

# SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NA ÁREA DE EXPEDIÇÃO FERROVIÁRIA DE UM TERMINAL PORTUÁRIO DE FERTILIZANTES

Victória Nadalutti Ciscotto (IFES) E-mail: [victorianadalutti@gmail.com](mailto:victorianadalutti@gmail.com)

**Resumo:** Com a globalização, tornou-se imprescindível controlar e mensurar as variáveis dos processos e buscar, constantemente, melhores resultados. Sabe-se que para manter a rentabilidade no nível desejado e obter aumento e fidelidade de clientes, é necessária uma melhoria contínua no processo de atendimento. O artigo teve como objetivo utilizar simulação computacional para retratar a área de expedição ferroviária de um terminal portuário, operador logístico de fertilizantes, localizado no Brasil, e propor cenários alternativos. Assim, dados da operação foram levantados e analisados a fim de obter resultados que auxiliem na tomada de decisão da empresa. Os resultados coletados, com 9,3 anos de simulação computacional, foram: *lead time* médio de um lote no sistema de 5,99 horas, 113.800 vagões expedidos, 12.600 lotes expedidos e maiores tempos médios de espera na fila nos processos de limpeza de vagões, manobra e carregamento com 2,29 horas, 0,919 horas e 0,989 horas, respectivamente. Com base nos resultados obtidos, foram propostos dois cenários distintos: cadência rigorosa de chegadas de lotes de vagões vazios na planta da expedição ferroviária (Cenário 1) e redistribuição do percentual dos vagões carregados de cloreto de potássio e ureia (Cenário 2). Na comparação dos dois cenários propostos, o Cenário 1 retornou menores tempos médios de fila e maior quantidade de vagões expedidos e o Cenário 2 menor *lead time* médio de um lote no sistema.

**Palavras-chave:** Simulação computacional, Modelagem, Terminal Portuário, Expedição Ferroviária.

## COMPUTATIONAL SIMULATION IN THE RAILWAY EXPEDITION AREA OF A FERTILIZER PORT TERMINAL

**Abstract:** The globalization has made it imperative to control and measure process variables and constantly seek better results. It is known that in order to maintain profitability at the desired level and obtain customer loyalty and increase, a continuous improvement in the service process is necessary. The article aimed to use computer simulation to portray the railway dispatch area of a port terminal, a fertilizer logistics operator, located in Brazil, and to propose alternative scenarios. Thus, data of the operation were collected and analyzed in order to obtain results that aid in the decision making of the company. The results collected with 9.3 years of computer simulation were: average lead time of a batch in the system of 5.99 hours, 113,800 freight cars dispatched, 12,600 batches dispatched and longer average waiting times in the queue in the vacuum cleaning process, maneuvering process and loading process with 2.29 hours, 0.919 hours and 0.989 hours, respectively. Based on the results obtained, two different scenarios were proposed: strict arrival rate of fertilizer lots from the railway shipment plant (Scenario 1) and redistribution of the percentage of wagons loaded with potassium chloride and urea (Scenario 2). In the comparison of the two proposed scenarios, Scenario 1 returned lower average queue times and more freight shipped and Scenario 2 had the lowest average lead time of a lot in the system.

**Keywords:** Computational Simulation, Modeling, Port Terminal, Railway Expedition.

### 1. Introdução

A movimentação de bens e serviços no Brasil está em constante crescimento. Os valores envolvidos na balança comercial brasileira para a importação e exportação cresceram, em média, seis vezes entre 1993 e 2017. Junto a isso, com o advento da globalização os processos se tornaram interdependentes, o que exigiu do mercado, para se manter competitivo, uma perfeita sintonia entre os elos da cadeia logística, um adequado fluxo de informações e, principalmente, uma logística de transporte eficiente e de baixo custo.

De acordo com Gavira (2003), a logística de transporte é responsável por disponibilizar produtos onde existe demanda potencial, dentro do prazo adequado às necessidades do comprador. Portanto, ela é peça fundamental para atingir os objetivos logísticos de uma

empresa: produto certo, na quantidade certa, na hora certa, no lugar certo e ao menor custo possível.

No presente artigo o modal em foco é o ferroviário, muito utilizado para o transporte de agro vegetais. Lapiro-Loureiro et al. (2008, p.19) afirmam que a produção de agro vegetais, entre eles grãos agrícolas, citro, café e cana, cresce a cada ano e, em paralelo a isso, também cresce a dependência do consumo de fertilizantes para aumento da produtividade das colheitas. Segundo Machado (2016), o Brasil registra, em média, um consumo de 28 milhões de toneladas de fertilizantes por ano, sendo que 75% dessa necessidade é atendida por produto de origem estrangeira. Entre os consumidores de fertilizantes, o Brasil ocupa a quarta posição mundial e é um dos países com maior dependência de importação do produto.

