

## **SIMULAÇÃO DO FLUXO DE PRODUTOS UTILIZADOS NA MANUFATURA DE VACINAS NA BIO-MANGUINHOS**

**Anderson Pessoa Valença**

[valencarj@ig.com.br](mailto:valencarj@ig.com.br)

**Mário Jorge Ferreira de Oliveira**

[mario\\_jo@pep.ufrj.br](mailto:mario_jo@pep.ufrj.br)

**Lício Magno de Paula Lima**

[liciompl@gmail.com](mailto:liciompl@gmail.com)

**Marcelo Tahiro Nascimento Kagami**

[marcelo.tahiro@gmail.com](mailto:marcelo.tahiro@gmail.com)

**Leonardo Claro Garcia**

[leoclaro@terra.com.br](mailto:leoclaro@terra.com.br)

### **Resumo**

O objetivo deste artigo é contribuir para a melhoria da disponibilização de itens utilizados no processo de manufatura de vacinas na Bio-Manguinhos. O estudo é focado em três tipos de produtos: A (específicos para vacina), B (auxiliares de produção) e C (apoio). Um trabalho de campo foi realizado visando identificar todo o ciclo de vida de cada um desses três tipos de componentes, desde o seu recebimento no almoxarifado até a sua disponibilização para a cadeia produtiva. Foi desenvolvido um modelo de simulação a eventos discretos com o propósito de identificar gargalos no fluxo de materiais e estudar cenários alternativos que eliminem ou minimizem seus impactos no processo produtivo.

**Palavras-Chave:** Simulação a eventos discretos. Almoxarifado. Armazenagem

### **Abstract**

This article aims to contribute to improving the availability of items used in the manufacturing process of vaccines in the Bio-Manguinhos. The study is focused on three types of products: A (specific to vaccine, B (production assistant) and C (support). A field work was conducted to identify the full life cycle of each of these three types of components, since its receipt in the warehouse until their use in the supply chain. We developed a discrete event simulation model in order to identify bottlenecks in the flow of materials and consider alternative scenarios that eliminate or minimize their impacts in the production process.

**Keywords:** Discrete-Event simulation. Warehouse. Storage

### 1 Introdução

Segundo CHWIF e MEDINA (2007), a área de manufatura, depois da área militar, é o segundo maior campo de aplicação da simulação. Vários autores abordam o estudo da modelagem de sistemas de movimentação e armazenagem de materiais, como por exemplo, em PIDD (2004) e BANKS *et al.* (2005). Para CASSEL *et al.* (2002), um dos campos de aplicação da simulação é a logística de armazéns, fábricas e sistemas de distribuição, nos quais podem ser simuladas alternativas de *layout*, fluxos de pessoas e materiais, métodos de trabalho, meios de transporte e alocação de recursos. BALLOU (2006) considera a simulação computacional uma técnica adequada para avaliar a dinâmica do fluxo de materiais e informações em operações logísticas.

SELLITTO *et al.* (2009) cita, entre outras, aplicações da simulação na solução de problemas logísticos. PERSSON e ARALDI (2007) integraram o modelo *Supply Chain Operations Reference* (SCOR) de gestão de cadeias de suprimentos e uma ferramenta de simulação de eventos discretos para análise de efeitos dinâmicos. CHATFIELD *et al.* (2006) desenvolveram um simulador de operações em cadeias de suprimentos. TERZI e CAVALIERI (2004) fizeram uma revisão de artigos investigando o uso de simulação na gestão de cadeias de suprimentos (SCM). ZEE e VORST (2005) propuseram um quadro de trabalho para o uso de modelagem e simulação em logística. É importante ressaltar também a existência de inúmeras outras bibliografias quando nos referimos a otimização e planejamento gerencial relacionados a sistemas de manufatura, conforme pode ser visto em EKREN e ORNEK (2008) e ELLEUCH *et al.* (2008).

É importante ressaltar que a grande parte dos trabalhos referenciados tiveram como objetivo simular diversos sistemas, como de manufaturas, armazéns, fábricas, fluxo de pessoas, de materiais, entre outros, com o intuito de se realizar a otimização nos processos, diminuindo-se, assim, o tempo total gasto e aumentando, conseqüentemente, a produtividade, propiciando métodos adequados para um devido planejamento gerencial.

Este estudo possui como diferencial o fato de analisarmos um sistema produtivo de vacinas, que além de possuir características bem peculiares, também possui grande relevância para saúde pública do país e para organismos internacionais como a UNICEF. A busca da eficiência na análise desse problema reveste-se de maior importância por tratarmos de um produto, cuja oferta não pode faltar nos períodos previamente agendados para vacinação, sob pena de causar grandes prejuízos à saúde pública.

