

## **SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA DE SUPORTE À TOMADA DE DECISÕES ESTRATÉGICAS NA ETAPA DE PLANEJAMENTO: APLICAÇÃO EM UM PORTO SIDERÚRGICO**

**RENATA BIANCHINI MAGON**

Mestranda Engenharia Industrial  
DEI, PUC- Rio  
renatabianchini@aluno.puc-rio.br

**FERNANDO LUIZ CYRINO OLIVEIRA**

Coordenador Adjunto Pós Graduação Engenharia Industrial  
DEI, PUC- Rio  
cyrino@puc-rio.br

### **RESUMO**

Este trabalho tem por objetivo avaliar a importância da aplicação da simulação para auxiliar na tomada de decisões estratégicas em projetos de grande porte em fase de planejamento inicial. Para tal, foi desenvolvido um modelo computacional, utilizando-se o *software* ARENA®, para simular uma futura operação de um porto de um complexo industrial siderúrgico, cujas variáveis do processo apresentavam riscos para o negócio. Neste trabalho são descritas as etapas do processo de simulação e são avaliados os cenários, observando as taxas de produtividade e de ocupação do berço, assim como suas implicações na concepção do empreendimento. Verificou-se que a programação de chegadas de navios é crítica para o nível de serviço do porto e que era possível construir um porto *off shore* com dois berços e quatro guindastes para atender o nível de produção de placas desejado, com possibilidade de expansão.

**PALAVRAS CHAVE:** Simulação, Porto, Decisões Estratégicas

**Tópico:** SIM- Simulação; L&T- Logística e Transporte

### **ABSTRACT**

This study aims to evaluate the importance of applying simulation to assist strategic decisions on large projects in the initial planning phase. For this purpose, a computer model was developed, using the ARENA® software to simulate a future operation of a port of a steel industrial complex, whose process variables presented risks to the business. This paper describes the stages of the simulation process and evaluates possible scenarios, observing the crane productivity and berth occupancy rates, as well as its implications in the project's design. The results suggest that the shipping schedule is critical to the service level of the port and, in order to meet the desired production level, with expansion possibility, the feasibility study could consider an off shore port with two berths and four cranes.

**KEYWORDS:** Simulation, Port, Strategic Decisions

**Topics:** SIM – Simulation; L&T- Logistics and Transport

## 1. Introdução

Um empreendimento de grande porte passa por diversos processos de decisões estratégicas ao longo do ciclo de vida do projeto. A etapa de concepção, ou de planejamento inicial, é a fase de definição do negócio, onde são validados o alinhamento estratégico e a análise de mercado. Essa etapa implica na definição do escopo e os objetivos do empreendimento, bem como uma estimativa inicial do montante de investimentos para o cálculo de viabilidade econômica do negócio (Barbosa et al., 2013).

Durante o desenvolvimento de um projeto, a simulação pode ser útil para a visualização de algo novo, que ainda não foi testado, contribuindo para a tomada de importantes decisões. Porém, a complexidade de simular um processo não existente age como um inibidor à sua utilização em fase de projeto. Quando utilizada, contudo, atua como um diferencial para lidar com as influências das incertezas do mercado e da concorrência global. Os benefícios são muitos, dentre eles pode-se citar o dimensionamento de capacidade com melhor acurácia, a identificação de gargalos, a análise de sensibilidade, gerando cenários otimistas e pessimistas para as análises econômicas, e melhorias nos processos, de forma geral, contribuindo para uma operação futura de alta performance (Aguilar et al., 2009 e Jaafari, 2002).

Para demonstrar o uso de simulação como ferramenta de suporte à tomada de decisões estratégicas para projetos em fase de planejamento inicial, o trabalho visa apresentar um caso real de concepção de um complexo industrial siderúrgico, cuja localização escolhida trazia incertezas e variáveis que poderiam representar riscos para o negócio.

## 2. Contextualização

O Distrito Industrial do bairro de Santa Cruz, da cidade do Rio de Janeiro, foi o local estrategicamente selecionado para a implantação de um complexo siderúrgico integrado, pois teria proximidade com a malha ferroviária MRS, por onde chegaria o minério de ferro e outras matérias primas, assim como ligação com a BR-101 e o acesso direto à Baía de Sepetiba, onde seria construído o porto próprio para exportação das placas.

Os estudos para verificar posicionamento do terminal a ser construído, para permitir atracação de navios de grande porte, determinaram que teria que ser um porto *off-shore* a quilômetros de distância mar adentro. O processo de transporte de placas do pátio da usina siderúrgica até o píer para o carregamento no navio, portanto, estaria mais exposto a riscos operacionais, como, por exemplo, a falta de placas no píer para embarque, acarretando baixa produtividade e, conseqüentemente, espera de navios. Segundo Ignacio e Neves (2009), independentemente do sistema portuário, a competitividade de um porto é medida por um indicador que se refere ao tempo de espera dos navios, desde sua entrada no porto até o instante da sua partida. No caso específico dessa siderúrgica, as placas (produto semi-acabado) poderiam ser vendidas a terceiros, mas a maior parte abasteceria outras unidades industriais do grupo para serem processadas em produtos de maior valor agregado. Desta forma, um atraso na exportação resultaria em um efeito dominó no sistema produtivo das demais unidades.

