rentabilidade de seus produtos.

De acordo com o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC, 2018), o parque produtor de cimento no Brasil tem capacidade de produção de 100 milhões toneladas/ano e no ano de 2016 produziu 57 milhões de toneladas com geração de 23 mil empregos diretos. Além disso, mostra que 96% dos despachos utilizam o meio de transporte rodoviário e que em 66% dos despachos é feito por forma de apresentação ensacada. Os principais canais de distribuição são revendedoras com 51%.

O mercado de cimento constitui um exemplo clássico de oligopólio, onde um número restrito de concorrentes oferece o mesmo produto homogêneo (SIMONSEN, 1988). O que torna mais evidente a necessidade de atuar nos pequenos detalhes dessa cadeia de produção garantindo a diferenciação em um mercado dominado por poucas empresas.

Além disso, o desejo do cliente em receber a mercadoria no prazo, com a qualidade esperada e confiabilidade demanda um olhar atento aos pequenos processos que compõe à logística de uma fábrica, em que ela deixa de ser um simples processo e passa a ser enxergada de forma estratégica. No âmbito das empresas, os gastos com logística representam 7,6% da receita líquida, considerando custos com transporte, estoque e armazenagem (LIMA, 2014).

O carregamento da carga para expedição do produtos, por exemplo, é um simples processo onde após a carga ser separada e preparada é levada ao meio de transporte utilizado. Entretanto, em muitos casos, os recursos utilizados nesse processo como o tipo de transporte e o meio de carregamento não são previamente analisados, a utilização dos mesmos é resultante de uma escolha financeira ou de acordo com a disponibilidade dos recursos e não baseada em eficiência e otimização do tempo.

O trabalho presente foi baseado em uma pesquisa realizada por Sellitto et al. (2009) que analisa o mesmo sistema, porém, com objetivo de reduzir o tempo da fila. Alguns recursos do processo de carregamento serão variados com intuito de apoio na tomada de decisão, quanto ao melhor arranjo e combinação desses recursos. Para que o estudo possa ocorrer sem grandes investimentos e riscos desnecessários será utilizada uma ferramenta de simulação que possibilita a realização de testes virtuais em um tempo muito reduzido quando comparado a um teste real.

A ferramenta de simulação utilizada é o software *Simul8*[®]. De acordo com Chwif e Medina (2006) essa ferramenta realiza a simulação de eventos discretos, permitindo que o usuário crie objetos e sistemas visuais. Após a criação do modelo a ferramenta permite realizar um primeiro teste para validação do modelo a animação pode ser vista na tela do

computador, em seguida um número de tentativas pode ser executada e a performance do modelo é descrita quantitativamente.

O presente trabalho está estruturado da seguinte forma: fundamentação teórica necessária para a pesquisa, objetivo, metodologia utilizada, resultados obtidos, análise e conclusão. Além disso, apresenta como objetivos elaborar o modelo conceitual, simular o processo de carregamento de carga, analisar os dados e verificar através de todas as combinações das variáveis, um modelo ótimo para esse processo. Dessa forma, auxiliar na tomada de decisão quanto a organização e arranjo deste setor propondo soluções aplicáveis ao sistema real.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 LOGÍSTICA

A visão de logística dentro das empresas vem se modificando ao longo dos anos, anteriormente vista como uma simples atividade de transporte, a logística passou a ser vista estrategicamente, passando a ter uma definição mais abrangente. Como explicado por Ballou (2009) logística é responsável pela administração dos fluxos de produtos dentro da empresa, com o objetivo de atender o cliente com o produto adequado no momento adequado (nível de serviço). Segundo o mesmo autor a logística pode ser dividida em dois grandes grupos de atividades:

- Suprimentos físicos: Transporte, Manutenção de estoque, processamento de pedidos, embalagens, armazenagem, manuseio de materiais e manutenção de informações.
- Distribuição física: Transporte, Manutenção de estoque, processamento de pedidos, programação de pedidos, embalagens, Armazenagem, manuseio de materiais e manutenção de informações.

O primeiro item envolve fornecedores e fábrica, já o segundo também refere-se à fábrica mas agora, em relação ao cliente. Além disso, o mesmo autor classifica o processo de transporte como uma das atividades principais da logística. De acordo como mesmo autor a distribuição física costuma ser a atividade mais representativa da logística em termos de custos (dois terços) na maioria das empresas. Ela trata principalmente bens acabados ou semi-acabados e tem dois tipos de clientes: consumidores finais e intermediários (varejistas, distribuidores, etc.)

Existem inúmeros estudos relacionados à logística na literatura, em sua maioria referem-se a temas como filas, roteirização, arranjos ideais na preparação de carga e distribuição de carga. Pouco se fala sobre o transporte da carga já preparada até o veículo que será carregado, o processo que ocorre após preparação de carga e antes do despacho.

2.2 CARREGAMENTO DE CARGA

O fluxo logístico de carregamento consiste desde a chegada do caminhão na portaria até sua saída com os produtos e a entrega da nota fiscal. O carregamento de caminhões nas empresas é dividido em duas diferentes fases: na montagem da carga, onde todos os produtos devem ser formados para serem carregados, e na fase de carregamento, onde os produtos são devidamente posicionados dentro dos caminhões (SANTOS et al., 2016). Existem alguns fatores que afetam diretamente este processo com por exemplo o meio escolhido para levar

esta carga até o transporte, o tipo de transporte que será utilizado e o modo de separação do produto se unificado ou individual.

Muitas vezes esse processo do transporte da carga até o veículo não é visto estrategicamente. De acordo com Torres (1990) um fator que afeta diretamente os custos logísticos e a eficiência dos sistemas de transporte, é operação formiga. É a operação que consiste em levar um produto por vez até o veículo de transporte sem estudo prévio, podendo ser realizado manualmente por um operário ou de forma automatizada por uma empilhadeira. Um carregamento pleno e previsível aumenta a ocupação dos recursos produtivos e reduz o custo, atendendo o objetivo da fábrica Chwif e Medina (2006).

Existe um grande número de estudos na literatura tratando de carregamento de carga variando desde uma visão ergonômica (SILVA et al., 2010), separação/preparação de produtos pre carregamento (DIAS et al., 2006), melhoria de arranjo físico otimizando o carregamento (WETZEL, 2009) e tamanho de lote (GLOCK et al., 2014).

2.3 SIMULAÇÃO EM CARREGAMENTO DE CARGAS

Para Wainer (2009), citado por Mambo (2017), a simulação é definida como sendo a representação de um comportamento dinâmico de um sistema de interesse com o objetivo de obter conclusões que podem ser aplicadas ao sistema. A utilização do método de simulação traz muitos benefícios, como por exemplo:

- Evita altos investimentos para teste de soluções de problemas ou otimização que podem não corresponder com as expectativas;
- Permite a alteração e remoção de variáveis, sem custo, para analisar arranjos diferentes observando os impactos;
- O tempo demandado na simulação é significativamente menor do que se fosse realizado em um sistema real.

Como citado por Santos et al. (2016) a simulação do carregamento ajuda a enxergar a necessidade dos investimentos e reduções de custos no processo. Além de ter a oportunidade de testar vários cenários sem que tenha que recorrer à realidade, podendo analisar os tempos de espera, tempos de carregamentos de caminhões e de movimentação de notas fiscais (FRANCO et al., 2010).