O presente trabalho foi realizado no Instituto de Tecnologia em Imunobiológicos (Bio-Manguinhos), que é a unidade técnico-científica da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) e teve como foco a armazenagem, controle de qualidade e a movimentação de produtos usados tanto diretamente quanto indiretamente na produção das vacinas. A motivação para esse trabalho surgiu em decorrência da percepção da Seção de Planejamento e Controle da Produção, ao observar que suas programações semanais de controle de qualidade para as matérias-primas muitas vezes atrasavam, refletindo em todo fluxo da cadeia produtiva, visto que esses itens não podiam ser disponibilizados enquanto não passassem pelo referido controle. Esses atrasos possuíam diversas causas, como por exemplo, a demora na amostragem de determinado lote, falta de caminhão para entrega da amostra no laboratório, falta de empilhadeira para a retirada de amostras do almoxarifado, entre outras. Dessa forma, este artigo tem o objetivo de construir um modelo, voltado para o fluxo de produtos utilizados na manufatura das vacinas, para realização de experimentos que simulem o sistema como um todo e que possibilitem a sua compreensão a partir de uma criteriosa avaliação do seu desempenho.

## 2 A modelagem baseada na simulação a eventos discretos

Segundo FORRESTER (1968), sistema é um agrupamento de partes que operam juntas, visando a um objetivo comum. Logo, esse objetivo deve estar perfeitamente claro para que todo o sistema seja devidamente compreendido durante a simulação.

A modelagem de um sistema vem a constituir-se na parte mais importante da simulação, pois é através dela que buscamos obter as mesmas respostas que obteríamos no sistema real. De acordo com LAW e KELTON (2000), a simulação é uma técnica de avaliação, onde os resultados obtidos dependem da qualidade da modelagem dos dados de entrada.

Para modelarmos o nosso problema, visamos à disponibilidade dos insumos que seriam necessários na linha de produção das vacinas. Cabe destacar que foram construídos três modelos, um para cada tipo de insumo:

- I. Produtos tipo A – Utilizados diretamente na produção das vacinas;
- II. Produtos tipo B – Produtos auxiliares da produção; e
- III. Produtos tipo C – Material de expediente e apoio.

Um vasto trabalho de campo foi realizado, por meio de visitas realizadas ao almoxarifado e ao Departamento de Planejamento e Controle da Produção, visando à coleta de dados. Posteriormente o problema foi modulado sob a forma de diagrama e transformado em um modelo computacional, onde pudemos avaliar o desempenho do sistema em cenários diversos. Por meio dos dados coletados através de visitas e de entrevistas com os funcionários envolvidos na área de operação do almoxarifado e na área de Planejamento e Controle da Produção, pode-se aplicar uma distribuição triangular aos tempos inerentes a cada uma das atividades mostradas na Tabela 1.

Atividades	T Mín (min)	Moda (min)	T Max (min)
Receber lote	7	10	20
Documentar	2	4	6
Etiquetar	10	15	20
Armazenar na área de quarentena	5	10	20
Colher amostras	25	40	60
Analisar amostras	480	720	960
Etiquetar verde ou vermelho	10	20	30
Mover para estoque	15	20	30
Conferir solicitação de usuários	10	15	20
Mover para o caminhão	10	15	20
Entregar para o usuário	20	30	40
Retornar ao fornecedor	15	20	30

Tabela 1 – Duração das atividades

Nos casos específicos dos produtos tipo A e B, as normas de regulamentação técnica exigem o controle de qualidade, para tanto é necessário que uma amostra desses produtos seja retirada e enviada para análise e enquanto a amostra não retorna, o produto permanece em quarentena e não pode ser disponibilizado.

Também é de suma importância destacar, que por ocasião da confecção das três modelagens, foi levado em consideração, na coleta dos tempos dos processos, o compartilhamento de recursos utilizados por essas três diferentes entidades, já que os recursos por elas utilizados são os mesmos e em

determinados momentos ocorre que um tipo de entidade tem que aguardar a outra liberar um recurso que está sendo utilizado para poder também utilizá-lo e seguir o seu fluxo.

### 3 O experimento

Foram analisados os três modelos, um para o produto tipo A, outro para o tipo B e outro para o tipo C, sendo realizadas 10 replicações para cada. O número de replicações e a duração total da simulação foram feitos com base em uma coleta de dados correspondente a um período de 10 dias, considerando-se cada dia com 8 horas, ou seja, o equivalente à duração do expediente dos empregados da Bio-Manguinhos. Optou-se por esta forma de abordagem, separando-se os produtos por tipo, como forma de verificarmos a influência no fluxo de cada um dos modelos no problema em questão, o que pode ser feito, já que, como citado anteriormente, nas tomadas de tempo de cada processo foi considerado e registrado os recursos compartilhados para esses três tipos de entidades. É importante ressaltar também que durante as entrevistas com os especialistas da área, percebeu-se a não existência de dependência aleatória entre os processos, viabilizando, portanto, a forma de abordagem citada. Durante a análise de cenários alternativos, buscou-se observar os processos que demandavam mais tempo e os recursos com maior taxa de utilização, para propor um novo redimensionamento do sistema.

Por ocasião da confecção dos modelos, o produto, seja do tipo A, B ou C foi inserido como entidade principal devendo percorrer uma série de processos em um fluxo, conforme será mostrado adiante. As simulações dos modelos foram realizadas utilizando-se o software Arena – versão 12.

