

# Escaneamento de contêineres para reduzir o tempo de desembaraço aduaneiro

## *Container scanning to reduce time of customs clearance process*

Yuri da Cunha Ferreira<sup>1</sup> – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Ciências Aplicadas  
Antonio Carlos Kastner Olivi<sup>2</sup> – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Ciências Aplicadas  
Rodrigo Furlan de Assis<sup>3</sup> – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Ciências Aplicadas  
Luis Antonio de Santa-Eulalia<sup>4</sup> – Université de Sherbrooke, Faculté d'administration  
Cristiano Morini<sup>5</sup> – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Ciências Aplicadas

**RESUMO** Uma maneira de aumentar a eficiência do desembaraço aduaneiro e garantir a segurança da cadeia de suprimentos internacionais é a utilização de equipamentos de inspeção não invasiva, como os escâneres. A utilização destes equipamentos é incipiente no país. Contudo, a tendência é a instalação de mais escâneres nos terminais portuários brasileiros. Considerando a possibilidade da aduana brasileira solicitar o escaneamento de 100% das cargas, este estudo propõe estimar os impactos operacionais dessa exigência num terminal portuário brasileiro. Esta é a originalidade desse estudo. Para tanto, faz-se uso de métodos de simulação aplicados em um estudo de caso. Os resultados apresentados demonstram que, no cenário atual, o escâner não é um gargalo operacional. Contudo, com a expansão projetada do terminal, a capacidade do escâner será ultrapassada. Com isso, regras de sequenciamento de máquina única foram aplicadas de modo a otimizar o desempenho deste equipamento. Tais heurísticas de priorização apresentaram bom desempenho, indicando que os escâneres podem trazer benefícios no tratamento de cargas prioritárias e, eventualmente, aumentar o desempenho de terminais portuários em todo o país.

**Palavras-chave** Escâner. Exportação. Importação. Simulação. Contêiner. Gestão da Cadeia de Suprimentos.

**ABSTRACT** *One way to increase customs clearance efficiency and to assure supply chain security is the use of non-intrusive inspection equipment, such as scanners. In Brazil, scanners are new, but their use at port terminals is growing rapidly. Considering the possibility of Brazilian Customs requesting 100% scanning of loads, this study aims to assess the operational impacts of this possible request at a specific port terminal. This is the originality of this research. To do so, this study uses applied simulation methods in a case study. Results show that for the current scenario, scanners do not appear to be an operational bottleneck at this port, but the scanning capacity will be exceeded with the planned port expansion. Hence, scheduling rules for single machines were applied to optimize scanning performance. These heuristics provided good performance, suggesting that scanners can provide benefits to priority cargo handling, and could eventually increase the performance of port terminals throughout the country.*

**Keywords** *Scanner. Export. Import. Simulation. Container. Supply Chain Management.*

1. R. Pedro Zacarias, 1300, Limeira, São Paulo, [yuridcf@gmail.com](mailto:yuridcf@gmail.com)
2. [tom.k.olivi@gmail.com](mailto:tom.k.olivi@gmail.com)
3. [gستاocplane@gmail.com](mailto:gestaocplane@gmail.com)
4. [L.Santa-Eulalia@usherbrooke.ca](mailto:L.Santa-Eulalia@usherbrooke.ca)
5. [cristiano.morini@fca.unicamp.br](mailto:cristiano.morini@fca.unicamp.br)

FERREIRA, Y. C.; OLIVI, A. C. K.; ASSIS, R. F.; SANTA-EULALIA, L. A.; MORINI, C. Escaneamento de contêineres para reduzir o tempo de desembaraço aduaneiro. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, Ano 10, nº 4, out-dez/2015, p. 39-54.

DOI: 10.15675/gepros.v10i4.1238

## 1. INTRODUÇÃO

O sistema portuário brasileiro está relacionado ao desenvolvimento econômico e é relevante para a economia nacional (BNDES, 2012). O Brasil registrou um PIB de US\$ 2,25 trilhões em 2012, posicionando-se como a sétima maior economia do mundo. Entretanto, ocupa a 22ª posição no ranking de maior exportador e importador (WTO, 2013).