Os resultados da aplicação de modelagem e simulação em casos relacionados a carregamento de carga normalmente apresentam resultados significantes. Mambo (2017) utilizou da modelagem e simulação para carregamento e transporte em uma mina a céu aberto com o objetivo de alcançar as metas de produção e de utilização dos seus recursos, o estudo resultou na redução de filas no sistema e no cumprimento das metas planejadas.

Seguindo a mesma linha do presente trabalho um estudo realizado por Cortopassi (2016) utiliza da simulação para otimizar o fluxo de materiais e insumos dentro de uma fábrica de cimentos do Grupo Votorantin. O resultado mostra uma redução de 40% nos custos de movimentação interna.

Já Sellitto et al. (2009) realizou um estudo no processo de expedição de cimento ensacado, em que testou por meio da simulação em planilha eletrônica a viabilidade de duas alternativas para redução do tempo de permanência de veículos dentro do sistema, com um foco nos tempos de fila. Os dados apresentados no trabalho foram obtidos através de entrevistas e observação das atividades, os dados foram coletados do período em que a chegada de caminhões na portaria era mais crítica, aumentando as filas. De acordo com a pesquisa o ganho potencial foi reduzir o tempo médio de permanência de veículos na operação de 144 para 91 minutos, mostrando a eficiência da utilização da tecnologia de modelagem e simulação para a operação de carregamento de carga.

2.4 SIMULAÇÃO E ESTATÍSTICA

Existem inúmeros programas de simulação, um deles é o software *Simul8*[®] que é um programa computacional para simulações de eventos discretos como por exemplo linhas de produção, filas de banco. Ou seja, em um modelo de eventos discretos o estado do sistema modelado só se altera uma vez que algum evento específico ocorra, o contrário seriam os eventos contínuos, como por exemplo reações químicas.

O *Simul8*[®] permite que você crie um modelo visual no sistema estudado desenhando objetos diretamente na tela. As características dos objetos podem ser determinadas em termos, por exemplo, de sua capacidade ou velocidade (GREGOR; CAIN, 2004). De acordo com Chwif et al. (2015) O *Simul8*[®] começou a ser desenvolvido na década de 1990 na Universidade de Strathclyde (Escócia), com a finalidade de ensino de simulação. Devido ao seu sucesso, a Simul8 Corporation iniciou a comercialização do software como ferramenta profissional.

Para desenhar o modelo a ser simulado dados de distribuição devem ser utilizados. A distribuição de uma variável é basicamente a curva desenhada em cima de um histórico de valores determinando a probabilidade de ocorrência de cada valor. A base do funcionamento do *Simul8*[®] consistem em replicar várias vezes o modelo proposto com dados de entrada aleatórios obtendo resultados de saídas também aleatórios, e os resultados obtidos apresentam-se em intervalos de confiança.

Um intervalo de confiança é uma faixa de valores utilizada para estimar o verdadeiro valor de um parâmetro populacional, associado a um nível de confiança, o qual fornece a taxa de sucesso na construção deste intervalo. Por sua vez, o nível de confiança, é a proporção de vezes que o intervalo de confiança realmente contém o parâmetro populacional, supondo que o processo de estimação seja repetido um grande número de vezes. Este grau de confiança é

o complemento do nível de significância α , ou seja, $1-\alpha$. Quanto maior for o intervalo, mais confiança se tem de que ele realmente contém o valor verdadeiro do parâmetro populacional. Por outro lado, quanto maior for o intervalo, menos informação se tem a respeito do valor verdadeiro do parâmetro (MONTGOMERY, 1999).

A escolha de um grau de confiança de 95% é mais comum porque resulta em um bom equilíbrio entre a precisão (refletido pela largura do intervalo) e confiabilidade (expresso pelo nível de confiança) (OLIVEIRA, 2008).

3 METODOLOGIA

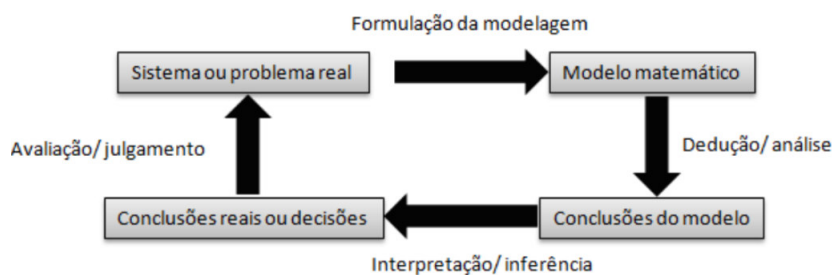
Observou-se que muitos estudos relacionados à logística em carregamento de cargas utilizam a metodologia de modelagem e simulação de sistema como ferramenta e essa será a metodologia de pesquisa utilizada. Essa metodologia de simulação envolve três grandes etapas: concepção ou formulação do modelo, implementação do modelo e a análise dos resultados. É importante compreender que essa sequência não é linear, mas sim uma hélice que é moldada ao longo do desenrolar do projeto (CHWIF et al., 2015). De acordo com Cauchick et al. (2011) a modelagem e simulação é um dos métodos de pesquisa apropriados para área de engenharia de produção.

Em relação a natureza da metodologia, a classificação empregada é a pesquisa empírica normativa, visando o desenvolvimento de estratégias e ações que melhorem a situação corrente. Neste caso, pretende-se otimizar o processo de carregamentos de caminhões rearranjando algumas das variáveis presentes. Já a forma de abordagem empregada é a combinada incorporada pois possui as duas formas quantitativa e qualitativa, entretanto, uma das abordagens é dominante sobre a outra. Os pesquisadores incluem dados de pesquisa para ajudar a responder uma questão dentro de um estudo dominante quantitativo ou qualitativo (CAUCHICK et al., 2011).

Neste caso a pesquisa apresenta um estudo majoritariamente quantitativo pois considera dados coletados para a realização do estudo e da simulação que resulta em dados também quantitativos. Esses resultados são complementados por dados qualitativos, considerando que existe uma relação entre o mundo real e o mundo simulado, que necessitam de uma interpretação do ambiente e das respostas obtidas pós simulação, traduzindo as soluções para o problema real.

Inicialmente, a fim de alcançar os objetivos propostos nessa pesquisa, realizou-se um estudo literário em livros, artigos científicos e acadêmicos sobre os temas envolvidos com logística, carregamento de cargas e modelagem/simulação e estatística. Nesse contexto, identificou-se um modelo de um fluxo base, proposto por Cauchick et al. (2011) como mostra a Figura 1.

Figura 1 – Modelo de fluxo utilizado



Fonte: Cauchick et al. (2011)

No sistema ou problema real apresenta-se o cenário estudado levantando pontos relevantes para o presente trabalho, dados previamente existentes e variáveis a serem simuladas. Objetiva-se nesse tópico introduzir ao leitor todas as informações necessárias para compreender o funcionamento do sistema e o problema decorrente do cenário atual.

Para a formulação da modelagem primeiramente fez-se necessária a clara definição do fluxograma da atividade e os dados de cada uma das etapas. Declara-se e justifica-se a proveniência dos dados. Primeiramente realiza-se a simulação atual em um modelo simplificado com os dados obtidos a partir da pesquisa de Sellitto et al. (2009), em seguida cria-se um modelo detalhado que permite a alteração dos dados de acordo com a mudança das variáveis existentes. Comparou-se os dois modelos através de indicadores garantindo a validação do modelo detalhado utilizado em todas as outras simulações.