Neste contexto, uma análise profunda do processo de transporte de placas até o píer, o planejamento de capacidade do porto, assim como a construção de cenários para seleção de alternativas, seriam críticos para os estudos de viabilidade e conseqüente aprovação do empreendimento. Por ser um processo complexo e que envolve diversas variáveis aleatórias, optou-se por fazer uso de simulação de eventos discretos, utilizando o *software* ARENA®.

## 3. Revisão Bibliográfica

Existem diversos estudos na literatura acadêmica sobre simulação como ferramenta para auxiliar na tomada de decisões estratégicas, seja em fase de planejamento ou em fase de operação.

A importância do uso de simulação, especificamente para o planejamento de um porto, é apresentada por Lawrence (1973). Ele afirma que, quando usada adequadamente, a simulação

oferece aos tomadores de decisão um meio para se avaliar, com alto nível de precisão e curto espaço de tempo, a capacidade do terminal, o efeito da mudança de agendamento dos navios, o efeito da mudança dos padrões de movimentação de carga e dos procedimentos operacionais sobre os requisitos dos portos futuros. Ela também pode ser usada para medir o nível de congestionamento nos terminais, para determinar os requisitos para espaço de retroárea e consequentes níveis de tráfego, como parte de uma análise do impacto ambiental de um plano de desenvolvimento do porto. Além disso, os indicadores de desempenho e outros resultados produzidos pela simulação estão diretamente relacionados aos custos operacionais e aos investimentos necessários para se construir um porto. Dessa forma, devem ser utilizados na avaliação econômica de desenvolvimento do porto e na seleção de alternativas.

Para ilustrar a utilização recente de simulação para análise de capacidade de um terminal portuário, pode-se citar os estudos realizados por Ignacio e Neves (2009) e por Titoneli (2014). O primeiro tem uma abordagem mais metodológica para apresentar o uso da técnica de simulação para o dimensionamento de capacidade de um terminal portuário totalmente novo (*green field*), que opera cargas pesadas e em grande volume, tais como minério de ferro, carvão e produtos siderúrgicos. Já Titoneli (2014) desenvolveu um modelo computacional de um porto existente, utilizando o *software* ARENA®, para simular cenários atuais e futuros que auxiliassem na tomada de decisões da diretoria quanto aos investimentos a serem realizados para obter recursos necessários capazes de movimentar um volume específico de *containers*.

A técnica de simulação em um terminal de produtos siderúrgicos foi aplicada por Morais (2001), entre outros, para avaliar a performance operacional de um porto e a formação de filas dos navios aguardando atendimento, assim como a construção de cenários para tomadas de decisão relacionadas a modernização em equipamentos, investimentos em infraestrutura e alterações no regime de trabalho do porto.

O impacto da variabilidade da chegada dos navios na eficiência de um porto é abordado por Fioroni et al. (2010). Eles apresentam um método para modelar um porto de minério não existente, que tenha que lidar com a incerteza da chegada dos navios e com *mix* de produtos para embarque. O porto de Açú, em fase de concepção, foi utilizado para validar o modelo.

Pujawan et al. (2015) utilizam simulação em *software* ARENA® para avaliar a relação entre o planejamento da programação de navios, assim como seu sequenciamento, com a capacidade de estoque de um terminal de *commodities* existente e como isso afeta o nível de serviço e custos operacionais. Enquanto a primeira variável é de natureza tática e operacional, a segunda necessita de aprovações da alta gerência. Portanto, este trabalho combina tanto parâmetros de decisão operacional quanto estratégica, utilizando a simulação como a ferramenta de apoio à tomada de decisão.

Pinto e Pinto (2005) apresentam um estudo de caso referente ao uso da simulação como ferramenta de tomada de decisões de uma empresa siderúrgica, em substituição às planilhas tradicionalmente utilizadas pela empresa. A simulação, em *software* ARENA®, tem vantagens por apresentar maior riqueza de detalhes, trabalhar com variáveis estocásticas e usar recurso de animação. Foram criados cenários para avaliar os impactos da alteração no processo produtivo na quantidade de recursos (máquinas e funcionários) no setor de retrefilária.

Os benefícios do uso de simulação em *software* ARENA® também são apontados no trabalho de Aguilar et al. (2009), que modelou um trecho ferroviário da empresa MRS Logística para avaliar, por exemplo, o impacto da remoção de um pátio de cruzamento no tráfego da malha, auxiliando a empresa em políticas de redução de custo. O autor ressalta também as dificuldades encontradas, tais como: necessidade de treinamento e custo de aquisição do software; tempo para execução das atividades de modelagem e de experimentação, que pode ser alto; e simplificações do modelo que podem gerar resultados não satisfatórios.