#### 3.1 A modelagem para os produtos tipo A

Para a construção deste modelo, as seguintes atividades foram consideradas conforme descritas abaixo:

- I. Fornecer – É por onde a entidade entra no sistema, que se traduz na curva de chegada do produto entregue pelos fornecedores, de acordo com o que foi verificado no trabalho de campo;
- II. Receber lote – É a conferência e recebimento do material por funcionário do almoxarifado;
- III. Dar entrada nos documentos – Essa atividade é realizada por um digitador que dá a entrada do produto no sistema interno que controla e gerencia esses materiais;
- IV. Enviar para a quarentena – Consiste em enviar o material recebido para um setor no almoxarifado destinado a manutenção em quarentena daqueles produtos que estão aguardando o resultado do controle de qualidade;
- V. Colher amostra – Significa retirar uma amostra do produto recebido e enviá-lo para o controle de qualidade;
- VI. Analisar – Reproduz o período em que as amostras estão sendo analisadas no controle de qualidade;
- VII. Etiquetar verde – Reproduz a atividade de etiquetar os produtos que foram aprovados no controle de qualidade;
- VIII. Levar para o Estoque – Significa levar o produto que estava no setor de quarentena para o seu local de armazenagem no almoxarifado;
- IX. Processar de pedidos – Reproduz uma atividade realizada por um expedidor que consolida os pedidos dos produtos solicitados pelo setor da produção e informa ao almoxarifado;
- X. Entregar de pedidos – Atividade realizada por um caminhão que leva o produto do almoxarifado para o setor de produção;
- XI. Etiquetar vermelho – Atividade realizada quando o produto é reprovado na análise do controle de qualidade;

XII. Retornar ao fornecedor – Significa devolver o produto reprovado pelo controle de qualidade.

Para melhor entendimento do modelo, cabe ressaltar que a atividade “Colher amostra” foi precedida de um módulo de decisão, onde uma parte do produto recebido é encaminhada à análise enquanto o restante fica aguardando o resultado para poder seguir ou não no fluxograma até o solicitante. Da mesma forma, a atividade “Analisar” é seguida de outro módulo de decisão, onde os produtos aprovados podem seguir no fluxograma até a entrega ao solicitante, enquanto os reprovados seguem para retorno ao fornecedor. A Figura 1 abaixo ilustra o modelo proposto.

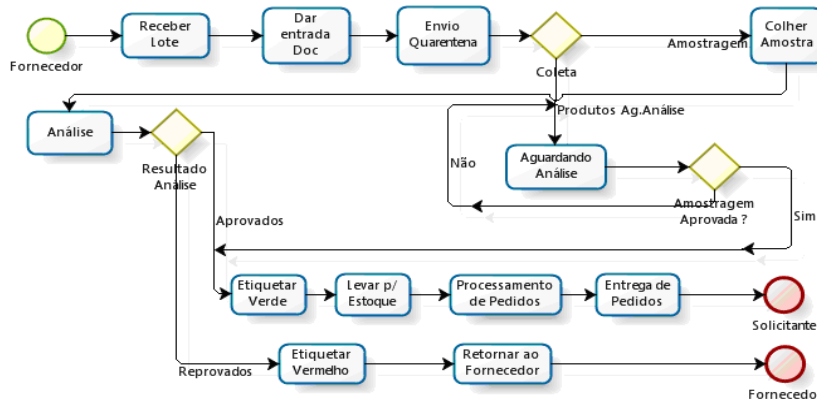


Figura 1 – Ciclo de vida dos produtos tipo A

### 3.1.1 Resultados obtidos pelo modelo

Após o processamento do experimento, obtemos como resultado um tempo médio de atendimento de 2.179,58 minutos (aproximadamente 4 dias e meio de expediente), que somado a um tempo médio de fila de 580,38 minutos (aprox. 1 dia de expediente), perfaz um tempo total de 2.759,96 minutos (aproximadamente 1 dia e 21 horas corridos) para a disponibilização dos produtos ao usuário, o que corresponde a um período superior a 5 dias de expediente.

Pudemos constatar que as maiores filas ocorrem nas atividades “Receber lote” e “Etiquetar verde” com tempos de espera médios de 204,16 (aproximadamente 3 horas e meia) e 361,18 minutos (aproximadamente 6 horas), respectivamente. Observou-se também que o recurso responsável pela análise é o que apresenta maior taxa média de utilização, bastante superior aos demais, de forma que iremos focar a análise do nosso modelo sobre o redimensionamento das capacidades do receptor de lotes, etiquetador verde e analista, pois representam indícios de possíveis gargalos para o fluxo.

Inicialmente dobramos a capacidade do receptor de lotes e observamos que embora o seu tempo médio de fila tenha reduzido de 204,16 (3 horas e meia) para 91,72 minutos (1 hora e meia), ele apresentou uma redução de apenas 3 minutos no tempo total. Porém ao triplicarmos a sua capacidade, essa redução passa para 20 minutos, ou seja, ainda bastante incipiente em relação ao investimento realizado, pois verificamos que a fila apenas muda de lugar, o que evidencia que a atividade “Receber lote” por si só não representaria um gargalo para o sistema.

Ao duplicarmos a capacidade do etiquetador obtemos uma redução de cerca de 1 hora e meia do tempo total médio, porém ao triplicarmos essa capacidade já não obtemos qualquer ganho, o que deixa claro que não compensaria investir em um aumento da capacidade deste recurso.