Após a validação do modelo detalhado, define-se por análise combinatória o total de simulações necessárias para o presente estudo. Analisa-se os resultados e obtem-se conclusões do modelo. Através de interpretações toma-se decisões referentes ao modelo real sanando ou minimizando o problema inicial.

Foram selecionados como métricas indicadores de eficiência e performance, objetivando comparações entre valores ao final das simulações para obtenção de resultados e conclusões. Conforme citado por Alves (2018) o conceito de produtividade pode ser definido, de maneira genérica, por uma relação entre bens produzidos (produtos) e os recursos utilizados para sua produção (insumos). Já de acordo com Araujo (1997), medir a produtividade de uma atividade logística significa medir a eficiência com que o processo logístico atende aos anseios dos clientes. Como colocado pelo mesmo autor, o monitoramento e controle da produtividade no carregamento de caminhões auxilia na obtenção de ciclos de pedido menos variáveis.

Sendo assim, obter uma melhor produtividade nas atividades de carregamento, reduzindo o tempo de permanência de caminhões dentro da empresa e em filas, pode garantir competitividade e a manutenção da empresa no mercado. Dessa forma, escolheu-se os seguintes indicadores para análise prévia:

- Tempo médio na fila: ao entrar na portaria o veículo aguarda em uma fila de espera até que haja a liberação de uma das baias. A unidade de tempo está em minutos e quanto menor o resultado deste indicador, melhor;
- Tempo médio no sistema: esse indicador representa o tempo total que o veículo esteve dentro da empresa desde o momento em que chegou na portaria até o momento da saída. Da mesma forma que o anterior, a unidade de medida se encontra em minutos e quanto menor o valor obtido, melhor;
- Número total de carregamentos: principal indicador de eficiência, considera-se o número total de veículos que deixaram a portaria após serem carregados, em unidades de veículos. Quanto maior o valor encontrado, melhor;
- Produtividade da baia ou porcentagem de tempo trabalhando: representa a porcentagem de tempo em que aquela baia ficou trabalhando, oposto à ociosidade. Tempo total em atividade sobre o tempo total disponível, quanto maior melhor;
- Número de carregamentos por baia: representa a quantidade de veículos carregados por baia em unidades de veículos. Quanto maior, melhor.

A partir dos itens mencionados comparou-se as simulações realizadas entre si e com o modelo atual. Utilizou-se do fluxo contemplado pela Figura 1 como base para a organização e construção da pesquisa.

4 SISTEMA OU PROBLEMA REAL

O sistema utilizado surge a partir de um trabalho realizado por Sellitto et al. (2009) que estudam uma operação logística de carregamento e expedição de cimento, nesse trabalho o autor objetiva reduzir o tempo de fila do sistema, sem avaliar as variáveis presentes no processo e sem analisar a eficiência do mesmo. Enxergou-se então, a oportunidade de, utilizando os mesmos dados coletados neste trabalho, estudar uma parcela deste vasto processo de operação logística, focando apenas no carregamento da carga. O sistema é composto pelos veículos utilizados no transporte (carreta ou *truck*) e o meio utilizado para realizar o carregamento (manual ou empilhadeira) variando também o tipo do produto (unitizado ou individual). Agruparam-se as variáveis de todas as maneiras possíveis através da análise combinatória com o objetivo de propor um modelo ótimo de arranjo.

O tipo de veículo utilizado no transporte dos produtos até o cliente varia entre Carretas e trucks. Os *trucks* são caminhões fixos constituídos de uma única parte e tem capacidade de até 15000 kg, já as carretas são articuladas, possuem as rodas de tração e a unidade de carga em módulos separados e sua capacidade chega até 30000 kg.

Em relação as opções de meio utilizado para o carregamento, tem-se duas possíveis opções: manual ou através da utilização de empilhadeira. De acordo com Santos (2018) a empilhadeira é o veículo mais difundido e utilizado no meio industrial mundial há muitas décadas e supre as necessidades mais básicas de movimentação, que são a elevação e o deslocamento, seja qual for a finalidade e o tamanho da empresa, existindo diversos equipamentos para as operações de pequeno e grande porte.

O valor de produtividade utilizado para carregamento com empilhadeira será baseado no artigo do mesmo autor, ele diz que através da implantação do equipamento selecionador de camadas frontal, tem-se o aumento da produtividade que pode chegar a aproximadamente cinquenta por cento (50%), considerando uma jornada de trabalho de oito (8) horas. A produtividade pode passar de oito (08) caminhões por dia, para doze (12) caminhões por dia. Já o carregamento manual, conforme o trabalho de Martins et al. (2017) uma dupla de carregadores levam, em média, de 25 a 35 minutos para carregar um caminhão normal, carregando sacos de cimento de 50kg.

Tratando-se do tipo de produto carregado, existe o modelo unitizado composto por sacos de cimento agrupados em estrados de madeira, a capacidade é de quarenta sacos por *pallet*, de acordo com o artigo de Martins et al. (2017) que realiza um estudo ergonômico em uma empresa de cimento. Além dos produtos unitizados, existe a possibilidade dos sacos individuais que foram considerados, por questões de praticidade na simulação, com peso igual a 50 kg.

O sistema possui três baias de carregamento onde os caminhões entram, ficam na fila e estacionam de acordo com a liberação da baia, são carregados e saem. O período da

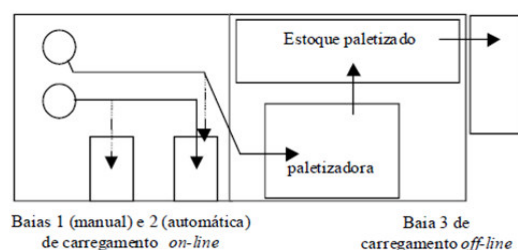
coleta de dados foi no horário da manhã por ser o período mais crítico. Existem dois tipos de baias as chamadas Online que significa que são alimentadas direto pelas ensacadoras, e as chamadas Offline o que quer dizer que são alimentadas por um estoque de pallets preparados previamente. A Baia 1 (B1) está atualmente fora de uso. A Baia 2 (B2) é carregada direto da ensacadora e os produtos são carregados um a um no caminhão com auxílio da empilhadeira, já a B3 é carregada a partir de estoques paletizados/unitizados e o carregamento também é realizado por empilhadeiras. As baias funcionam de acordo com os dados abaixo contidos na Tabela 1 e a Figura 2 representa o layout do sistema, ambos extraídos do trabalho de Sellitto et al. (2009).

Tabela 1 – Dados do carregamento

Informação	Total	B2	B3
Entrada na fábrica	Exponencial 4,48 min	-	-
Tempo médio de permanência do caminhão	144	174	176

Fonte: Sellitto et al. (2009)

Figura 2 – Layout do sistema



Fonte: Sellitto et al. (2009)

Vale ressaltar que em um primeiro momento considerou-se limitar as simulações as condições atuais do cenário. Como manter os tipos de baias em offline e online, considerar apenas as duas empilhadeiras já existentes e manter o leiaute utilizado. Além disso, é importante notar que as simulações realizadas voltam-se para análise de produtividade e não de custos e investimentos.