A carga containerizada que, no geral, é uma carga de maior valor agregado, apresenta crescente participação no fluxo de comércio (BNDES, 2012). Em relação à infraestrutura portuária, mais de dois terços estão concentrados nas regiões Sul e Sudeste. Do total de 300 terminais em operação, aproximadamente 20 terminais portuários são especializados na movimentação de contêineres (ANTAQ, 2013; BNDES, 2012).

Com uma infraestrutura portuária limitada, os processos aduaneiros de importação e exportação necessitam apresentar maior agilidade para que não se acumulem cargas nas retroáreas, fato que pode causar aumento de tempo na gestão de cadeia de suprimentos.

A Receita Federal do Brasil (RFB) é o órgão que administra a aduana (alfândega) brasileira. Suas atribuições básicas, em relação ao comércio exterior, são a arrecadação de impostos e o controle, cujo procedimento final leva ao desembarço (ou liberação) aduaneiro. A atividade de controle considera perfis de riscos dos importadores e exportadores, selecionando parte das cargas para verificação física (procedimento chamado de canal vermelho). Selecionadas para inspeção física, o tempo de processamento pode apresentar um aumento em horas, ou até dias.

Um dos caminhos para se evitar a inspeção física é a utilização de equipamentos de inspeção não invasiva (NII – *Non Intrusive Inspection*), como os escâneres de raios-X. Investimentos em infraestrutura portuária são necessários. Enquanto os investimentos em melhorias de processos aduaneiros podem surtir efeitos no curto prazo, projetos de infraestrutura portuária são desenvolvidos em médio e longo prazos. Aliar um investimento em escâner com um procedimento aduaneiro pode contribuir para melhorias em termos de efetividade no controle mais ágil de cargas.

Nesse sentido, a presente pesquisa tem como objetivo estimar o impacto operacional do escaneamento de 100% dos contêineres de exportação e importação em um terminal portuário localizado na região sul do país. A hipótese desta pesquisa considera que o escaneamento pode impactar no aumento do tempo de processamento de cargas. Este artigo apresenta uma análise do impacto de utilização de diferentes heurísticas de máquina única para estabelecer parâmetros de priorização para contêineres a serem escaneados. Neste sentido, não há outros estudos na literatura com esta abordagem no Brasil. Daí a originalidade da proposta.

Foram selecionadas variáveis capazes de influenciar a operação de contêineres em um terminal portuário, permitindo o desenvolvimento de mecanismos de controle e observação dos efeitos que as variáveis produzem no objeto em questão (YIN, 2005). Um modelo de simulação de eventos discretos foi desenvolvido para possibilitar a análise das influências das variáveis selecionadas e os impactos pela implementação de *scheduling*. A ferramenta de simulação é utilizada em estudos como Arikan, Fichtinger e Ries (2014) e Kotachi, Rabadi e Obeid (2013) para analisar os impactos de possíveis mudanças na cadeia de suprimentos.

O modelo construído utilizou o mecanismo de sequenciamento de atividades em máquina única para representar o processo de escaneamento de contêineres. Para atingir tais propostas, o modelo proposto foi desenvolvido em um contexto de estudo de caso executado em um terminal portuário localizado no sul do Brasil.

O artigo está dividido em seis seções, incluindo a introdução. Na segunda seção é desenvolvida a fundamentação teórica, sendo que a terceira traz a metodologia de pesquisa. Na sequência, a seção quatro apresenta o modelo desenvolvido e os resultados da aplicação em um caso real são discutidos na seção cinco. Por fim, as análises conclusivas são desenvolvidas na seção 6.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Movimentação de contêineres no Brasil

Pelos dados disponibilizados na plataforma Aliceweb2 (2013), pode-se observar que, em todos os anos em análise, mais de 80% do valor exportado foi transportado pelo modal marítimo, enquanto que, na importação, entre 70% a 75%.