O cenário apresentado aumenta a necessidade de um nível de serviço de qualidade e impulsiona esses terminais logísticos a trabalharem em melhoria contínua dos seus processos com foco na competitividade e conseqüente busca por aumento da fatia de mercado. Para identificar possíveis melhorias em um sistema pode-se utilizar a simulação. De acordo com Moreira (2010, p.271), simular significa reproduzir um sistema, utilizando ferramentas computacionais ou não, aderente a realidade, com a finalidade de estudar suas propriedades.

Por perceber a importância do mercado de importação de fertilizantes para o Brasil, o objetivo do estudo é simular o atendimento de um terminal portuário de importação de fertilizantes, em específico na área de expedição ferroviária, de forma a identificar condições a serem aprimoradas.

## **2. Materiais e métodos**

### **2.1. Local de estudo**

O estudo foi realizado em um terminal portuário operado por uma multinacional brasileira prestadora de serviços logísticos. A empresa tem participação ativa na importação de fertilizantes, entre eles, cloreto de potássio, ureia, fosfato monoamônico e superfosfato triplo. O terminal possui um píer com 240 metros de comprimento, dois guindastes móveis com capacidade de 1200 toneladas por hora cada, um armazém de fertilizantes com 18 baias e capacidade estática de 60 mil toneladas, dois silos alimentadores de vagões ferroviários com capacidade de 550 toneladas por hora e duas linhas ferroviárias, pd01 e pd03. Também há um armazém de sulfato, porém ele não está em utilização.

As responsabilidades logísticas da companhia em estudo sobre os fertilizantes são: desembarque de navios; armazenagem e expedição. O produto é desembarcado do navio através dos guindastes móveis e levado por correia transportadora até a área de estocagem (armazém de fertilizantes). Para expedir o material os operadores, com auxílio de máquinas de carregamento, transportam o produto da baía do armazém para os silos alimentadores que preenchem os vagões ferroviários com carga. Além da ferrovia, a empresa também expede o produto por rodovia, mas esse modal não será tratado no artigo.

### **2.2. Metodologia**

A metodologia de simulação empregada no trabalho foi a descrita por Chwif e Medina (2010, p.12) que fragmentam as etapas metodológicas de simulação como ilustrado na Figura 1, em três grandes grupos denominados: concepção; implementação e análise.

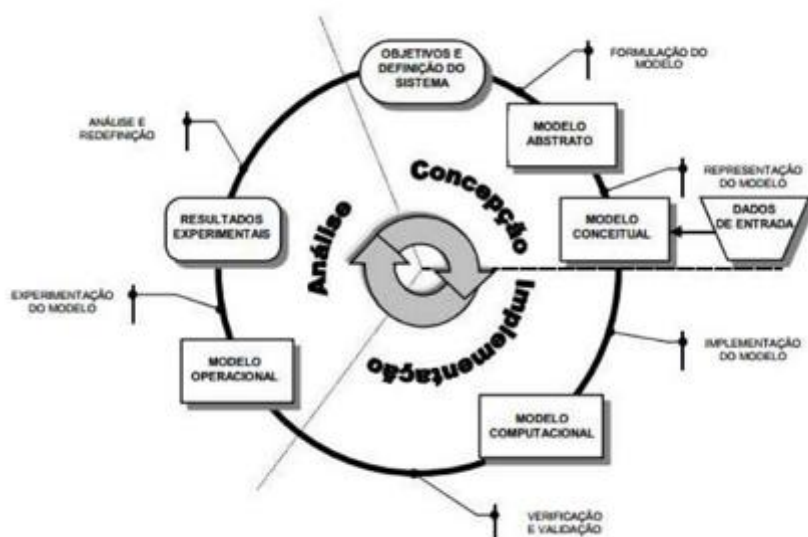


Figura 1 – Metodologia de simulação

Fonte: Chwif e Medina (2010)

### 2.2.1 Modelo conceitual

Para criar o modelo conceitual foram feitas visitas técnicas na área operacional e reuniões com os envolvidos no processo, a fim de entender o sistema de atendimento do terminal e o representar em forma de fluxograma. A partir do conhecimento adquirido foi delimitado o estudo ao processo de expedição ferroviária, pois, de acordo com os especialistas, o gargalo está na expedição e 70% da carga do terminal é expedida pelo modal ferroviário.

O fluxograma, representado pela Figura 2, foi construído a partir do *software Bizagi Modeler* versão 3.1 que segue a metodologia de modelagem de processos BPMN (*Business Process Management Notation*).