5 MODELO MATEMÁTICO

Construiu-se o modelo matemático para a simulação com base nos dados coletados por Sellitto et al. (2009). Os dados foram coletados através de observação e entrevistas, e foram resumidos na Tabela 2:

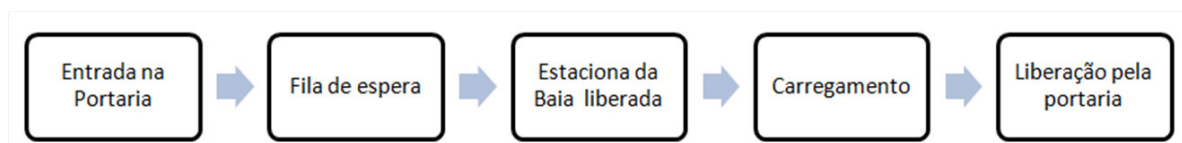
Tabela 2 – Dados da distribuição

Carregamento	Distribuição
Carregamento online	Lognormal (42.5 média, 2.43 deslocamento temporal); exponential (45.0, 12.6); normal (57.6, 10.5)
Carregamento offline	Lognormal (31.9 média, 2.8 deslocamento temporal); exponential (36., 16.9); normal (52.9, 13.4)

Fonte: Sellitto et al. (2009)

Inicialmente desenhou-se o fluxo ilustrado na Figura 3 com o intuito de verificar as etapas do processo de carregamento, pela visão do motorista do caminhão.

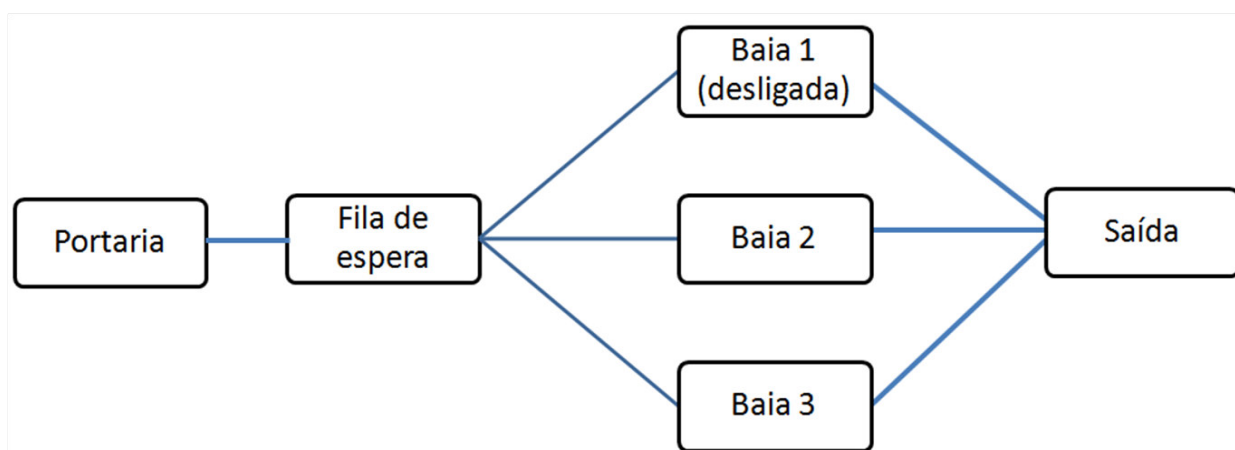
Figura 3 – Fluxo do processo de carregamento



Fonte: Autor

Ao entrar na portaria o motorista aguarda na fila de espera até que alguma baía seja liberada, então segue para a baía para ser carregado e após finalizar passa pela portaria para ser liberado. De acordo com esse fluxo foi gerado o modelo base para a simulação do cenário atual contemplado na Figura 4.

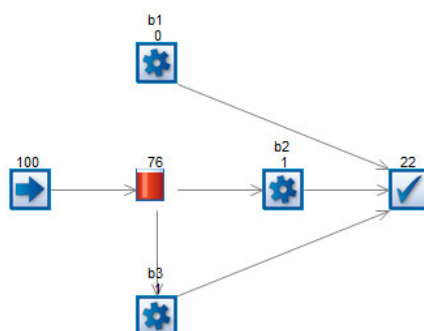
Figura 4 – Fluxo atual



Fonte: Autor

Após a modelagem, utilizando os valores obtidos através do trabalho de Sellitto et al. (2009), realizou-se a simulação do cenário atual. O dado de distribuição atribuído à portaria foi uma distribuição exponencial 4,48. Já para as baías considerou-se uma distribuição Lognormal (42,5; 2,43) e (31,9; 2,8) respectivamente para B2 online e B3 offline.

Figura 5 – Simulação atual

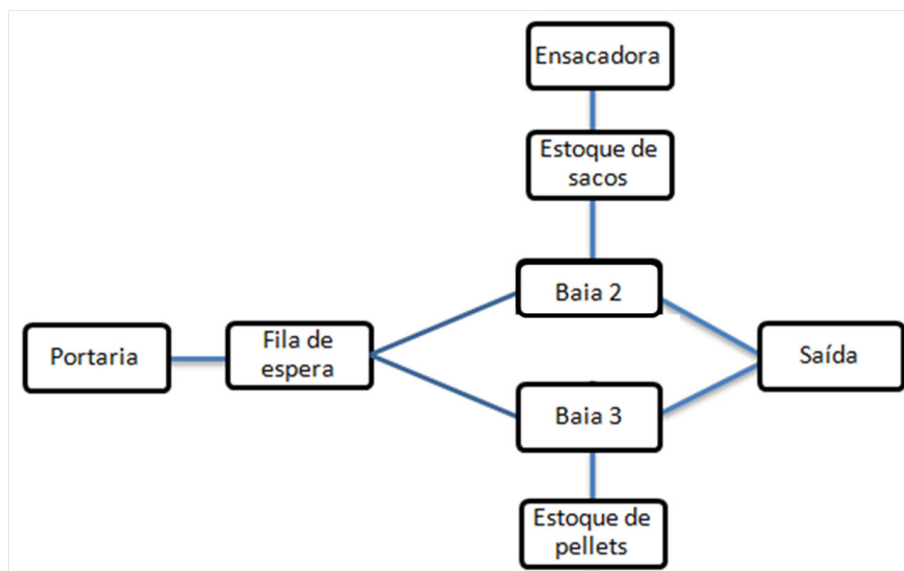


Fonte: Autor

Na simulação considerou-se um alfa de 5%, garantindo o intervalo de confiança desejado. Ao observar a análise estatística pôde-se concluir que o valor médio de caminhões liberados foi de 21,40 (sendo 12,40 da B3 e 9,0 da B2). O tempo de ociosidade da B2 foi menor que 1% com 99,14% de tempo trabalhando. Já na B3, o tempo trabalhando foi de 98,10% com uma média de ociosidade de 1,90%. O tempo médio de permanência do caminhão no sistema foi de 173,34 minutos.

Após a modelagem e simulação do cenário atual, fez-se necessário um detalhamento maior do fluxograma, apresentado na Figura 6, para que o tempo de cada atividade pudesse ser alterado individualmente, de acordo com as variações dos diferentes cenários propostos.