A utilização de simulação em *software* ARENA® também pode ser encontrada nos trabalhos de Chrispim (2007) e Souza (2009). O primeiro avaliou a capacidade de processamento de vagões

(carga e descarga) a partir de um modelo de simulação que representasse as alterações futuras na ferrovia de acesso ao porto do Rio de Janeiro. O segundo busca demonstrar que a simulação é uma ferramenta eficaz para o auxílio na tomada de decisões de planejamento de uma mina, utilizando a empresa Jacobina Mineração para o estudo de caso.

Para todas as referências citadas acima, a simulação foi considerada uma metodologia apropriada para modelar e analisar sistemas complexos em um ambiente de incerteza, quando a solução analítica é impraticável devido à existência de diversas variáveis estocásticas. A simulação permite experimentações do tipo “o que acontecerá se...” permitindo assim realizar análises de *trade-offs* entre as variáveis existentes e, apesar de não indicar o ótimo, é uma técnica de apoio à decisão importante tanto para questões estratégicas quanto para questões operacionais.

A Tabela 1 sintetiza as referências em ordem de significância para o presente trabalho. Pode-se verificar o uso de simulação como ferramenta de apoio à tomada de decisões estratégicas desde os anos 70 até os dias atuais. São vários os *softwares* que podem ser utilizados, porém o *software* ARENA® tem sido bem representado na literatura acadêmica, principalmente nacional. A aplicação em terminais portuários tem se mostrado bastante frequente, porém grande parte dos trabalhos é de terminais de *containers* já em operação. Nota-se uma lacuna entre os trabalhos revisados no que se refere a modelagem de porto *off-shore*, cujo dimensionamento de frota de caminhões para atender os navios é crítico, em fase pré-operacional, como o proposto neste trabalho.

Tabela 1: Quadro síntese das referências bibliográficas com uso de simulação

| Autores                | Aplicação - simulação |           |        | Fase    |          | Software |       |
|------------------------|-----------------------|-----------|--------|---------|----------|----------|-------|
|                        | Porto                 | Siderurg. | Outros | Projeto | Operação | ARENA    | Outro |
| Lawrence (1973)        | X                     |           |        | X       |          |          | X     |
| Ignacio e Neves (2009) | X                     |           |        | X       |          |          | X     |
| Fiorini et al. (2010)  | X                     |           |        | X       |          | X        |       |
| Morais (2001)          | X                     | X         |        |         | X        | X        |       |
| Titoneli (2014)        | X                     |           |        |         | X        | X        |       |
| Pujawan et al. (2015)  | X                     |           |        |         | X        | X        |       |
| Pinto e Pinto (2005)   |                       | X         |        |         | X        | X        |       |
| Aguilar et al. (2009)  |                       |           | X      |         | X        | X        |       |
| Chripim (2007)         |                       |           | X      |         | X        | X        |       |
| Souza (2009)           |                       |           | X      |         | X        | X        |       |

#### 4. Etapas do Processo de Simulação

##### 4.1 Definição de Objetivos

Os objetivos específicos da simulação para o estudo do processo logístico da siderúrgica são identificar limites operacionais de capacidade para projetar uma operação eficiente e gerar cenários alternativos considerando principais incertezas para tomada de decisões estratégicas, como, por exemplo, a necessidade de estoque de placas no píer e o impacto da variabilidade da chegada de navios. Para medir a eficiência e o nível de serviço do terminal, as taxas de carregamento e taxas de ocupação devem ser analisadas em cada cenário. Os caminhões devem ser dimensionados para maximizar a produtividade do terminal. E, por fim, o terminal deve ter capacidade para exportar 5 milhões de placas ao ano, com possibilidade de expansão.

##### 4.2 Coleta de Dados

A coleta de dados foi realizada em um complexo industrial siderúrgico semelhante, localizado no estado do Espírito Santo, que também possuía usina e porto integrados e era reconhecido como *benchmark* pelos executivos das empresas envolvidas e líderes do projeto.



### 4.3.1 Chegada de Navios

O submodelo “Chegada de Navios” é onde o navio é criado e tem como objetivo verificar a formação de fila de navios que aguardam o canal e um berço serem liberados. O modelo considera dois berços de atracação para carregamento de placas e o berço 1 tem prioridade sobre o berço 2. Ou seja, se ambos os berços estiverem liberados, o navio atraca no berço 1.

O modelo respeita a política FCFS (*first come, first served*) para o atendimento dos navios e, para o caso base, foi considerado que eles chegariam dentro de uma programação, imposta pelo terminal, sem grandes variações. A distribuição escolhida para representar essa característica na chegada de navios foi a Normal, com parâmetros (média e desvio padrão) que resultassem em um carregamento total de 5 milhões de toneladas de placas ao ano.