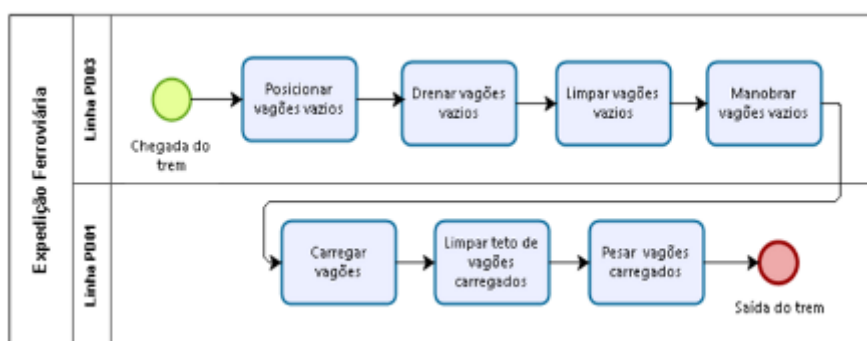


Figura 2 – Modelo conceitual

### 2.2.2 Modelo computacional

Após a concepção do modelo conceitual, iniciou-se a etapa de implementação. Nela, foi desenvolvido um modelo computacional com a finalidade de retratar o cenário real. Para a modelagem foi utilizado o *software Rockwell Arena* 14.0. A Figura 3 ilustra a modelagem computacional.

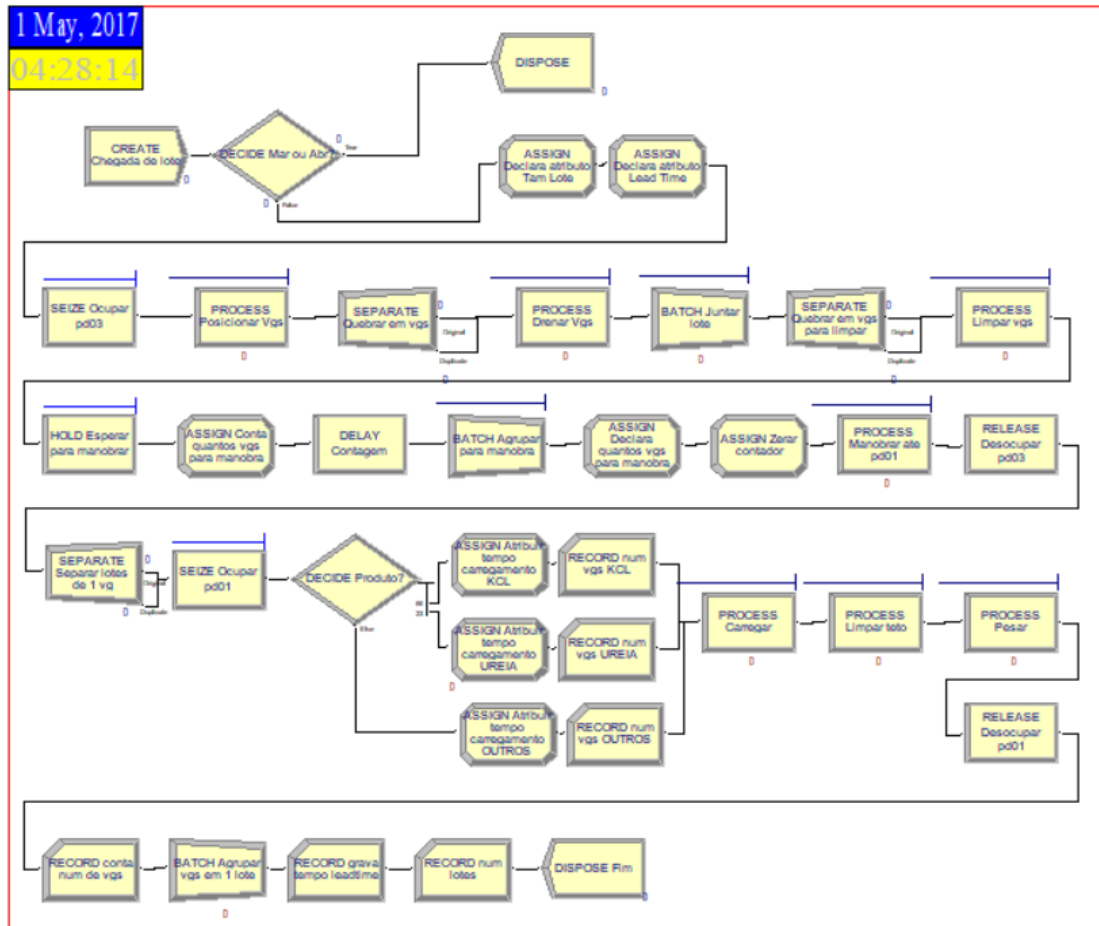


Figura 3 – Visão geral do modelo computacional

Para melhor explicar o modelo computacional, optou-se por numerar e agrupar os blocos em etapas. A primeira etapa é demonstrada na Figura 4.