Figura 6 – Fluxo modelagem detalhado



Fonte: Autor

Alguns dados foram retirados no trabalho utilizado como base, já outros precisaram ser definidos por pesquisas e referenciais ou até mesmo em atribuições aleatórias de tempos até que o modelo fosse validado. Segue o detalhamento e justificativas das distribuições, dos tempos utilizados em cada atividade e como foram definidos:

Em todas as simulações foi considerado o mesmo período de tempo de 420 minutos, por ser um turno de oito horas e estimando-se um tempo efetivo de carregamento de 7 horas por turno. O tempo e a distribuição de entrada de caminhões na fábrica também se mantiveram (Exponencial 4,48 minutos).

Para simulações em carregamento de *trucks* considerou-se uma estimativa de 300 sacos individuais ou 7 pallets. Calcularam-se esses valores com base na capacidade máxima em quilogramas que um transporte como esse pode carregar, considerando um pallet com capacidade máxima de 40 sacos. Seguindo o mesmo princípio para carretas, considerou-se 600 sacos individuais ou 15 *pallets*.

Para o carregamento online necessitou-se do valor de produtividade média de uma ensaçadora de cimentos. Realizou-se uma pesquisa em referenciais teóricos e empresas produtoras de máquinas ensaçadoras. Constatou-se que a produtividade varia em média de 5 e 20 sacos por minuto. Para este estudo foi considerado de forma conservadora um valor de

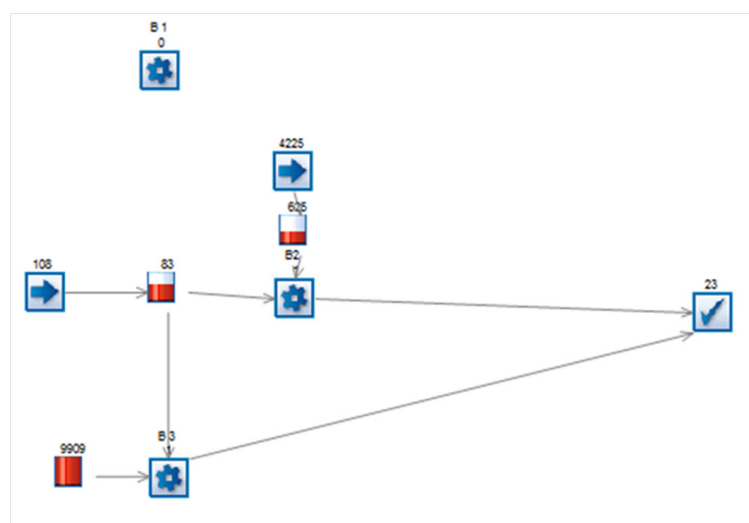
10 sacos por minuto, ou seja, utilizou-se uma distribuição Average com valor estimado em 0,1 minutos.

Para o carregamento offline, considerou-se um estoque prévio padrão de 1000 pallets, uma vez que no trabalho base o autor cita que os pallets eram preparados fora do horário de carregamento.

Para a simulação atual, utilizou-se o valor total do tempo de carregamento de cada baia fornecido no trabalho base, desde a liberação na fila até a saída do caminhão, incluindo a movimentação do produto até o transporte e o tempo de preparação. Entretanto, para a simulação detalhada houve a necessidade da estimativa de um valor para as pequenas atividades que suportam o carregamento, como movimentação da empilhadeira ou do operador, conversas, assinatura e entregas de notas. Para carregamentos realizados com auxílio de empilhadeira valores foram atribuídos até que o modelo fosse validado e o melhor valor ajustado foi uma distribuição Normal (35 média ; 5 desvio). Já para carregamentos auxiliados por operador de forma manual, atribuiu-se uma distribuição Normal (60 média; 5 desvio). Esse valor foi baseado no estudo de SILVA et al. (2010) , onde dizem que uma dupla de carregadores levam, em média 30 minutos para carregar um caminhão manualmente. Dessa forma, um único carregador sozinho levaria o dobro, 60 minutos.

A fim de validar o modelo detalhado, realizou-se uma primeira simulação, utilizando o modelo ilustrado na Figura 7 e os dados apresentados na Tabela 3, os resultados obtidos foram comparados com a simulação do modelo atual. Esperava-se que o número total de caminhões carregados e liberados fossem próximos ao da simulação anterior, aceitando uma variação nos valores uma vez que a simulação atual considera *trucks* e carretas variando de acordo com a chegada na portaria e durante todo o período da simulação, já as simulações futuras serão realizadas escolhendo uma única opção para cada baia de cada vez.

Figura 7 – Simulação validação



Fonte: Autor

Tabela 3 – Dados da simulação

Local	Dados
B2	Empilhadeira Normal(35 média, 5 deslocamento temporal); Ensacadeira Average (0,1); Sacos (online)
B3	Empilhadeira Normal(35 média, 5 deslocamento temporal); Estoque de pallets (1000 unidades); Paletizado (offline)

Fonte: Autor

De acordo com os resultados obtidos o modelo detalhado foi validado, uma vez que o valor obtidos para cada indicador apresentou resultados próximos a simulação atual.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após conceituar e validar o modelo, realizaram-se algumas simulações sempre com o intervalo de confiança de 95%, variando-se o tipo de veículo, o meio de carregamento e o tipo do produto.

Considerou-se a letra inicial de cada palavra como símbolo de cada tipo de variante, para facilitar a visualização e análise dos resultados. Dessa forma, até o final do presente trabalho as letras entre parênteses representarão cada uma das palavras escritas ao lado: Carreta (C), *Trucks* (T), Empilhadeira (E), Manual (M), Paletizado (P), Sacos unitários (S).

A fim de organizar as simulações a serem realizadas utilizou-se o método de análise combinatória com as variáveis presentes. A primeira análise combinou somente as baias B2 e B3 que já se encontram em funcionamento, com três variantes (veículo, meio de carregamento e tipo de produto) cada variante possuindo duas opções, totalizando dezesseis simulações. Entretanto, como decidido previamente, não alterou-se os tipos de baias (online e Offline), conseqüentemente mantiveram-se os tipos de produto adequados para cada baia. Assim, a quantidade de simulações no primeiro cenário reduziu para um total de oito simulações.

Os resultados obtidos nas simulações de B2 e B3 encontram-se resumidos na Tabela 4. A última coluna da Tabela 4 representa os resultados obtidos na simulação do cenário atual.

Tabela 4 – Resultados da simulação B2 e B3

Indicador	B2TES B3TEP	B2CES B3CEP	B2TES B3CEP	B2CES B3TEP	B2TMS B3TEP	B2CMS B3CEP	B2TMS B3CEP	B2CMS B3TEP	Atual
Tempo médio na fila	153,17	162,73	153,17	162,73	161,03	163,71	161,03	163,61	148,72
Tempo médio no sistema	183,16	200,13	183,16	200,13	198,12	202,49	198,12	202,49	173,34
Número total de carregamentos	22,17	17,47	22,17	17,47	17,47	16,71	17,47	16,71	21,40
B2 - Produtividade	92,70	49,81	92,70	49,81	92,86	84,23	92,86	84,23	99,14
B2 - Número de carregamentos	10,72	6	10,72	6	6	5,21	6	5,21	9
B3 - Produtividade	99,07	99,05	99,07	99,05	99,05	98,98	99,05	98,98	98,10
B3 - Número de carregamentos	11,44	11,47	11,44	11,47	11,47	11,50	11,47	11,50	12,40

Fonte: Autor

Ao analisar as primeiras oito simulações que contemplam somente B2 e B3 pode-se observar que ao variar o veículo de B3 e manter o mesmo arranjo em B2 todos os resultados dos indicadores mativeram-se os mesmos.