De todo o movimento nos portos brasileiros, entre 2001 e 2010, a carga containerizada não chegou a 15% do volume (BNDES, 2012). Entretanto, por razão do crescente movimento de “containerização” no Brasil, a carga geral cresceu a uma taxa média de 9,5% ao ano no período citado, sendo que a movimentação total dos contêineres deverá crescer em uma taxa média de 4,2% ao ano, ao longo do período 2010-2031 (BNDES, 2012).

Na Tabela 1 é possível verificar a movimentação de contêineres, em unidades, entre os anos de 2003 e 2012. Apenas em 2009 houve retração na movimentação de contêineres nos portos, em razão da crise mundial. Pode-se constatar uma tendência crescente na utilização de contêineres no comércio exterior brasileiro. Contudo, como apontado pelo BNDES (2012), em 2012, o Brasil apresentava apenas 20 terminais portuários especializados (de um total de mais de 300) na movimentação de contêineres, o que pode contribuir para gerar gargalos na importação e na exportação de contêineres pelo modal marítimo.

Tabela 1 – Movimentação de contêineres nos portos brasileiros no período 2003–2012 (em unidades).

	Desembarque	Embarque	Total	Crescimento
2003	1.357.087	1.334.934	2.692.021	-
2004	1.629.393	1.577.937	3.207.330	19,14%
2005	1.812.155	1.791.670	3.603.825	12,36%
2006	1.996.244	1.956.482	3.952.726	9,68%
2007	2.086.190	2.071.014	4.157.204	5,17%
2008	2.314.920	2.235.143	4.550.063	0,0945
2009	1.947.131	1.918.416	3.865.547	-0,1504
2010	2.219.067	2.123.239	4.342.306	0,1233
2011	2.543.266	2.450.482	4.993.748	0,1500
2012	2.607.822	2.567.148	5.174.970	0,0363

Fonte: Elaborado com base em ANTAQ (2013).

## 2.2. A Aduana e o gerenciamento de risco aduaneiro

A infraestrutura portuária pode ser considerada como o hardware do comércio exterior, enquanto que o *software* são os processos aduaneiros (PORTUGAL-PEREZ; WILSON, 2010). Daí a importância do elo aduaneiro na gestão de cadeias de suprimentos. A aduana é uma espécie de “membrana” que circunda todo o território nacional que regula o que entra e o que sai no país, tanto nas fronteiras terrestres, como pelos portos e aeroportos (SOSA, 1999).

Controles da entrada e saída de bens e serviços feitos de maneira pouco sincronizada e com grande número de inspeções físicas provocam gargalos na gestão internacional de cadeias de suprimentos, aumento da imprevisibilidade e interrupções nos processos (MORINI *et al.* 2014).

Dentro da missão da RFB está prover segurança, confiança e facilitação do comércio internacional. Entre as competências deste órgão, estão: a administração dos tributos do comércio exterior; controle aduaneiro; atuação na cooperação internacional na área aduaneira (RFB, 2013).

Para prover a segurança do comércio internacional, a RFB opera muitos sistemas de inteligência para realizar seu gerenciamento de riscos aduaneiros. A partir destes sistemas e uma alta combinação de variáveis, há a seleção parametrizada dos canais de conferência. A parametrização tem como função estabelecer os níveis de conferência aduaneira. Tanto na exportação como na importação, existem três canais de conferência (RFB, 2013):

- Verde – desembarço automático da declaração de exportação;
- Laranja (exportação)/Amarelo (importação) – o procedimento obrigatório é a conferência documental;
- Vermelho – os procedimentos obrigatórios são exame documental e inspeção física da mercadoria<sup>1</sup>.

Em casos reais, quando um processo de exportação ou de importação é parametrizado em canal laranja/amarelo ou vermelho, este processo pode ser desembarçado no próprio dia ou ficar diversos dias esperando a realização da conferência aduaneira. No caso da exportação, esta demora tem potencial de gerar custos imprevistos para o exportador, como perdas de embarque e não cumprimento de contratos das vendas com o importador internacional, ocasionando perda de competitividade e falta de confiabilidade do mercado internacional nas empresas brasileiras. No caso da importação, esta demora tem potencial de gerar custos relacionados à armazenagem e paradas de linha de produção e gerar instabilidade no processo de planejamento de produção. Ou seja, o processo de desembarço aduaneiro imprevisível tem potencial de prejudicar a competitividade de um país.