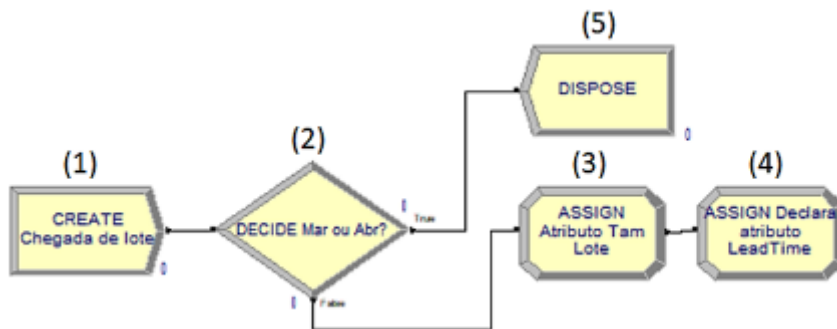


Figura 4 – Primeira etapa

O modelo começa com o bloco (1) que representa a chegada de uma entidade, lote, no sistema. Foram desconsiderados da simulação os meses sem demanda (março e abril). Para identificar os meses de vacância, foi utilizado o bloco (2) do tipo “2-way by condition” com a condição “ $CalMonth(TNOW) > 2 \ \&\& \ CalMonth(TNOW) < 5$ ”. A condição, quando verdadeira, leva o lote ao bloco (5), o que retira o lote do modelo. Já, quando a condição é falsa, o lote é encaminhado ao bloco (3).

No bloco (3), o lote recebe um atributo denominado “TamLote” que indica o número de vagões que o compõem. Em seguida, o bloco (4) declara o atributo “leadtime” a partir do valor “TNOW”.

Com o início da contagem do *lead time*, a segunda etapa do modelo é iniciada, como ilustrado na Figura 5.

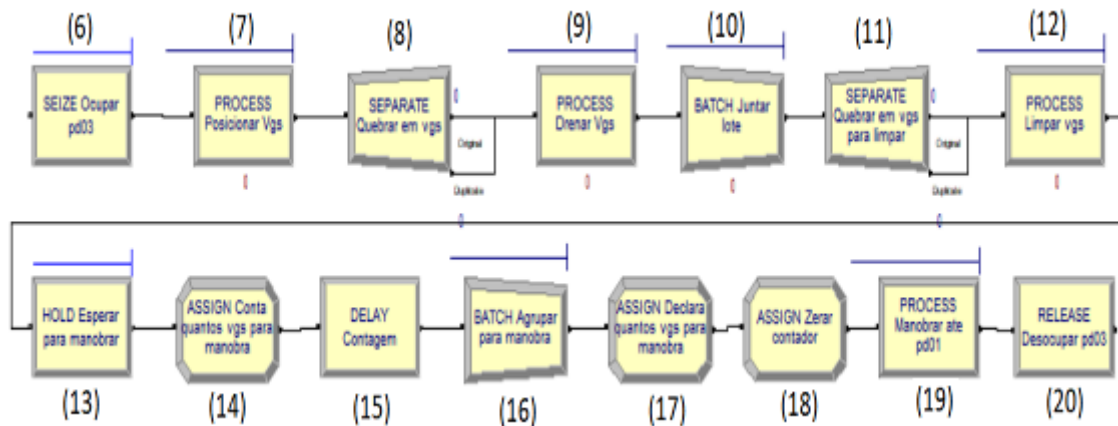


Figura 5 – Segunda etapa

O recurso linha pd03 é ocupada pelo bloco (6) de acordo o atributo “TamLote” da entidade. Na linha ocorrem os processos de posicionar (7), drenar (9), limpar (12) e manobrar (19) vagões vazios. Porém, antes de iniciar a drenagem o bloco (8) é acionado para que seja feita vagão a vagão.

Quando todos vagões têm sua drenagem concluída, são agrupados em um lote pelo bloco (10) para seguirem para a limpeza. O processo limpeza de vazios é feito em cada vagão individualmente, devido ao bloco (11), com “TamLote-1” duplicadas e uma entidade original.