Passamos então para o recurso responsável pela “Análise”, processo que demanda grande parte do tempo do modelo e cuja moda é de 1.447 minutos (aproximadamente 3 dias de expediente). Logo de início, observamos uma acentuada diminuição no tempo total médio ao duplicarmos a capacidade desse

## PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

recurso, que passa de 2.759,96 (aproximadamente 6 dias de expediente) para 1.865,20 minutos (aproximadamente 4 dias de expediente). Ao triplicarmos e quadruplicarmos essa capacidade obtemos os tempos totais médios de 1566,72 (aproximadamente 3 dias de expediente) e de 1417,58 minutos, respectivamente (aproximadamente 3 dias de expediente).

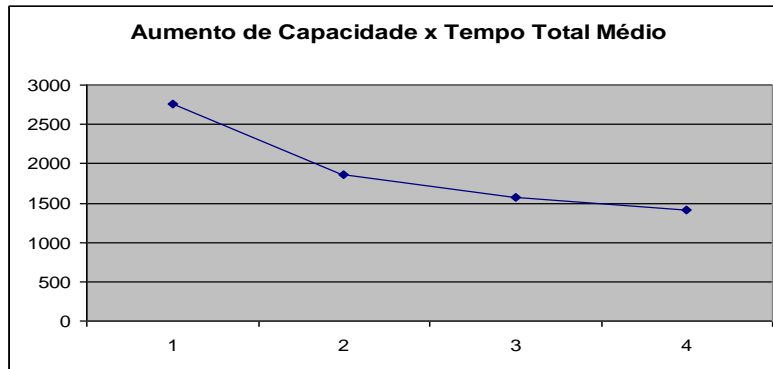


Figura 2 – Evolução do tempo total médio em relação ao incremento da capacidade de análise

A Figura 2 acima apresenta graficamente a evolução do tempo médio total em relação ao incremento da capacidade de análise. Verifica-se um comportamento bastante distinto em comparação com os experimentos anteriores, em que observamos os resultados obtidos ao trabalharmos com os recursos receptor de lote e etiquetador verde. Agora constatamos uma queda abrupta do tempo total médio ao dobrarmos a capacidade de análise, o que proporcionaria um ganho de quase dois dias para que o produto pudesse ser disponibilizado. Entretanto ao triplicarmos e quadruplicarmos a capacidade, o gráfico já apresenta uma curva de ganho mais suave. Porém, quando realizamos combinações desse experimento com os outros relacionados às atividades “Receber lote” e “Etiquetar verde”, verificamos que os ganhos obtidos foram desprezíveis em relação ao obtido no incremento da análise.

### 3.2 A modelagem para os produtos tipo B

Já para a construção do modelo para os produtos tipo B, as seguintes atividades foram consideradas:

- I. Receber lotes - Atividade de recebimento dos lotes oriundos dos fornecedores dos produtos pertencentes ao grupo B. Recurso utilizado – Paleteira.
- II. Documentar - Ao receber os produtos pertencentes ao grupo B, é necessário que eles sejam documentados para um posterior planejamento. Recurso utilizado – Almoxarife conferencista.
- III. Etiquetar - Após a documentação, são emitidas etiquetas de identificação de cada produto pertencente ao grupo B. Recurso utilizado – Almoxarife conferencista.
- IV. Armazenar na área de quarentena - Após a documentação e a emissão das etiquetas, os produtos são encaminhados para uma área de quarentena, uma vez que precisam ser analisados. Recurso utilizado – Empilhadeira.
- V. Analisar amostras - Retiram-se, então, amostras dos lotes situados na área de quarentena. As amostradas são então enviadas ao laboratório de controle de qualidade, onde serão analisadas. Recurso utilizado – Equipe de Analistas de Controle de Qualidade.
- VI. Etiquetar verde ou vermelho - Caso a amostra seja aprovada, ela será etiquetada de verde, porém caso seja reprovada, será etiquetada de vermelho para posterior devolução. Recurso utilizado – Técnico de Amostragem.
- VII. Mover para o estoque - As amostradas aprovadas, ou seja, etiquetadas de verde fazem com

## PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

que os lotes do produto sejam enviados para o estoque. Recurso utilizado – Empilhadeira.

VIII. Conferir solicitação de usuários - Após o envio dos lotes para o estoque, o almoxarife conferencista deve conferir a solicitação de produto pelo usuário. Recurso utilizado – Almoxarife conferencista.

IX. Mover para o caminhão - Após conferir a solicitação dos usuários, move-se os produtos, por meio da empilhadeira, para o caminhão. Recurso utilizado – Empilhadeira.

X. Entregar para o usuário - Entrega-se o produto ao usuário final. Recurso utilizado – Caminhão.

Uma vez descritas as principais atividades utilizadas, a Figura 3 apresenta a modelagem da simulação do ciclo de vida dos produtos tipo B.