Outro ponto observado sobre a baía 3 é que as variações entre os valores obtidos nos indicadores de cada simulação são mínimas quando comparados entre si. O valor obtido para rendimento da B3 varia de 98,98% à 99,07%, já os resultados obtidos para o número de carregamentos varia de 11,44 à 11,5 caminhões apenas. Dessa forma, conclui-se que a baía 2 é quem dita o ritmo e a produtividade do sistema todo. Para fins de análise retirou-se as simulações com resultados em duplicatas, já que não seriam pontos de decisão.

Tabela 5 – Análise das simulações B2 e B3

Indicador	B2TES	B2CES	B2TMS	B2CMS	Atual
Tempo médio na fila	153,17	162,73	161,03	163,61	148,72
Tempo médio no sistema	183,16	200,13	198,12	202,49	173,34
Número total de carregamentos	22,17	17,47	17,47	16,71	21,40
B2 - Produtividade	92,70	49,81	92,86	84,23	99,14
B2 - Número de carregamentos	10,72	6	6	5,21	9
B3 - Produtividade	99,07	99,05	99,05	98,98	98,10
B3 - Número de carregamentos	11,44	11,47	11,47	11,50	12,40

Fonte: Autor

Além disso, as simulações provaram que o tipo de veículo a ser carregado na baía 3 é indiferente, ou seja, utilizando a carreta ou *trucks* os valores dos indicadores serão os mesmos. Dessa forma, a primeira solução apresentada é o direcionamento imediato de *trucks* para a B2 e carretas para B3.

O arranjo simulado com carregamento manual no veículo carreta apresentou os piores valores em número total de carregamentos e tempos médios no sistema e em fila, isso se deve principalmente por carretas demandarem mais tempo para serem carregadas, aumentando tempo de espera e tempo de liberação para outros veículos.

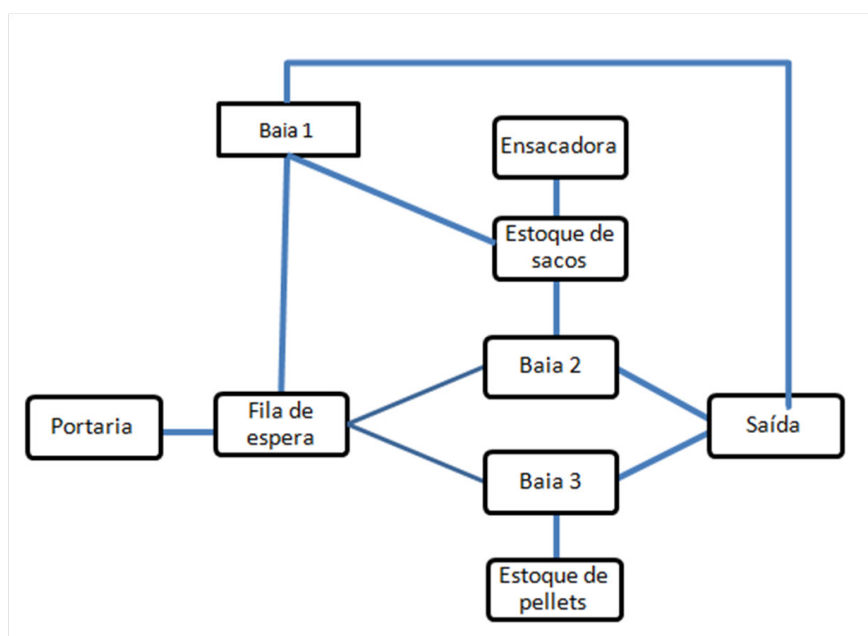
Comparou-se o conjunto de *trucks* manual com carreta e empilhadeira ambos na B2, observou-se que apresentam a mesma quantidade total de carregamentos realizados. Porém o conjunto *trucks* manual apresentou resultados melhores em relação à tempos médios em fila e no sistema, além de melhor produtividade da baía 2, justificados pelo fato de o operador precisar trabalhar mais tempo para carregar de forma manual do que com o auxílio da empilhadeira.

Ao se comparar os resultados obtidos com o cenário atual observa-se que a única simulação que obteve resultados melhores do que o cenário atual foi o arranjo que combina truck com empilhadeira na B2. Esse cenário também obteve melhores valores nos quesitos Tempo médio da fila, Tempo médio no sistema, Número total de carregamentos, Número total de carregamentos na B2 e Produtividade na B3 quando comparado com as outras simulações.

Após analisar o primeiro ciclo de simulações somente com baia 2 e 3 ativas, questionou-se o comportamento da baia 2 ao ativar a baia 1, uma vez que a ensacadora é comum entre as duas baias. Decidiu-se então, realizar novas simulações a fim de verificar a viabilidade dessa ação. Para isso, fixou-se um arranjo único para a baia 3 com carreta, empilhadeira como meio e produtos palletizados. Como as baias B1 e B2 são online, ou seja, possuem somente sacos unitários como produto, realizou-se a análise combinatória para cada uma das baias variando apenas veículo e meio de carregamento. A combinação dessas variantes resultou em mais oito arranjos a serem simulados.

Na Figura 8 pode-se ver o modelo de fluxo proposto com a ativação da baia 1, as próximas simulação foram realizadas com base nesse novo modelo.

Figura 8 – Fluxo com ativação da B1



Fonte: Autor

Compilou-se os resultados obtidos das oito simulações na Tabela 6, cuja última coluna representa os valores referentes à simulação atual com finalidade de comparação.

Tabela 6 – Resultados da simulação B1 e B2

Indicador	B1CMS B2CES	B1CES B2CMS	B1TMS B2TES	B1TES B3TMS	B1TMS B2CES	B1CMS B2TES	B1TES B2CMS	B1CES B2TMS	Atual
Tempo médio na fila	148,42	147,60	145,73	143,28	150,18	154,91	154,24	149,28	148,72
Tempo médio no sistema	199,89	199,52	185,71	183,39	196,82	200,59	199,99	196,06	173,34
Número total de carregamentos	16,44	16,45	23,43	23,09	19,28	20,50	20,41	19,22	21,40
B2 - Produtividade	25,35	35,97	60,84	77,11	32,79	51,04	42,36	61,54	99,14
B2 - Número de carregamentos	3	2	7,04	4,86	4	6	3	3,78	9
B3 - Produtividade	99,06	98,97	99,01	98,97	99,06	99,06	99,02	99,01	98,10
B3 - Número de carregamentos	11,44	11,41	11,43	11,41	11,44	11,50	11,47	11,43	12,40
B1 - Produtividade	35,82	25,79	75,66	60,36	61,64	42,76	50,53	33,42	-
B1 - Número de carregamentos	2	3,05	4,96	6,82	3,83	3	5,94	4	-

Fonte: Autor

Obseva-se que os valores de produtividade e número de carregamentos para B3 não variam pois apresentam o mesmo arranjo em todas as simulações. Além disso, pôde-se observar que a simples inversão dos arranjos de B1 com B2 traz resultados muito próximos, principalmente em número total de carregamentos. Assim, para fins de análise retirou-se as as linhas relacionadas a B3 e as colunas que contemplavam a simples inversão de arranjos entre B1 e B2, como mostrado na Tabela 7. A escolha entre as colunas a serem excluídas baseou-se no menor valor do número total de carregamentos.