Os vagões, após a limpeza, esperam no bloco (13) por um sinal “PROCESS Manobrar ate pd01.WIP == 0 && PROCESS Carregar.WIP <= 1”, que significa esperar até que o processo manobrar esteja vazio e que reste um ou menos vagões em processo no carregamento, para então serem liberados para a manobra. Os blocos (14), (15), (16), (17) e (18) compõem o processo de contagem e agrupamento dos vagões disponíveis para manobra. Por fim, o lote desocupa o recurso linha pd03 com o bloco (13), a partir do atributo “vgs\_manobra” declarado no bloco (17).

Após a retirada dos vagões da linha pd03, a terceira etapa é iniciada, como ilustrado na Figura 6.

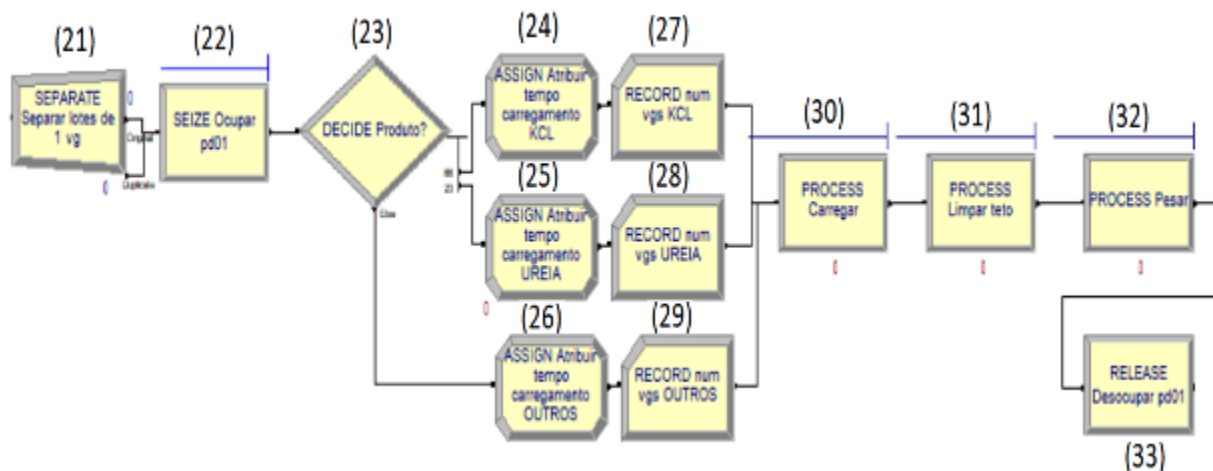


Figura 6 – Terceira etapa

Antes dos vagões ocuparem a pd01 com o bloco (22), eles são separados pelo bloco (21) em lotes com um vagão cada para serem carregados individualmente, já que a capacidade do silo alimentador é de atender a apenas uma unidade de vagão por vez.

De maneira prévia ao carregamento, o vagão passa pelo bloco (23) onde, com base nos percentuais das bases de dados da empresa dos anos de 2016 e 2017, é direcionado para o carregamento de cloreto de potássio (KCL), ureia ou outros (fosfato monoamônico/ superfosfato triplo). Antes de carregar de fato, é atribuído ao vagão uma curva estatística de tempo de carregamento pelos blocos (24), (25) ou (26). Em seguida os blocos (27), (28) ou (29) contabilizam o número de vagões que serão carregados por produto, para, por fim, ocorrer o carregamento no bloco (30).

Após carregados, os vagões seguem para o processo de limpeza de teto, a fim de evitar futuras contaminações de carga no destino e, posteriormente, pelo processo de pesagem, representados pelos blocos (31) e (32), respectivamente. Por fim, os vagões desocupam o recurso linha pd01 com o bloco (33). Com a retirada dos vagões da linha pd01, a quarta e última etapa é iniciada, como ilustrado na Figura 7.



Figura 7 – Quarta etapa

O bloco (34) contabiliza todos os vagões carregados antes que passem pelo bloco (35), onde são agrupados em um lote novamente, a partir do atributo “TamLote”. O lote, então, tem seu *lead time* gravado com o bloco (36), é computado com o bloco (37) e sai do sistema a partir do bloco (38).

Para acompanhar o comportamento das variáveis do modelo computacional foi criado um painel, retratado pela Figura 8, com diversos indicadores, entre eles, tempo médio de fila, um gráfico referente a ocupação das linhas férreas, sinalizadores de disponibilidade dos recursos, quantidade de vagões por manobra e número de vagões e lotes expedidos. As estatísticas decorrentes da simulação foram armazenadas, com o auxílio do módulo *statistics* para posteriores análises no *software Output Analyzer*.