Entre as iniciativas de maior destaque para aumentar a segurança da cadeia de suprimentos sem a interrupção do fluxo de mercadorias, e como parte integrante do gerenciamento de risco aduaneiro, com melhorias no desempenho da eficiência da fiscalização do processo aduaneiro, está a utilização de equipamentos NII, com destaque aos escâneres, nos fluxos de cargas containerizadas, como indicado no Quadro de normas SAFE<sup>2</sup> (2007), da Organização Mundial das Aduanas (OMA).

1 Na importação, existe um quarto canal de conferência, o cinza, para todos os indícios de irregularidades, inclusive às relacionadas ao valor aduaneiro. Para efeitos desse trabalho, o canal cinza terá o mesmo tratamento dado às cargas parametrizadas em canal vermelho.

2 O Quadro de Normas SAFE indica normas mínimas que a aduana e os operadores econômicos devem seguir para: diminuir a probabilidade de ataques terroristas e outras ameaças criminosas; aumentar os esforços na luta contra fraudes e crimes nos processos aduaneiros, com o desenvolvimento de ferramentas que facilitem e aumentem o intercâmbio de informações entre todos os escritórios aduaneiros (SAFE, 2007).

A NII consiste no exame do conteúdo de algum material embalado sem a necessidade de abri-lo, inspecionando a carga com agilidade, sem interromper o fluxo do comércio, e isto é feito por meio de equipamentos específicos conhecidos como escâneres que utilizam tecnologia de raio-X e raios gama (CARLUER, 2008). Estes escâneres começaram a ser mais utilizados após os atentados terroristas ocorridos em 11 de setembro nos EUA de 2001, pois a preocupação com a segurança aumentou. Isso acabou gerando pressões para o desenvolvimento de novas iniciativas de proteção e não, necessariamente, para a melhoria da eficiência do processo de fiscalização no desembaraço aduaneiro.

A utilização dos escâneres no Brasil ainda é incipiente, pois a lei federal 12.350 de 2010, a qual instituiu a utilização destes equipamentos NII em recintos alfandegados, não determinou prazos para instalação destes escâneres, exceção feita aos terminais portuários de Santos, em razão de portarias locais da RFB, que previam a operação dos escâneres no início de 2013.

Apesar da incipiência da utilização dos escâneres no Brasil, diversas organizações internacionais, como a Organização Mundial do Comércio (OMC) e a OMA vêm pressionando os países e suas respectivas Aduanas a utilizarem equipamentos NII. Essa pressão se deve ao fato da possível melhoria da eficiência do processo de fiscalização e ao aumento da segurança da cadeia de suprimentos.

Com a proposta de aumentar a segurança, tanto em termos de segurança para o território nacional, quanto em relação ao cumprimento com a legislação aduaneira, o Brasil possui, em diversos terminais portuários, escâneres instalados e em operação e outros estão em fase de instalação. Com a operação do escâner, o Brasil apresenta maior alinhamento ao quadro SAFE e poderá melhorar a eficiência da fiscalização aduaneira.

Em alguns terminais portuários, a RFB demanda que os contêineres para exportação sejam 100% escaneados, enquanto que em outros, como Santos, os contêineres de importação são 100% escaneados, e isso pode se tornar uma tendência nos demais terminais portuários. Quando mais terminais possuírem escâneres em operação, outra possível tendência é que toda a carga conteneurizada, tanto em importação quanto em exportação, seja escaneada.