Com base nas necessidades do projeto e melhores práticas de mercado, assumiram-se premissas de tamanho de navio, quantidade de porões por navio e regra de distribuição de carga nos porões. Podem chegar 70% de navios tipo Panamax e 30% de navios tipo Handysize. Todos os navios possuem sete porões para o carregamento de placas e a distribuição das cargas é feita de forma a evitar estresse excessivo da estrutura do navio. Sendo assim, carrega-se 60% de um porão e passa para outro. Quando todos estão com 60%, os porões são carregados novamente até a finalização da carga. Isso tem impacto direto na taxa de carregamento, já que o guindaste tem que se movimentar mais vezes.

### 4.3.2 Canal de Acesso

O canal de acesso é a via que permite o tráfego das embarcações desde a barra (local que demarca a entrada do porto e a partir de onde se torna necessária uma adequada condição de sinalização) até às instalações de acostagem e vice-versa, ou seja, é o canal que liga o alto-mar com as instalações portuárias (APPA, 2011).

As condições de navegação do canal de Sepetiba podem variar bastante por haver outros terminais portuários na região que podem aumentar o fluxo de embarcações no canal de acesso. Vale lembrar que o canal é via de mão única, sendo necessário aguardar um navio sair do canal para outro entrar. Dessa forma, baseando-se nas experiências dos especialistas em navegação do porto de Sepetiba, foi incluído na simulação que a cada três navios o canal estaria ocupado por conta de navios de outros terminais, seguindo uma distribuição  $N(2; 0.2)$ , ou seja, distribuição Normal com média de 2 horas e desvio padrão de 0,2 horas.

O submodelo “Canal de Acesso” engloba todas as etapas do navio, como pode ser visualizado na Tabela 2. Cada uma dessas etapas recebe um valor determinístico, para processos de baixíssimo nível de incerteza, ou estocástico, caso contrário. Os valores são obtidos a partir de entrevistas com especialistas, para o caso do tempo de navegação no canal, por exemplo, ou a partir de dados coletados inseridos na ferramenta *Input Analyser* do software ARENA®, que identifica a melhor distribuição de probabilidade para cada processo e seus parâmetros. Vale ressaltar, no entanto, que devido ao curto período de coleta (considerando o período simulado), alguns valores foram ajustados com base nas opiniões dos especialistas.

Tabela 2: Valores atribuídos aos processos do submodelo 'Canal de Acesso'

| Processos                                   | Distribuição e Parâmetros  |
|---------------------------------------------|----------------------------|
| Navegação no canal                          | 105 minutos                |
| Manobra                                     | 20 minutos                 |
| Atracação                                   | 40 minutos                 |
| Visitas (inspeção e autoridades portuárias) | TRIA (20; 40; 110) minutos |
| Plano de carregamento/ Atrasos iniciais     | $N(30; 5)$ minutos         |
| Carregamento                                | <i>Output</i>              |
| Peação (fixar carga nos porões)             | $N(1; 0.2)$ horas          |
| Atrasos Finais (autorizações necessárias)   | $N(90; 10)$ minutos        |
| Desatracação                                | $N(25; 3)$ minutos         |
| Navegação saída do canal                    | 105 minutos                |

### 4.3.3 Píer

O submodelo “Píer” é onde ocorre o carregamento das placas no navio através dos guindastes (principal recurso para medição do indicador “taxa de carregamento”), que podem carregar de duas a quatro placas dependendo do peso da placa.

O carregamento é realizado porão a porão e os tempos de carregamento foram divididos conforme observação da operação no porto similar, descritos na Tabela 3.

A colocação das placas no porão é feita de forma mais rápida até 60% do porão carregado, pois se utiliza empilhadeira para a arrumação das placas no porão, portanto, assim que o guindaste deixa a placa, ele já volta para buscar uma nova placa. O carregamento restante é um pouco mais demorado pois, já não se faz mais uso da empilhadeira e o próprio guindaste deve colocar as placas no lugar correto.

Outro fator que aumenta a complexidade da operação é quando os navios já possuem guindaste próprio, o que dificulta o deslocamento do guindaste do terminal entre porões, adicionando tempo ao seu deslocamento. Foi considerado que 50% dos navios *Handysize* possuem guindastes próprios.