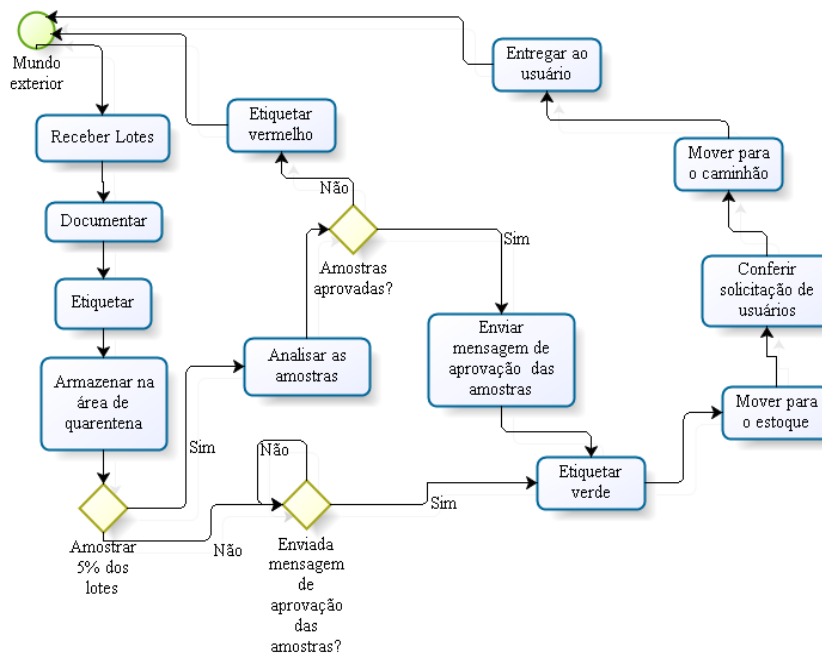


Figura 3 – Ciclo de vida dos produtos tipo B

É importante destacar que na modelagem apresentada na Figura 3, há um bloco funcional denominado “Amostrar 5% dos lotes”. Esse bloco mostra que, dos lotes oriundos do mundo exterior, aproximadamente 5% deles são amostrados, segundo a norma NBR 5425 (1985). Sendo assim, escolhendo-se ao acaso um determinado lote e caso o mesmo faça parte dos 5% amostrados, ele deverá ser encaminhado para a atividade de análise das amostras. Caso contrário, o mesmo deve esperar que a condição “Enviada mensagem de aprovação das amostras?” seja satisfeita.

Além disso, ressalta-se também o bloco funcional “Amostras aprovadas?”, que representa uma estrutura condicional de 95% dos lotes do grupo B serem aprovados. O critério 95% foi utilizado devido às entrevistas com os funcionários do almoxarifado e da Seção de Planejamento e Controle da Produção.

### 3.2.1 Resultados obtidos pelo modelo

Foi realizada a simulação para uma instância inicial contendo as seguintes quantidades de recursos: 3 paletesiras, 5 almoxarifados conferencistas, 1 empilhadeira, 2 técnicos de amostragem, 1 caminhão e uma equipe de analistas de controle de qualidade. É importante destacar que o número de funcionários da equipe de analistas de controle de qualidade manteve-se constante, uma vez que os processos decorridos da análise dependem exclusivamente de equipamentos tecnológicos.

## PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

Após a simulação do modelo, obteve-se os seguintes resultados: as atividades “Mover para o Caminhão”, “Mover para o estoque”, “Etiquetar Verde”, “Armazenar na área de quarentena”, “Entregar para o usuário” e “Receber Lotes” apresentaram respectivamente tempos de fila de 158,94 minutos (aproximadamente 2 dias e meio de expediente), 112,93 minutos (aproximadamente 2 dias de expediente), 69,07 minutos, 48,33 minutos, 47,44 minutos e 24,08 minutos.

Objetivando minimizar os tempos de filas obtidos pela simulação e observando os recursos correspondentes a cada atividade, mostrados no item 3.2, realizou-se um estudo da quantidade dos seguintes recursos: empilhadeira, técnico de amostragem, caminhão e paleteira. Dessa maneira, foram realizadas simulações variando-se o número de empilhadeiras de 1 a 6 e o número de caminhões de 2 a 3.

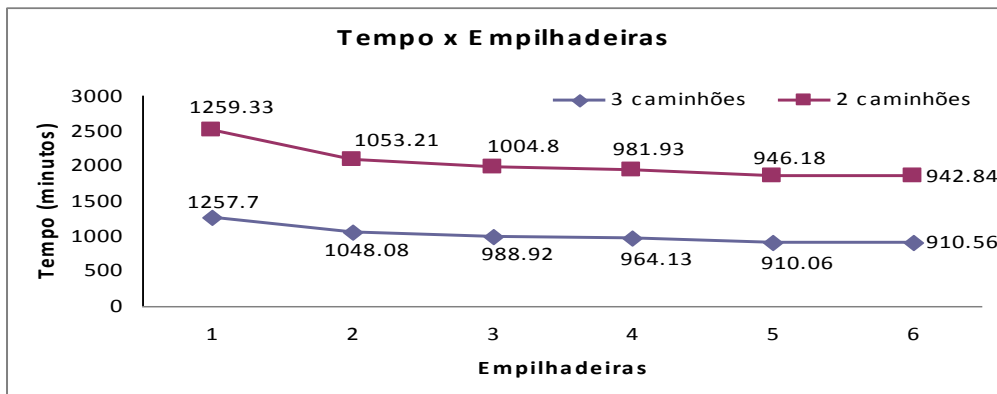


Figura 4 – Instância do problema

O resultado do tempo de entrega ao usuário obtido da simulação pode ser visto na Figura 4. Em vermelho se encontram os valores dados em minutos da simulação para um número fixo de 2 caminhões e em azul os valores para um número fixo de 3 caminhões. Analisando os resultados obtidos, percebe-se que a diferença entre os tempos de entrega somente se torna mais acentuada com o aumento do número de empilhadeiras beneficiando, assim, o uso de 3 caminhões. No entanto, cabe ao gerente decidir a relação custo benefício dos tempos ganhos com o uso de mais caminhões e empilhadeiras.