### 2.3. Modelos matemáticos e métodos heurísticos

O escaneamento de contêineres envolve o comportamento de diversas variáveis, entre as quais são destacadas por Hill (2008): tempo de processamento de atividades de liberação de contêineres; mecanismos de fiscalização adotados; aspectos burocráticos; segurança nos processos da gestão da cadeia portuária; custos de importação e exportação; entre outros. Tais variáveis aumentam a complexidade da compreensão do impacto no escaneamento de contêineres nos processos aduaneiros.

Por isso, Sibbesen (2008) afirma que, devido à ampliação da complexidade dos problemas do mundo real, torna-se necessária a utilização de ferramentas ou modelos que possibilitem a representação destes em formatos simplificados ou mesmo que representem uma porção de uma realidade plausível de compreensão. Dessa forma, a modelagem de um processo torna-se fundamental na compreensão de um sistema real e na previsão do comportamento de um evento antes que ele aconteça de fato. Isso é possibilitado pela simulação do processo e sua capacidade de imitar o sistema real dentro de um ambiente computacional ou em escala reduzida.

A simulação de processos fornece condições de analisar diversas variáveis do problema sem recorrer a experimentos caros. Com isso, resultados de problemas práticos e significativos podem ser alcançados com pouco esforço, quando comparados com a implementação em ambiente real, utilizando um modelo matemático adequado e realista (ÇENCEL, 2009).

Outra forma de aumentar o desempenho de recursos ocorre por meio de atividades de sequenciamento ou *scheduling* de operações, as quais lidam com a alocação de recursos para atividades com tempo excedente, de modo a se tratar de um processo de tomada de decisão com a finalidade de aperfeiçoar os resultados (PINEDO, 2008). Uma das heurísticas mais destacadas na literatura relacionada ao *scheduling* é a heurística de máquina única, a qual permite sequenciar as atividades em uma única máquina com o objetivo de maximizar seu potencial para a não geração de gargalo operacional (FELDMANN; BISKUP, 2003).

Existem diversas regras para sequenciar atividades na heurística de máquina única que permitem encontrar qual o melhor posicionamento para um conjunto de atividades. Para Slack (2002), a eficiência do sequenciamento de atividades pode ser analisada por meio do atendimento das datas prometidas, tempo de fluxo, quantidade de estoque gerado e tempo ocioso do centro de trabalho. Algumas regras de sequenciamento que podem ser utilizadas para determinar as prioridades (*job-shops*) podem ser observadas no Quadro 1.

É possível encontrar diversas regras de sequenciamento mais elaboradas na literatura, como as propostas por Ottoni *et al.* (2011), os quais desenvolvem, sob o ponto de vista multi-objetivo, combinado com a técnica de *Variable Neighborhood Search*, a programação de tarefas em uma máquina. De forma complementar, Van de Veen *et al.* (1998) aplicaram algoritmos de tempo polinomial (*Non-Deterministic Polynomial time*) para solucionar o problema de sequenciamento de atividades para uma máquina.

Quadro 1 – Regras para sequenciamento de atividades.

SIGLA	SIGNIFICADO	DEFINIÇÃO
FIFO	<i>First in First Out</i>	A primeira tarefa a chegar ao centro de trabalho é a primeira a ser atendida
SOT	<i>Shortest Operation Time</i>	Tarefa com menor tempo de operação no centro de trabalho é a primeira a ser atendida. Também conhecida como SPT ( <i>Short Processing Time</i> )
EDD	<i>Earliest Due Date</i>	A tarefa com data prometida mais próxima é processada antes
SS	<i>Static Slack</i>	Folga estatística calculada como “tempo até a data prometida menos tempo de operação restante”
DS	<i>Dynamic Slack</i>	Folga dinâmica, calculada como “tempo até a data prometida, dividido pelo tempo total de operação restante”
CR	<i>Critical Ratio</i>	Razão crítica, calculada como “tempo até a data prometida, dividido pelo tempo total de operação restante”

Fonte: Adaptado de Corrêa (2009).