Tabela 3: Valores atribuídos aos processos do submodelo 'Píer'

| Processos                                                                                         | Distribuição e Parâmetros                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Guindaste pega placa no caminhão                                                                  | 40 segundos                                 |
| Movimento da placa até o porão                                                                    | 1 minuto                                    |
| Colocação da placa para até 60% do carregamento                                                   | UNI (30; 40) segundos                       |
| Colocação da placa para os 40% da carga restante                                                  | TRIA (1; 2; 4.5) minutos                    |
| Deslocamento do guindaste entre porões                                                            | UNI (15; 30) minutos                        |
| Deslocamento do guindaste entre porões para navios <i>Handysize</i> que possuem guindaste próprio | UNI (15; 30) minutos + UNI (20; 25) minutos |

Além dos valores atribuídos a cada processo, foram consideradas possíveis falhas nos guindastes e problemas no porão, como por exemplo, quebra da empilhadeira ou um dano mais grave. As interrupções no carregamento podem ter duas naturezas: maior frequência com duração curta ou menor frequência com duração longa.

### 4.3.4 Pátio de Placas

O processo produtivo da siderúrgica é caracterizado por ser contínuo, de larga escala, de produtos padronizados e *make-to-stock* (MTS). Mas como o objetivo da simulação não é a siderúrgica, mas sim o sistema logístico do porto integrado, o modelo só enxerga as placas estocadas no pátio. Para se aproximar da realidade, foi considerado que pode haver falta de placas com uma certa distribuição probabilística, selecionada com ajuda dos especialistas.

Nesta etapa os caminhões são carregados pelo pórtico, conforme distribuição e parâmetros exibidos na Tabela 4, para seguirem até o píer, já com porão de destino definido. Dependendo do peso de cada placa, que pode ser 15, 20, 30 ou 35 toneladas, os caminhões são carregados com 2, 4, 6 ou 8 placas, respectivamente. Foi considerado que o pórtico pode sofrer falhas de dois tipos: raras com tempo maior de conserto e mais frequentes com tempo menor de conserto.

Para obter o dimensionamento ótimo da frota, foi utilizado um recurso do *software* ARENA® chamado OPTQUEST, que realiza otimização a partir de simulação. Desta forma, um valor qualquer é inserido na simulação para o “máximo de chegadas de caminhões” (definido como variável “frota”) e define-se a função objetivo no OPTQUEST a fim de maximizar a taxa de carregamento, controlando a variável “frota” e o número de caminhões no píer. A combinação entre simulação e otimização faz com que as respostas sejam mais eficientes, possibilitando uma melhor tomada de decisão.

Outra definição importante neste submodelo é o tempo de transporte rodoviário entre o pátio de placas e o píer. Como a distância é longa e pode haver caminhões indo mais rápido e outros mais lentos, optou-se por utilizar a distribuição triangular, com parâmetros exibidos na Tabela 4.

Tabela 4: Valores atribuídos aos processos do submodelo 'Pátio de Placas'

| Processos                            | Distribuição e Parâmetros |
|--------------------------------------|---------------------------|
| Carregamento de placas pelo pórtilco | TRIA (2; 3; 5) minutos    |
| Rota Pátio – Píer                    | TRIA (17; 19; 21) minutos |

#### 4.4 Implementação Computacional

O modelo de simulação desenvolvido neste trabalho pode ser classificado como discreto, pois muda somente no instante que ocorre um evento, como dinâmico, por representar a evolução do sistema ao longo do tempo, e como estocástico, já que possui diversas variáveis aleatórias como entrada, que levam às saídas aleatórias (Chwif e Medina, 2010).

Existe no mercado um grande número de *softwares* para simular um modelo com essas características, porém o *software* ARENA® foi escolhido por ter interface gráfica amigável e por conter todos os recursos para modelagem de processos, animação, otimização, análise estatística e análise de resultados (Pinto, 2005).

Para o modelo proposto, foram realizadas 30 replicações para um intervalo de confiança de 95%. O período de simulação corresponde a 365 dias (24 horas/dia) e não houve necessidade de período de aquecimento (*warm up*), pois o sistema já começa com placas disponíveis no pátio de placas.

#### 4.5 Verificação e Validação

Um dos recursos da simulação nos tempos atuais é a capacidade de representar graficamente de forma dinâmica o processo que está sendo estudado. Através da animação é possível verificar se o comportamento do modelo está correto, respeitando o modelo conceitual. É mais fácil e rápido perceber onde estão os *bugs* do sistema, com a visualização do comportamento das variáveis no tempo, além de uso de histogramas e gráficos.

Para a validação do modelo, visto que o porto não existia, utilizou-se a capacidade analítica dos envolvidos no projeto, assim como de especialistas em porto siderúrgico e consultores em ARENA®. Além disso, decidiu-se por construir animação 3D (Figura 2), além da animação 2D utilizada para verificação, para aprovar o modelo junto ao *board* de executivos envolvidos na tomada de decisões estratégicas. A apresentação dos resultados da simulação acompanhada de um vídeo da simulação em 3D permite um melhor entendimento do processo simulado e transmite maior credibilidade.



Figura 2: Captura de imagens da animação 3D do modelo em ARENA®

#### 4.6 Construção de cenários

O objetivo da fase inicial de desenvolvimento de projeto é validar a oportunidade e selecionar as alternativas que serão analisadas na fase seguinte. Em geral os cenários apontam *trade-offs* e as alternativas com melhores resultados são utilizadas para os cálculos de viabilidade econômica do projeto (Barbosa et al., 2013).