A partir dos resultados obtidos até então, partiu-se para o estudo da variação do número de técnicos de amostragem. Para tal foram utilizados 2 caminhões e 3 empilhadeiras, uma vez que, segundo a seção de Planejamento e Controle da Produção os resultados obtidos com essa quantidade de recursos apresentaria um custo benefício viável para uma eficiente gestão de mudanças. Assim, a instância simulada consistiu nas seguintes quantidades de recursos: 3 paleteiras, 5 almoxarifistas conferencistas, 3 empilhadeira, 3 a 6 técnicos de amostragem, 2 caminhões e uma equipe de analistas de controle de qualidade.

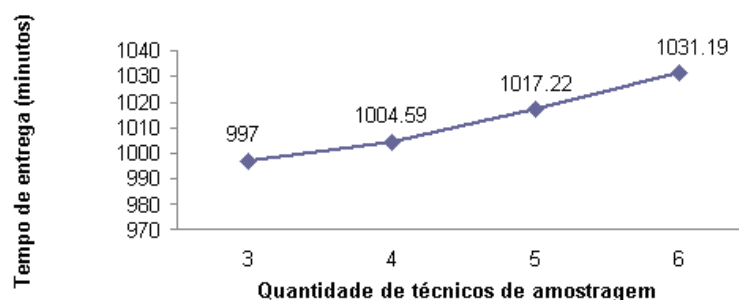


Figura 5 – Tempo de entrega x Quantidade de Técnicos de amostragem

Os resultados obtidos através desta simulação (Figura 5) mostram que ao diminuir o tempo de fila na atividade “Etiquetar verde”, cuja responsabilidade é do técnico de amostragem, obteve-se um aumento



nos tempos das filas das atividades “Mover para o caminhão”, “Mover para o estoque” e “Entregar para o usuário”. Dessa forma, percebeu-se que há a tendência de transferência dos gargalos do sistema para as atividades subsequentes, cujos recursos são o caminhão e a empilhadeira. Assim, o aumento dessas filas foi maior que a diminuição do tempo de fila na atividade “Etiquetar verde” contribuindo, conseqüentemente, para uma piora no tempo de entrega do produto ao usuário, como pode ser visto na figura acima, algo indesejável para o objetivo da simulação.

### 3.3 A modelagem para os produtos tipo C

Os produtos do tipo C (Material de expediente e apoio) possuem a característica de não precisarem ser submetidos ao processo de controle de qualidade. Desta maneira seu ciclo de vida é menos complexo que dos demais tipos de produto (Figura 6). Não se pode, no entanto, desconsiderá-los, visto que os produtos tipo C também compartilham os mesmos recursos que os do tipo A e B, sendo assim, são relevantes no estudo e avaliação de filas e surgimento de gargalos durante a atividade do almoxarifado.

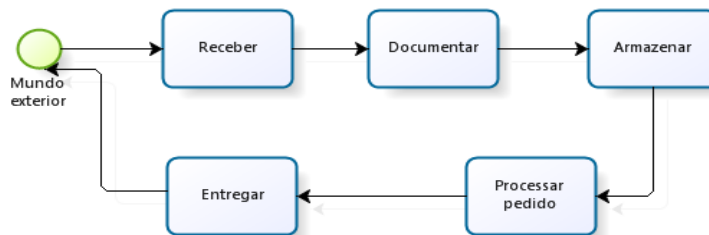


Figura 6 – Ciclo de vida dos produtos tipo C

#### 3.3.1 Resultado obtidos pelo modelo

Antes de apresentarmos os resultados obtidos com a simulação do modelo para o sistema, é necessário fazer algumas considerações referentes à coleta de dados realizada durante as visitas ao almoxarifado. Ao serem questionados sobre as atividades que apresentam maiores entraves, os funcionários envolvidos elegeram a armazenagem e a entrega do material até o usuário. A armazenagem seria um problema devido à quantidade reduzida de paleteiras e empilhadeiras, visto que estes equipamentos em certos momentos são utilizados, também, para armazenar os outros produtos. Em relação à entrega dos produtos para o usuário, esta encontra algumas dificuldades por ser efetuada por apenas um caminhão. Tal veículo muitas vezes está ocupado com outra tarefa não correlata a entrega ou é super dimensionado para certas encomendas, ou seja, o usuário faz um pedido de pequeno vulto e o caminhão fica ocupado em contrapartida de um pedido maior e mais importante que pode ocorrer algum tempo depois.

Baseado nestas informações ficamos, no início da simulação do modelo, tentados a estudar diretamente estas duas atividades durante a análise dos cenários. No entanto, poderíamos estar cometendo o erro de não avaliar outras atividade que poderiam ser as verdadeiras causadoras daqueles fatos não desejáveis. Ao iniciarmos a simulação calibrou-se o modelo, garantindo que o mesmo se aproximasse ao máximo da realidade. Para isso, os recursos foram dimensionados de acordo com o observado no almoxarifado.