Figura 8 – Painel de indicadores

### 2.2.3 Verificação e validação dos modelos

Chwif e Medina (2010, p. 108) descrevem a verificação como uma análise do modo no qual o modelo está implementado. O modelo computacional foi verificado a partir da técnica denominada “Utilização de *debugger*, *trace* ou depurador”. O depurador foi utilizado, a fim de observar o comportamento das entidades em cada um dos blocos e corrigir possíveis erros.

Banks et al. (2010) dissertam sobre a importância da validação dos modelos, já que é a demonstração que eles são uma representação confiável da realidade. Para validar foram utilizados os testes *face a face* e de *Turing*.

No teste *face a face* foram apresentados os modelos conceitual e computacional ao especialista do processo e discutidos todos os elementos presentes neles, a fim de confirmar suas aderências a realidade. Após resultado positivo, ainda foi realizado o teste de Turing, em que foi apresentado ao especialista valores de saída reais e simulados, apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores reais e simulados

Produto	Número de vagões expedidos (real)	Número de vagões expedidos (simulado)	Aderência
Cloreto de potássio	17.085	17.746	96,3%
Ureia	5.982	6.222	96,1%
Outros	2.798	3.046	91,9%
Total	25.865	27.014	95,7%

Fonte: Elaborado pela Autora (2020)

O valor de saída representa a quantidade de vagões expedidos em 2 anos (anos de 2016 e 2017). O especialista não conseguiu identificar qual era o valor real e qual era o simulado, o que confirmou a validação.

Após perceber que o modelo computacional estava em correto funcionamento, ele passou a ser denominado modelo operacional.

## 3. Resultados e Discussões

### 3.1. Cenário atual

A partir do modelo operacional foram mensuradas variáveis como: *lead time* médio de um lote no sistema, número de vagões expedidos por produto e total, quantidade de lotes expedidos e tempo médio de espera na fila.

Para a análise de resultados, foram coletados os dados de saída de 9,3 anos com 10 replicações a fim de tornar os resultados ainda mais confiáveis. A Tabela 2 retrata os dados de saída do sistema.

Tabela 2 – Valores reais e simulados

Variável	Valor coletado	Intervalo de confiança
<i>Lead time</i> médio (horas)	5,99	[5,92;6,05]
Média de vagões expedidos total	113.800	[113.000;115.000]
Média de vagões expedidos total KCL	74.900	[74.900;75.800]
Média de vagões expedidos total UREIA	26.300	[26.100;26.400]
Média de vagões expedidos total OUTROS	12.600	[12.500;12.700]

Média de lotes expedidos	3.660	[3.064;3.680]
Tempo médio de fila posicionamento (horas)	0,0519	[0,0498;0,054]
Tempo médio de fila drenagem (horas)	0,0446	[0,0433;0,046]
Tempo médio de fila limpeza de vazios (horas)	2,29	[2,28;2,3]
Tempo médio de fila de espera por manobra (horas)	0,919	[0,91;0,927]
Tempo médio de fila carregamento (horas)	0,989	[0,981;0,997]
Tempo médio de fila limpeza de teto (horas)	0,0181	[0,0179;0,0183]
Tempo médio de fila pesagem (horas)	0,00565	[0,00546;0,00584]

Fonte: Elaborado pela Autora (2020)

Observa-se, que os maiores tempos de fila de espera do modelo estão na limpeza de vagões vazios, manobra e carregamento. Sendo, o tempo de fila de limpeza de vazios, responsável por 38,2% do tempo de *lead time*, em média.

Ao relacionar o número de vagões e lotes expedidos calcula-se um lote médio de aproximadamente 31 vagões. Além disso, com base no peso médio de vagão obtido em planilha eletrônica a partir do sistema de gerenciamento portuário da empresa foi calculado o volume movimentado para o período simulado.

A Tabela 3 apresenta o peso médio, número de vagões expedidos e volume movimentado por produto.

Tabela 3 – Volume movimentado por produto

Produto	Peso médio (tonelada/vagão)	Número de vagões expedidos	Volume movimentado (tonelada)
Cloreto de potássio	62,5	74.900	4.681.250
Ureia	57,5	26.300	1.512.250
Outros	59	12.600	743.400
Total	-	114.000	6.936.900,00

Fonte: Elaborado pela Autora (2020)

Portanto, com base na simulação computacional, no período escolhido, foi movimentado no processo de expedição ferroviária do terminal um total de 6.936.900 toneladas.

### 3.2. Cenário proposto 1

A fim de reduzir o *lead time* dos lotes no sistema foram acionados os especialistas no processo para discussões acerca da expedição ferroviária.