Entretanto, tais formatos dependem de parâmetros que devem ser obtidos experimentalmente. O propósito das heurísticas construtivas utilizadas na presente pesquisa é gerar soluções iniciais e avaliar o seu impacto no modelo simulado. Por essa razão, a opção por alternativas mais simplificadas para a resolução do problema de *scheduling* de atividades para máquina única. Cabe ressaltar que não existe na literatura científica nacional estudos sobre o uso de escâneres em portos brasileiros, justificando a pertinência do presente estudo.

## 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### 3.1. Estudo de caso, mapeamento do fluxo e seleção das variáveis

Para aplicar tanto a modelagem matemática para simulação do processo quanto o sequenciamento de atividades em máquina única, utilizou-se da abordagem de estudo de caso (YIN, 2005) e pesquisa experimental. O terminal portuário utilizado para o estudo de caso é novo e possui instalações modernas. O terminal possui base de dados de interesse à pesquisa e por ser de uso privativo, facilitou a interação entre pesquisadores e o terminal portuário. Tal terminal tem capacidade atual para movimentação de 30 mil de contêineres de 20 pés mensalmente, com projeto de expansão para 125 mil ao mês. O terminal possui 1 (um) escâner de raio-X com capacidade de escaneamento de 1 contêiner a cada 30 segundos.

A fim de possibilitar a construção do modelo matemático, a coleta de dados considerou um conjunto de entrevistas semiestruturadas, com funcionários de média e alta gerência do terminal portuário. Para Haguette (2003), a entrevista como instrumento de coleta de dados sobre um determinado tema científico é a técnica mais utilizada no processo de trabalho de campo, dado que sua característica básica é servir como mecanismo de relacionar valores, atitudes e opiniões dos sujeitos entrevistados.

As entrevistas foram realizadas durante o segundo semestre de 2013, com quatro funcionários do terminal portuário: gerente de operações; analista de operações; supervisor de documentação; e, supervisor de movimentação. As entrevistas foram realizadas com o objetivo de se entender os fluxos de informações e de mercadorias dentro do terminal. Com as informações obtidas nas entrevistas, um macro mapeamento dos processos de exportação e de importação foi desenvolvido.

No mapeamento, observou-se que, quando um processo é parametrizado em canal vermelho, não necessariamente o contêiner será inspecionado fisicamente. Isto acontece porque a RFB recebe do terminal a imagem gerada pelo escâner do contêiner vinculado a aquele processo em questão. Se a imagem, em conjunto aos documentos fiscais, for suficiente para a liberação, o contêiner não precisará passar por inspeção física e estará liberado para o embarque (na exportação) ou para a saída do terminal (na importação).

Entretanto, se a imagem do contêiner e os documentos fiscais não forem considerados suficientes para o desembaraço, a carga será inspecionada fisicamente. Outra informação que deve ser destacada é que os contêineres de exportação possuem embarque com data pré-definida. Se a data for perdida, o exportador necessitará esperar o próximo navio para o destino, o que pode levar, em média, uma semana.

Com o mapeamento do fluxo atual, foram selecionadas as variáveis para análise do desempenho do sistema: tempo médio; tempo mínimo; tempo máximo. Essa análise tem como foco o impacto do escaneamento no desempenho dos fluxos de exportação e de importação, tanto de contêineres cheios quanto de vazios. Deve-se ressaltar que a capacidade do escâner é fixa, ou seja, o tempo do contêiner ser escaneado é uniforme.

## 3.2. Validação, verificação e escolha do ambiente computacional

Após as entrevistas para desenvolver o mapeamento do fluxo atual de operações e a seleção das variáveis para análise dos resultados, a validação do modelo conceitual foi realizada com dois analistas seniores do próprio terminal portuário. A validação com especialistas da área é indicada por Freitas Filho (2008), pois esses estão envolvidos no dia-a-dia das operações e são profundos conhecedores do fluxo em questão.

Após a validação do modelo conceitual e a partir do mapeamento dos fluxos de importação e de exportação, os dados necessários para a realização do estudo foram identificados e estão apresentados no Quadro 2. Solicitou-se ao terminal essa base de dados em relação à movimentação de contêineres. A base de dados disponibilizada pelo terminal portuário continha informações relacionadas à movimentação de um mês de 2013 e estava totalmente descaracterizada, de modo a proteger o sigilo fiscal do importador e do exportador.