Para a seleção dos cenários definiu-se, juntamente com os executivos envolvidos na concepção do empreendimento, quais eram as questões-chave do ponto de vista estratégico e as principais incertezas que teriam impacto nos dois principais indicadores de um porto: taxa de produtividade e taxa de ocupação. Os cenários, portanto, foram criados com os seguintes objetivos:

- Testar a capacidade de recursos para diferentes níveis de produção (expansão da siderúrgica de 5,0 para 7,5 milhões de toneladas placas ao ano);
- Verificar o impacto que a distribuição de chegada de navios gera na produtividade e na taxa de ocupação do porto (definição do modelo de gestão marítima e programação dos navios);
- Verificar a necessidades de estoque no píer em uma operação *off-shore* (*trade-off*: maior investimento no píer contra nível de serviço).

#### 5. Resultados da Simulação

O *software* ARENA® possui relatórios padrões para apresentar os resultados da simulação. Entretanto, para apresentar os resultados de interesse de forma consolidada, optou-se por personalizar um relatório exportando dados para o Excel. A Figura 4 apresenta os resultados obtidos para o cenário base, que considera uma produção de 5 milhões de toneladas de placas ao ano (Mt/a) para exportação, tendo o terminal dois berços e dois guindastes por berço, e a chegada de navios respeitando uma programação.

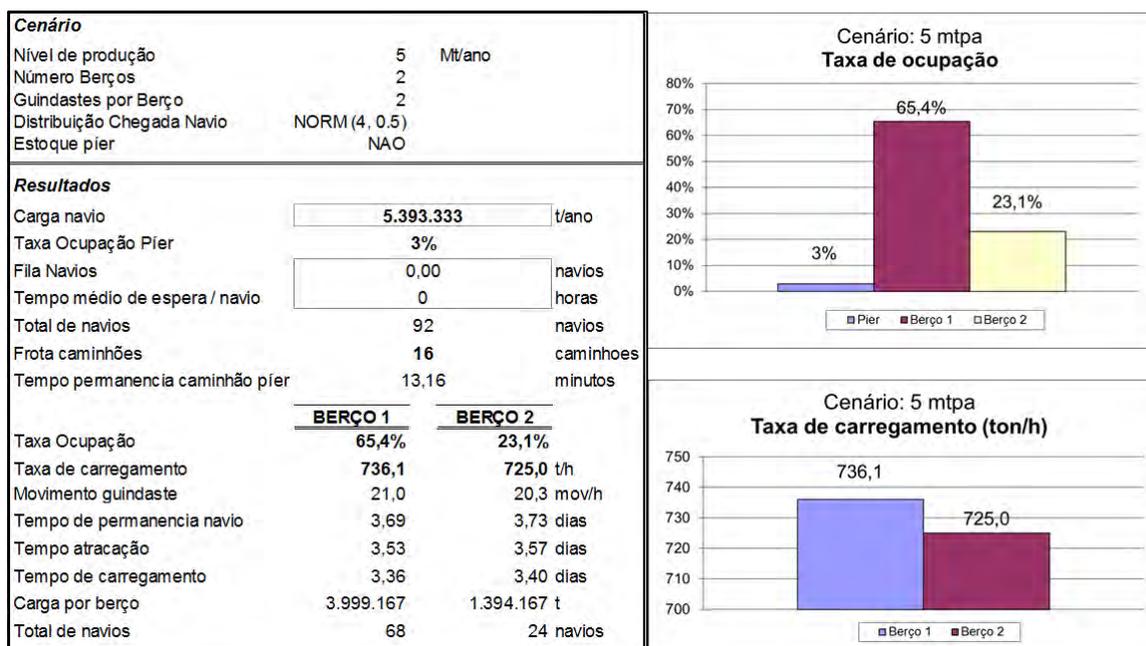


Figura 4: Relatório com resultados do cenário base

Segundo Titoneli (2014), a produtividade (taxa de carregamento) é um indicador de grande valor para um terminal, pois é através dele que se mede o nível de serviço prestado aos donos dos navios. A taxa de ocupação também é um indicador relevante, pois quando atinge níveis elevados (superior a 65%) a fila de navios começa a ser significativa e isso representa custos para o contratante do navio, além de impactar na cadeia de suprimentos da siderúrgica, já que as demais

unidades do grupo dependem do recebimento das placas. Desta forma, esses foram os indicadores escolhidos para compararmos os resultados entre os cenários, apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Comparativo com os resultados dos cenários estudados