Para o primeiro experimento os tempos de espera nas atividades “Receber lote”, “Processar pedidos” e “Entregar” foram respectivamente 545,83, 207,19 e 672,39 minutos, sendo encontrado um tempo médio total de 1.625,13 minutos (aproximadamente 3 dias e meio de expediente) para disponibilização dos produtos ao usuário. Em uma primeira análise pode-se concluir que este tempo médio total é de certa forma coerente se compararmos ao tempo gasto para entrega do produto tipo A

## PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

(processo mais complexo e mais demorado) que foi de 2.759,96 minutos (aproximadamente 6 dias de expediente) em sua primeira instância (item 3.1.1).

A técnica usada foi aumentar as capacidades dos recursos envolvidos nas atividades com espera, visando diminuir este tempo. Ao dobrarmos a capacidade do recurso receptor foi verificado um considerável decréscimo de tempo na atividade “Receber”. No entanto surgiu uma pequena fila na atividade “Documentar”, o tempo de fila na atividade “Processar” diminuiu e o da atividade “Entregar” aumentou. O tempo total de processamento dos produtos diminuiu para 1.558,44 minutos (aproximadamente 3 dias de expediente). Utilizando-se da mesma lógica buscou-se descobrir quais incrementos resultariam em diminuição do tempo total. Contudo, foi levado em conta se estes acréscimos seriam proporcionalmente econômicos ao resultado alcançado. Por exemplo, ao triplicarmos a capacidade do recurso receptor, verificou-se uma diminuição de 2% do tempo inicial, o que pode não ser economicamente viável, sendo assim foi mantido o acréscimo anterior. Foram simulados seis cenários sendo necessário o incremento da capacidade dos recursos de todas as atividades para que ocorresse diminuição do tempo em fila. Na Tabela 2 são apresentados os dados de três cenários, sendo possível verificar a evolução dos tempos em fila e do tempo médio total.

Atividade	Cenário 1		Cenário 3		Cenário 6	
	<i>Incremento de capacidade</i>	<i>Tempo fila(min)</i>	<i>Incremento de capacidade</i>	<i>Tempo fila(min)</i>	<i>Incremento de capacidade</i>	<i>Tempo fila(min)</i>
Receber	-	545,83	100%	107,37	100%	103,23
Documentar	-	4,99	50%	13,5	50%	25,6
Armazenar	-	5,91	-	180,9	50%	12,12
Processar	-	207,19	-	201,39	100%	19,83
Entregar	-	672,39	-	756,5	100%	346,62
<i>T médio total</i>	1.625,13		1.609,56		837,28	

Tabela 2 – Representação dos resultados de cenários de simulação

O tempo médio total foi sofrendo variações em torno de 1.600 minutos (aproximadamente 3 dias e meio de expediente) até o aumento do recurso da atividade “Entregar”, o que pode ser visto na Figura 7. Após a duplicação da capacidade do recurso caminhão (relacionado com a atividade “Entregar”) houve uma redução relevante do tempo médio total de 787,25 minutos que corresponde a 1,64 dia de trabalho.

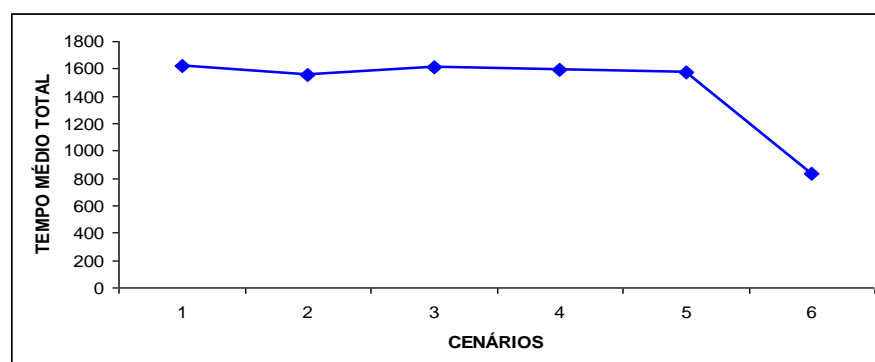


Figura 7 – Evolução do tempo total médio em relação aos cenários simulados

A partir dos resultados obtidos o administrador do almoxarifado pode efetuar uma análise e decidir o que é mais economicamente viável e/ou factível para diminuir o tempo em que se consegue disponibilizar o produto C ao seu cliente (usuário). A duplicação do recurso caminhão combinado com os

demais incrementos de capacidade dos demais recursos resultam em diminuição das respectivas filas e do tempo médio de disponibilização do produto, o que nos leva a crer que o sistema de processamento do produto tipo C apresenta a característica de que todas as atividades são correlacionadas umas com as outras.

O aumento do recurso caminhão se traduziria na aquisição de outro caminhão ou outro meio de transporte menor de carga (como uma van), visto que as encomendas de produtos tipo C são de pequenos volumes. Não obstante, esta decisão deve ser feita levando em conta as características de processamento dos outros produtos (produto tipo A e tipo B), os quais também utilizam o recurso caminhão e este pensamento também se estende para os demais recursos que são compartilhados.