Tabela 7 – Análises das simulações B1 e B2

Indicador	B1CES B2CMS	B1TMS B2TES	B1TMS B2CES	B1CMS B2TES	Atual
Tempo médio na fila	147,60	145,73	150,18	154,91	148,72
Tempo médio no sistema	199,52	185,71	196,82	200,59	173,34
Número total de carregamentos	16,45	23,43	19,28	20,50	21,40
B2 - Produtividade	35,97	60,84	32,79	51,04	99,14
B2 - Número de carregamentos	2	7,04	4	6	9
B1 - Produtividade	25,79	75,66	61,64	42,76	-
B1 - Número de carregamentos	3,05	4,96	3,83	3	-

Fonte: Autor

Confirmando a conclusão retirada do primeiro ciclo de simulações, o arranjo que obteve melhores resultados foi quando utilizou-se de *trucks* nas baias 1 e 2, uma vez que o truck é menor do que a carreta, o tempo gasto para seu carregamento é inferior. Assim, libera-se mais *trucks* aumentando o número de carregamentos totais. Inclusive, esse arranjo, quando comparado à simulação atual se mostra superior em relação aos indicadores de carregamentos totais e tempo médio na fila, já o tempo médio no sistema o modelo atual ainda é melhor.

Conforme esperado, o carregamento de carreta em todas as baias também apresentou menor número total de carregamentos e maior tempo médio no sistema, isso se explica com a mesma lógica utilizada no argumento acima, por ter maior capacidade a quantidade de carretas liberadas é menor.

O arranjo que obteve maior número total de carregamentos foi o arranjo que combina carreta carregadas de forma manual e *trucks* com auxílio de empilhadeira. Entretanto, esse mesmo conjunto apresenta maior tempo médio na fila. Vale ressaltar que sem a ativação da B1 carretas carregadas de forma manual tiveram o pior resultado, sendo a última opção para carregamento de carretas. Porém, com a ativação de B1 a segunda melhor opção para o carregamento de carreta seria de forma manual.

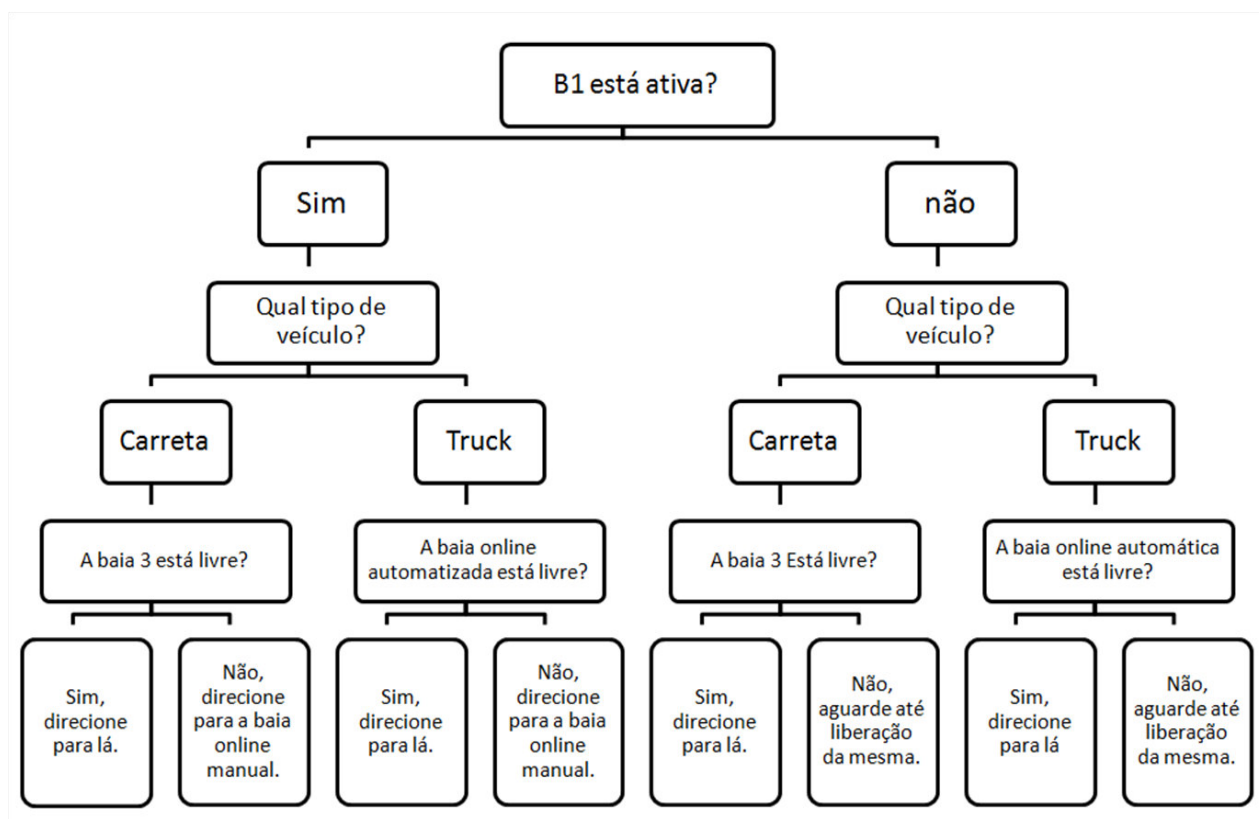
Quando comparou-se as duas simulações que alternam entre tipo de veículo e meio utilizado nas baias B1 e B2, pôde-se concluir que para essas baias é mais efetivo utilizar o meio manual para carretas e o meio empilhadeira para os *trucks*. Além disso, concluiu-se que é indiferente utilizar a empilhadeira na B1 e o meio manual na B2 ou vice-versa.

Além disso, pôde-se comparar os resultados da simulação sem a ativação de B1 e com a ativação de B1, objetivando verificar a vantagem dessa ação. Considerando o quesito número de caminhões entregues a média de entrega com B1 desligada foi de 18,45, já com a ativação de B1 essa média subiu para 19,85. Em relação ao tempo gasto no sistema sem a ativação de B1 o tempo médio foi de 195,97 já com B1 ligada esse tempo permaneceu praticamente o mesmo 195,25. Assim, conclui-se que a ativação de B1 é efetiva pois a liberação de caminhões foi maior mantendo o mesmo tempo gasto dentro do sistema.

A pesquisa focou em analisar o período da manhã em que a chegada de caminhões na portaria era exponencial. Sugere-se que em outros turnos, quando a chegada de caminhões estiver menor, que a baía 1 seja desativada.

De acordo o fluxo proposto na metodologia, analisou-se os resultados e conclusões do modelo foram obtidas. Traduziu-se conclusões do sistema para que soluções reais pudessem ser propostas. Assim, com base nas conclusões, desenhou-se um fluxograma, ilustrado na Figura 9, com objetivo de auxiliar na tomada de decisão em relação ao direcionamento dos veículos na portaria da empresa. Dessa, forma garante-se a utilização dos melhor arranjos comprovados pelas simulações.