|           | Cenários      |                  |                 | Resultados |                  |        |        |                          |        |
|-----------|---------------|------------------|-----------------|------------|------------------|--------|--------|--------------------------|--------|
|           | Prod.<br>Mt/a | Chegada<br>Navio | Estoque<br>píer | Frota      | Taxa de Ocupação |        |        | Produtividade<br>(ton/h) |        |
|           |               |                  |                 |            | Píer             | Berço1 | Berço2 | Berço1                   | Berço2 |
| Caso Base | 5,0           | Norm             |                 | 16         | 3%               | 65,4%  | 23,1%  | 736                      | 725    |
| Cenário 1 | 5,0           | Expo             |                 | 16         | 34%              | 59,4%  | 43,3%  | 648                      | 591    |
| Cenário 2 | 7,5           | Norm             |                 | 22         | 36%              | 66,5%  | 65,2%  | 672                      | 663    |
| Cenário 3 | 7,5           | Expo             |                 | 22         | 64%              | 79,8%  | 71,3%  | 596                      | 573    |
| Cenário 4 | 7,5           | Expo             | X               | 22         | 62%              | 78,4%  | 69,8%  | 633                      | 588    |

Para o caso base a frota de caminhões encontrada, utilizando a ferramenta OPTQUEST a fim de maximizar a taxa de carregamento, foi de 16 veículos. Para o cenário de expansão (cenário 2), que considera um aumento de exportação de placas de 5 Mt/ano para 7,5 Mt/ano, a frota ótima sobe para 22 caminhões. Ainda assim, a taxa de carregamento diminui e a taxa de ocupação dos berços já se aproxima de 70%, resultando em uma espera na fila de navios de 8 horas em média. Entretanto, ainda pode-se concluir que a construção de dois berços e dois guindastes por berço atende uma possível expansão da siderúrgica, mas com menor nível de serviço.

Para se analisar o impacto que a distribuição de chegada de navios tem no nível de serviço e eficiência do porto, visto que está sujeita a interferências externas como intempéries e atrasos em outros portos, trocou-se a distribuição estatística Normal (Norm), utilizada no caso base para caracterizar uma chegada que respeitasse a programação realizada pelo porto sem grandes variações, por uma distribuição Exponencial (Expo), que possui uma característica de grande variabilidade e muito utilizada para tempos entre chegadas em geral. Os parâmetros das distribuições foram adequados para se atingir o nível de produção desejado.

Mantendo a frota em 16, conforme encontrada no cenário base, para o cenário 1, percebe-se que a programação dos navios tem bastante impacto no nível de serviço do porto. Ao permitir uma maior variabilidade na chegada de navios, ou seja, menor controle sobre os navios, os resultados de taxa de ocupação e de carregamento pioraram de forma significativa, como pode ser visualizado na Tabela 5. O tempo de espera médio na fila de navios passa de zero (caso base) para 27 horas no cenário 1 e para 94 horas no cenário 3.

O estoque de placas no píer foi pensado como uma alternativa para evitar que os caminhões ficassem ociosos e que o navio ficasse esperando placa por falta de caminhões disponíveis, aumentando assim a produtividade, especialmente para o cenário de expansão, já que o cenário base tem produtividade alta. Percebe-se na Tabela 5 que apesar da taxa de ocupação do cenário 3 (cenário de maiores incertezas e piores resultados) ser muito próxima da taxa de ocupação do cenário 4 (com estoque no píer), a produtividade desse segundo cenário é maior. A decisão do uso de estoque no píer é estratégica, pois passa por um *trade off* de alto investimento contra nível de serviço que pretende-se alcançar.

## 6. Conclusões

Neste trabalho procurou-se demonstrar, através de um estudo de caso em um porto siderúrgico, que a simulação computacional é útil como ferramenta de análise estratégica para suporte ao desenvolvimento de projetos de grande porte em fase de concepção. É nessa fase que decisões estratégicas, tais como tamanho do píer e dimensionamento de recursos, são tomadas para maximizar o valor do negócio e minimizar os riscos.

Dada que uma das preocupações da diretoria era o dimensionamento da frota de caminhões, utilizou-se uma ferramenta de otimização agregada à simulação do *software* ARENA® para obter a solução ótima de cada cenário. A partir daí, as variáveis de maiores incertezas, que impactavam

em decisões estratégicas foram analisadas em cenários alternativos da simulação. Observou-se que a distribuição de chegada de navios tem impacto significativo nas taxas de produtividade e de ocupação do porto. Verificou-se que não há necessidade de investimento no píer para comportar um estoque intermediário de placas para o primeiro estágio de produção da siderúrgica. Porém, a medida que a produção aumenta e dependendo da taxa de chegada de navios, de falhas dos recursos e de interrupções no porto, essa alternativa deve ser avaliada, pois melhora o nível de serviço do porto e reduz o nível de incerteza.