#### 4. Conclusões

Na simulação dos produtos tipo A verificou-se que o aumento na capacidade de receber lotes e etiquetar não propiciou o mesmo efeito que o aumento da capacidade de analisar. Dessa forma, o aumento do número de recursos existentes na atividade de análise proporcionou uma queda considerável no tempo de entrega do produto. Assim, pôde-se perceber que para os produtos A o gargalo do sistema consistia na atividade de análise dos produtos.

O trabalho de simulação dos produtos tipo B apresentou formas de minimizar os tempos na fila e, conseqüentemente, os tempos de entrega do produto ao usuário, através da identificação de diversos gargalos decorrentes de altas taxas de utilização de alguns recursos, como a empilhadeira, o caminhão e o técnico de amostragem. A avaliação de cenários alternativos indicou que o recurso técnico de amostragem não deve possuir sua quantidade aumentada, uma vez que apenas transfere a fila para as atividades subseqüentes que fazem uso dos recursos empilhadeira e caminhão. Além disso, constata-se na simulação dos produtos tipo B que tanto o aumento do número de caminhões quanto de empilhadeiras propiciou um menor tempo nas filas, acarretando um tempo menor de entrega do produto para o usuário.

Os produtos tipo C apresentam uma modelagem menos complexa, porém com a característica de que a redução da fila em uma atividade ocasiona o aparecimento de filas nas atividades posteriores. Os maiores gargalos são encontrados nas atividades de recebimento, processamento e entrega. Esta última tem uma característica especial, pois o aumento do seu recurso ocasiona redução de seu tempo de fila e do tempo médio total, o que é esperado tendo em vista que as filas foram sendo eliminadas das atividades antecessoras.

É importante ressaltar que a verificação e a validação dos dados se deu por meio de Simulação Manual, onde se verificou a consistência dos resultados através do uso da lógica do funcionamento operacional do almoxarifado constatado durante o trabalho de pesquisa de campo.

O trabalho consistiu em apresentar a melhor forma de gerenciar os recursos, cabendo ao gestor responsável analisar a melhor relação custo-benefício estabelecida pela análise quantitativa evidenciada no estudo. Assim, de forma objetiva, o trabalho demonstra de uma maneira geral a necessidade de maior número de pessoas envolvidas nas ações de receber lotes, etiquetar verde e realizar análise. Além disso, de maneira emergencial, é necessário maior número de caminhões e de empilhadeiras, de maneira a se otimizar os tempos inerentes aos processos.

#### Referências

- BANKS, J.; CARSON J., NELSON, B. L.; NICOL, D. M. (2005), *Discrete-Event Systems Simulation*, 4th edition Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 486 – 487.
- BALLOU, R. (2006), *Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial*, Ed. Bookman, Porto Alegre.

- CASSEL, R.; CARMO, F.; CAMPANA, F.; RITTER, F.; SILVA, M. (2002), Simulação da logística interna da área de armazenagem de uma empresa do setor moveleiro, *Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, ABEPRO, Curitiba.
- CHATFIELD, D.; HARRISON, T.; HAYYA, J. (2006), SISCO: An object-oriented supply chain simulation system. *Decision Support Systems*, V.42, n.1, 422-434.
- CHWIF, L. e MEDINA, A.F. (2007), *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos*, Ed. do Autor, São Paulo, 2ª edição.
- EKREN, B. Y.; ORNEK, A. M. (2008), A simulation based experimental design to analyze factors affecting production flow time. *Simulation Modeling Practice and Theory*, Amsterdam, v. 16, n. 3, 278-293.
- ELLEUCH, M.; BACHA, H. B.; MASMOUDI, F.; MAALEJ, A. Y. (2008). Analysis of cellular manufacturing systems in the presence of machine breakdowns: effects of intercellular transfer. *Journal of Manufacturing Technology Management*, Bingley, v. 19, n. 2, 235-252.
- FORRESTER, J.W. (1968), *Principles of Systems*. Wright-Allen Press Inc, Cambridge.
- LAW, A.M. e KELTON, W.D. (2000), *Simulation Modeling and Analysis*, Ed McGraw-Hill, New York, 3rd ed.
- NBR 5425 (1985), Guia para inspeção por amostragem no controle e certificação de qualidade. *Associação Brasileira de Normas Técnicas*.
- PERSSON, F.; ARALDI, M. (2007), The development of a dynamic supply chain analysis tool—Integration of SCOR and discrete event simulation, *International Journal of Production Economics*, In Press, Corrected Proof.
- PIDD, M. (2004), *Computer Simulation in Management Science*, 5th edition, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 4- 5.
- SELLITTO, M.; [BORCHARDT, M.](#) ; [PEREIRA, G. M.](#) (2009), Análise de uma operação logística de carregamento e expedição de cimento por simulação computacional, *Revista Gestão Industrial*, v. 5, 130-151.
- TERZI, S.; CAVALIERI, S. (2004), *Simulation in the supply chain context: a survey*, Computers in Industry. V.53, n.1, 3- 16.
- ZEE, D.; VORST, J. (2005), A Modeling Framework for Supply Chain Simulation: Opportunities for Improved Decision Making. *Decision Sciences*. V.36, n.1, 65–95.