Em reuniões com a operação e planejamento portuário e a partir da base de dados em planilha eletrônica referentes ao intervalo entre chegadas de lotes de vagões ferroviários vazios, foi identificado que embora há o acordo da ferrovia de disponibilizar um lote para posicionamento a cada 12 horas, as chegadas não são rigorosamente cadenciadas.

Para mensurar os ganhos a partir do cadenciamento rigoroso de chegadas de lotes de vagões vazios, foi modificada a lógica do simulador, conforme Figura 9.



Figura 9 – Novo intervalo de chegada

Após a mudança de cadência de chegadas do modelo foi construída a Tabela 4, que demonstra os resultados obtidos do cenário 1.

Tabela 4 – Cenário Proposto 1

Variável	Valor coletado	Intervalo de confiança	Valor cenário real
Lead time médio (horas)	5,87	[5,85;5,89]	5,99
Média de vagões expedidos total	153.200	[154.000;171.000]	113.800
Média de vagões expedidos total KCL	101.000	[76.000;113.000]	74.900
Média de vagões expedidos total UREIA	35.300	[26.400;39.400]	26.300
Média de vagões expedidos total OUTROS	16.900	[12.500;12700]	12.600
Média de lotes expedidos	4.930	[3.690;5.480]	3.660
Tempo médio de fila posicionamento (horas)	0,15	[0,111;0,187]	0,0519
Tempo médio de fila drenagem (horas)	0,0227	[0,0167;0,0286]	0,0446
Tempo médio de fila limpeza de vazios (horas)	1,83	[1,36;2,27]	2,29
Tempo médio de fila de espera por manobra (horas)	0,747	[0,559;0,844]	0,919
Tempo médio de fila carregamento (horas)	0,814	[0,61;0,925]	0,989
Tempo médio de fila limpeza de teto (horas)	0,00766	[0,00572;0,0091]	0,0181
Tempo médio de fila pesagem (horas)	0,003	[0,00225;0,00346]	0,00565

Fonte: Elaborado pela Autora (2020)

Ao comparar o cenário 1 com o cenário real observa-se, que o *lead time* médio do lote no sistema com o cenário 1 é 2% menor que o obtido com o cenário real. O novo cenário, expede 39.400 vagões e 1270 lotes a mais no mesmo período. Também nota-se, ao somarmos todos os tempos médios em fila, que o cenário 1 proporciona uma diminuição de 17,2% no tempo médio de espera.

### 3.3. Cenário proposto 2

No cenário atual, 66% dos vagões são atribuídos ao cloreto de potássio, 23% a ureia e 11% aos outros. Como proposta de novo cenário, optou-se por aumentar a participação do cloreto de potássio para 80% em detrimento da diminuição da parcela de ureia para 9%, uma vez que o tempo médio de carregamento dela é maior. A Tabela 5, demonstra os resultados do novo cenário.

Tabela 5 – Cenário Proposto 2

Variável	Valor coletado	Intervalo de confiança	Valor cenário real
Lead time médio (horas)	5,71	[5,68;5,73]	5,99
Média de vagões expedidos total	114.300	[114.000;115.000]	113.800
Média de vagões expedidos total KCL	91.400	[91.100;91.700]	74.900
Média de vagões expedidos total UREIA	10.300	[10.200;10.300]	26.300
Média de vagões expedidos total OUTROS	12.600	[12.500;12.700]	12.600
Média de lotes expedidos	3.670	[3.650;3.680]	3.660
Tempo médio de fila posicionamento (horas)	0,0536	[0,0512;0,0559]	0,0519
Tempo médio de fila drenagem (horas)	0,0455	[0,0439;0,0471]	0,0446
Tempo médio de fila limpeza de vazios (horas)	2,29	[2,28;2,3]	2,29
Tempo médio de fila de espera por manobra (horas)	0,975	[0,962;0,987]	0,919
Tempo médio de fila carregamento (horas)	1,06	[1,04;1,07]	0,989
Tempo médio de fila limpeza de teto (horas)	0,0184	[0,0182;0,0187]	0,0181
Tempo médio de fila pesagem (horas)	0,00554	[0,00539;0,00569]	0,00565

Fonte: Elaborado pela Autora (2020)

O simulador expediu 500 vagões a mais (0,4%) no cenário 2 quando comparado ao cenário real. Também, observa-se que o *lead time* médio do lote no sistema foi de 5,99 para 5,71 (-4,7%). Embora, alguns tempos de espera na fila tenham aumentado, o novo cenário é satisfatório, já que atendeu os requisitos de aumento de lotes expedidos e baixa no *lead time*.