A simulação deu respaldo para afirmar que o porto *off-shore* com dois berços e quatro guindastes, um pórtico no pátio de placas, associado a uma programação de navios bem definida, uma gestão marítima adequada e uma frota de caminhões bem dimensionada, permite um alto nível de serviço para uma produção de 5 milhões de toneladas por ano, podendo ser expandida até 7,5 milhões de toneladas por ano apenas aumentando a frota de caminhões, sem necessidade de grandes investimentos adicionais.

Uma simulação bem sucedida, com uso de animação, permite a tangibilidade do modelo operacional pela alta gerência, facilita no processo de negociação entre as partes envolvidas (*stakeholders*) e auxilia na construção do modelo de viabilidade econômica para a aprovação do projeto.

Importante ressaltar, no entanto, que essa fase de concepção ocorre no estágio inicial de planejamento e o ciclo de vida de um projeto de grande porte costuma ser longo, aproximadamente cinco anos, podendo as premissas e variáveis internas e externas mudarem e o projeto final ser bem diferente do proposto pelo modelo desse presente estudo. Quando a simulação é feita no início do projeto, ela pode ser utilizada, inclusive, para as próximas fases de planejamento, agregando valor às decisões estratégicas em todos os estágios de desenvolvimento e até mesmo na operação, visto que algumas variáveis podem ser redimensionadas para respeitar os dados reais. Uma análise comparativa do comportamento desse porto *off-shore* em operação pode ser conteúdo de pesquisa para trabalhos futuros.

### Referências bibliográficas

Aguilar, S.M.S.; Guimarães, I.F.G.; Schuchter, D.C.; Mendes, L.G. (2009). Avaliação dos Benefícios da Aplicação da Simulação, através do Software ARENA 10.0, em uma Empresa de Transporte Ferroviário. *XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP*, Salvador, BA, Brasil

APPA – Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina (2011). Dicionário Básico Portuário. *Edição Sâmbar Razzak (2ª Edição)*, PR, Brasil

Barbosa, P.T.; Pinheiro, N.P.M.; Junior, W.L.S. (2013). Metodologia FEL: Sua Importância na Avaliação de Riscos e Redução de Impactos em Escopo, Tempo e Custo de Projetos Complexos de Engenharia. *XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP*, Salvador, BA, Brasil

Chrispim, E.M. (2007). Análise da Operação Ferroviária do Porto do Rio de Janeiro utilizando Simulação de Eventos Discretos. *Monografia; Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Juiz de Fora*, MG, Brasil

Chwif L.; Medina A.C. (2010). Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações. *Edição do Autor (3ª Edição)*. São Paulo, SP, Brasil

Fiorini M.M.; Zanin C.E.; Franzene L.A.G.; Pereira L.D.; Quintáns J.A.S.; Santana I.R., Savastano P.; Cordeiro S.S., Silva L.F., Benevides V.L.A (2010). Matching Production Planning and Ship Arrival Scheduling by Simulation. *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, eds. B. Johansson, S. Jain, J. Montoya-Torres, J. Hagan, and E. Yücesan. Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

Ignacio, A.A.V.; Neves, C. (2009). Análise da Capacidade de Terminais Portuários através da Técnica de Simulação. *XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP*, Salvador, BA, Brasil

Jaafari, H.D. (2002). Conceptual Simulation Model for Strategic Decision Evaluation in Project Management, *Logistics Information Management, Vol. 15 Iss 2 pp. 88 – 104*

Lawrence, P.A. (1973). A Computer Simulation Model for Port Planning. *International Journal of Physical Distribution, Vol. 4 Iss 1 pp. 26 – 39*

Morais, M.A.C. (2001). Análise da Operacionalidade do Terminal de Produtos Siderúrgicos do Porto de Praia Mole: comparativo de resultados da teoria de filas e simulação computacional. *Monografia; Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Espírito Santos, ES, Brasil*

Prado, D. (2004). Usando o ARENA em Simulação. *Vol. 3. UFMG, MG, Brasil*

Pinto, E.B.; Pinto, L.R. (2005). O Uso da Simulação como Ferramenta de Apoio à Tomada de Decisões em uma Indústria Siderúrgica: Estudo de Caso. *XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional - SBPO, Gramado, RS, Brasil*

Pujawan N.; Arief M.M.; Tjahjono B.; Kritchanhai D. (2015). An integrated shipment planning and storage capacity decision under uncertainty, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 45 Iss 9/10 pp. 913 – 937*

Souza, T.F. (2009). A Simulação a Eventos Discretos como Ferramenta de Apoio à Tomada de Decisão em Empresas do Ramo de Mineração: Aplicação em uma Unidade da Yamana Gold. *Dissertação; Mestrado em Engenharia Mineral, Universidade Federal de Ouro Preto, MG, Brasil*

Titoneli, L.C. (2014). Modelagem e Simulação de Eventos Discretos do Sistema Logístico de um Terminal Portuário com Identificação de Gargalos Gerados por Ineficiência dos Processos Operacionais. *Dissertação; Mestrado em Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, RJ, Brasil*