Figura 9 – Fluxograma para tomada de decisão



Fonte: Autor

7 CONCLUSÃO

A utilização da modelagem e simulação como ferramenta de análise e auxílio para tomadas de decisão é muito benéfica, possibilita o teste e verificação do impacto de cada um dos arranjos em questões de segundos, de forma simplificada e sem custos. Se esses arranjos precisassem ser testados no sistema real para extrair soluções o tempo da análise seria muito maior e poderia gerar impactos na eficiência do processo como um todo.

Os objetivos propostos inicialmente foram alcançados, pois elaborou-se e simulou-se o modelo proposto, analisou-se os dados e propôs-se um modelo ótimo para esse processo. Segue arranjo ótimo proposto resumido:

- B1 ativa: *trucks* devem ser direcionados para a baia online que estiver carregando com auxílio da empilhadeira. As carretas devem ser primeiramente direcionadas à baia 3, e em caso de superioridade no número de carretas, a segunda opção deve ser a baia online que estiver sendo carregada de forma manual. Já em caso de superioridade em número de *trucks* os mesmos podem ser direcionados a baia 3 como segunda opção.
- B1 inativa: *trucks* devem ser carregados na baia 2 com auxílio de empilhadeiras. Já as carretas devem ser carregadas na baia 3. Em caso de superioridade de carretas, carregá-las com auxílio de empilhadeiras na baia 2. Já em ocasiões com superioridade de *trucks*, carregá-los na baia 3 com auxílio de empilhadeiras.

Tem-se como principal contribuição do presente trabalho a proposta de um arranjo ótimo para o sistema real aumentando a eficiência do processo. Além disso, a prova de que a utilização da modelagem e simulação de sistemas é positiva para processos logísticos de carregamento de carga, auxiliando na tomada de decisão.

7.1 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

A presente pesquisa considerou apenas os maquinários e estruturas presentes no sistema real. Por isso, como próximos passos, sugere-se a realização de novas simulações considerando a aquisição de novas empilhadeiras, máquinas ensacadoras e com alterações de layout. Além disso, sugere-se comparar os indicadores e calcular a viabilidade dos investimentos propostos.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J. V. d. M. F. *Aplicação de ferramentas da qualidade para a gestão da produtividade na construção civil*. 73 p. Dissertação (TCC Engenharia Civil) — Escola Politécnica - UFRJ, Rio de Janeiro RJ, 2018.
- ARAÚJO, A. L. M. Indicadores de qualidade e produtividade como instrumento de apoio à decisão no processo de expedição de veículos. *Production*, Scielo Brasil, v. 7, n. 2, p. 139–157, 1997.
- BALLOU, R. H. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos-: Logística Empresarial*. [S.l.]: Bookman Editora, 2009.
- CAUCHICK, P.; MORABITO, R.; PUREZA, V. *Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção*. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2011.
- CHWIF, L.; MEDINA, A. Introdução ao software de simulação simul8. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 38., 2006, Goiânia. [S.l.]: Sociedade Brasileira de Pesquisa operacional, 2006. p. 2571–2580.
- CHWIF, L.; MEDINA, A. C.; PEREIRA, W. I.; VIEIRA, D. R.; PECORA, J. J. *Introdução ao Simul8: um guia prático*. [S.l.]: Ed. dos autores, 2015. 160 p.
- CORTOPASSI, M. E. *Otimização do Fluxo de Materiais em uma Fábrica de Cimento*. 92 f. Dissertação (TCC Engenharia de Produção) — Departamento de Engenharia de Produção, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- DIAS, G. J. C.; SCARPIN, C. T.; SAKAGUTI, F. Y.; COSTA, D. M. B. A separação por blocos para o carregamento de caminhões em um centro de distribuição. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 38., 2006, Goiânia. *Anais...* [S.l.]: Sociedade Brasileira de Pesquisa operacional, 2006. p. 876–883.
- FRANCO, G. A.; REZENDE, R. C.; PACO, T. da R.; MEIRELES, G. S. de C. A simulação para auxiliar na movimentação de caminhões e de notas fiscais em um centro de distribuição de moveis e eletrodomésticos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 30., 2010, São Carlos - SP. *Anais...* [S.l.]: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2010. p. 1–14.
- GLOCK, C. H.; GROSSE, E. H.; RIES, J. M. The lot sizing problem: A tertiary study. *International Journal of Production Economics*, Elsevier, v. 155, p. 39–51, 2014.
- GREGOR, D. W. M.; CAIN, M. J. An introduction to simul8. *School of Mathematics & Statistics, University of Plymouth*, 2004.
- LIMA, M. *custos logísticos no brasil*. 2014. Disponível em: <<http://www.ilos.com.br/web/custos-logisticos-no-brasil/>>.
- MAMBO, I. F. *Simulação da operação de carregamento e transporte numa mina a céu aberto de carvão*. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) — Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

MARTINS, J. R.; BACELAR, T. C.; BONFIM, W. B.; RODRIGUES, M. V.; XERES, F. C. Análise ergonômica no transporte manual de cargas: Um estudo de caso em uma empresa de produção de cimento. *Revista GEPROS*, v. 12, n. 1, p. 269, 2017.

MONTGOMERY, G. C. R. D. C. *Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros*. 2. ed. [S.l.]: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1999.

OLIVEIRA, T. C. d. Afundamentos de tensão: avaliação estatística de resultados de medição com base em simulações. 2008.

SANTOS, A. S. dos; LIMA, P. N. D.; WUNSCH, G.; BRASIL, J. E. S. Simulação do carregamento de caminhões em uma indústria metalúrgica. In: SIGEPRO, 1., 2016, São Leopoldo. *Anais...* [S.l.]: Unisinos, 2016.

SANTOS, D. dos. *Estudo de caso do ponto de vista logístico de equipamento instalado em empilhadeira: selecionador de camadas frontal*. 42 f. Dissertação (TCC Engenharia Mecânica) — Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi - RS, 2018.

SELLITTO, M. A.; BORCHARDT, M.; PEREIRA, G. M. Análise de uma operação logística de carregamento e expedição de cimento por simulação computacional. *Revista Gestão Industrial*, v. 5, n. 4, p. 130–151, 2009.

SILVA, M. C.; FREITAS, T. A. F.; MáSCULO, F. S. Métodos de análise ergonômica aplicados às atividades de carregamento manual de caminhões em uma empresa de cerâmicos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 30., 2010, São Carlos - SP. *Anais...* [S.l.]: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2010. p. 1–14.

SIMONSEN, M. H. *Teoria da concorrência perfeita teoria da concorrência imperfeita*. 3. ed. [S.l.]: FGV, 1988.

SNIC. *Números da indústria*. 2018. Disponível em: <<http://snic.org.br/>>. Acesso em: 01 out. 2018.

TORRES, C. Mecanização a passos lentos. *Transporte Moderno*, v. 27, n. 313, 1990.

WAINER, G. A. *Discrete-event modeling and simulation: a practitioner's approach*. [S.l.]: CRC press, 2009.

WETZEL, A. L. G. *Projeto de Arranjo Físico para melhoria de produtividade de carregamento em uma indústria de bebidas*. 145 f. Dissertação (TCC Engenharia de Produção) — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.