## 5. Conclusões

A partir do exposto, pode-se afirmar que o presente trabalho atingiu os objetivos traçados inicialmente dado que o modelo de simulação de eventos discretos desenvolvido conseguiu representar a expedição ferroviária do terminal portuário estudado e gerar resultados confiáveis. O modelo foi verificado e validado a partir da utilização do depurador e dos testes *face a face* e de *Turing*, nos quais se concluiu que, apesar das simplificações realizadas, ele representa, de fato, a realidade a qual simulava.

A execução do modelo no *software Arena Rockwell 14.0* possibilitou quantificar o nível de serviço gerado para cada processo através do tempo médio de fila em cada processo nos anos do horizonte avaliado. Além disso, foi possível identificar o *lead time* médio de um lote no sistema. Dessa forma, foi identificada a responsabilidade de cada um dos processos que compõem a expedição ferroviária no *lead time* final do lote.

Em linhas gerais, pode-se concluir que perseguir a cadência rigorosa de chegadas de lotes do processo de expedição ferroviária é uma alternativa para se atingir um aumento de produtividade do terminal e uma forma de abaixar o tempo médio de estadia de um lote no sistema. O cenário proposto, denominado Cenário 1, em comparação ao cenário real, obteve *lead time* médio 2% menor e expediu 39.400 vagões e 1270 lotes a mais no mesmo período. É válido ressaltar que o cenário foi pensado para obter-se melhorias no processo em estudo, mas, por a expedição ferroviária ter interface e dependência de outras áreas da empresa é necessário um acordo e estudo em conjunto com toda a cadeia logística.

Ainda na análise das variáveis do sistema, notou-se que entre os produtos expedidos pelo terminal o tempo médio de carregamento do produto ureia é o maior. Então, foi proposto o Cenário 2 com uma reorganização de percentuais de vagões por produto, no qual foi aumentada a quantidade de vagões de cloreto de potássio (KCL) em detrimento da diminuição dos vagões de ureia, o que resultou em um menor *lead time* médio (-4,7%) e maior número de vagões expedidos, com consequente aumento de volume movimentado.

Na comparação dos dois cenários propostos, o Cenário 1 retornou menores tempos médios de fila e maior quantidade de vagões expedidos e o Cenário 2 menor *lead time* médio de um lote no sistema.

Entre os tempos de fila, a maior média foi obtida no processo limpeza de vagões vazios. Como proposta de estudos futuros ficam a quantificação de ganhos e a análise de viabilidade da mudança de localidade do processo limpeza de vagões vazios da linha pd03 para o armazém de sulfato, visto que o local não está em utilização. Para tornar o cenário possível, seria necessário um acordo em que a ferrovia disponibilize lotes de vagões vazios no dia anterior para que seja formado um bloco de vagões limpos e disponíveis.

Por fim, ainda em estudos futuros, propõe-se investigar a possibilidade de recalcular o aceite do volume percentual de cada um dos tipos de fertilizantes, com um aumento da participação do produto cloreto de potássio (KCL) em detrimento da diminuição do produto ureia a fim de obter maior número de vagões expedidos.

### **Referências**

- BANKS, Jerry et al.** *Discrete-Event System Simulation*. 5. ed. Nova Jersey: Pearson Education, 2010. 622p.
- CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso C.** Modelagem e simulação de eventos discretos: Teoria & Aplicações. 3. ed. São Paulo: Bravarte, 2010.
- GAVIRA, Muriel de Oliveira.** In: MOCCELLIN, João Vitor. Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento. São Carlos, 2003. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18140/tde-20052003-004345/pt-br.php>>. Acesso em: 6 jul. 2020.
- LAPIDO-LOUREIRO, Francisco Eduardo et al.** Fertilizantes agroindústria e sustentabilidade. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009. 645p.
- MACHADO, Roberta.** Apesar de ser potência no agronegócio, Brasil importa 75% dos fertilizantes que usa. *Jornal Estado de Minas*. 22 fev. 2016. Seção Agropecuário. Disponível em: <[https://www.em.com.br/app/noticia/agropecuario/2016/02/22/interna\\_agropecuario,736370/apesar-de-forte-no-agronegocio-brasil-importa-75-dos-fertilizantes.shtml](https://www.em.com.br/app/noticia/agropecuario/2016/02/22/interna_agropecuario,736370/apesar-de-forte-no-agronegocio-brasil-importa-75-dos-fertilizantes.shtml)>. Acesso em: 6 jul. 2020.
- MOREIRA, Daniel Augusto.** Pesquisa operacional: curso introdutório. Cengage Learning Edições Ltda., 2010.