Quadro 2 – Dados do sistema real necessários para desenvolver o estudo.

Quantidade de contêineres de exportação cheios
Quantidade de contêineres de exportação vazios
Quantidade de contêineres de importação cheios
Quantidade de contêineres de importação vazios
Identificação do contêiner: exportação cheio; exportação vazio; importação cheio; importação vazio
Identificação do contêiner suspeito
Data e hora de entrada do contêiner no terminal portuário
Data e hora de saída do contêiner no terminal portuário
Data e hora de entrada do contêiner no escâner
Data e hora de saída do contêiner no escâner
Data e hora da parametrização do processo. Identificação do canal parametrizado
Data e hora da liberação do contêiner para embarque ou saída do terminal
Tipo de regime de importação do contêiner: Comum ou Trânsito Aduaneiro
Tipo de carga: Seco; Refrigerado; Perigosa; Excesso ( <i>volume extrasize</i> )
Tamanho do contêiner: 20 ou 40 pés
Data e hora da manutenção do escâner. Identificação se a parada foi programada ou emergencial

Fonte: Elaboração própria.

A base de dados recebeu um tratamento estatístico por meio da ferramenta *Input Analyzer* do *software Arena*® para a análise de aderência dos dados e geração de equações e parâmetros das funções com maior aderência aos dados. Apesar de ter sido utilizada a ferramenta estatística desse *software*, o SIMIO™ foi escolhido como ambiente computacional para realizar a simulação, pois esse *software* estava disponível em versão completa.

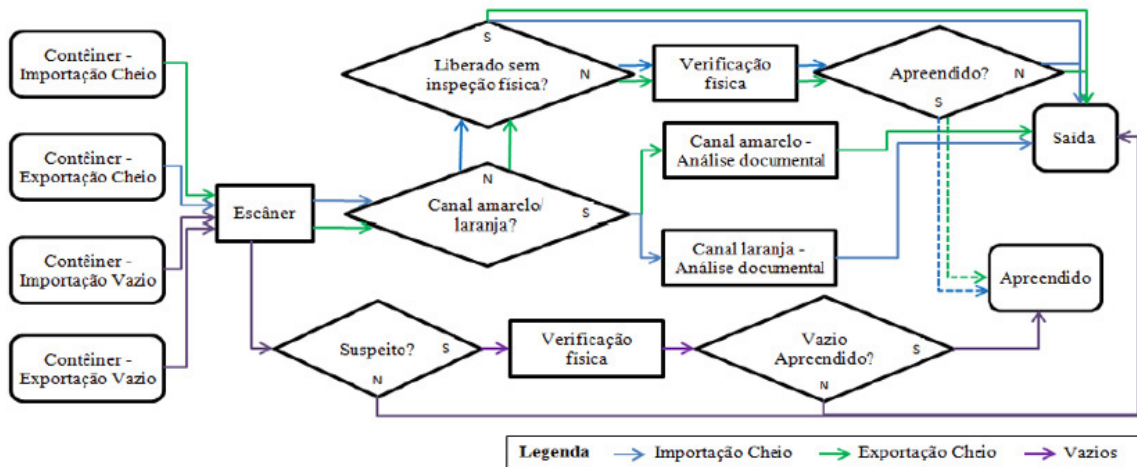


Depois de realizado o tratamento estatístico da base de dados e inserido o modelo conceitual no ambiente computacional, foi necessário realizar a verificação do modelo. Essa verificação foi realizada em duas etapas: o envolvimento de um programador experiente independente ao estudo; comparação com cálculos manuais. Essas maneiras de proceder com a verificação do modelo computacional são indicadas por Manuj, Mentzer e Bowers (2009).

## 4. MODELAGEM DO PROBLEMA

A Figura 1 apresenta o modelo computacional verificado, reunindo os fluxos de importação e de exportação, de modo simplificado, em um único fluxo.

Figura 1 – Fluxo de contêineres de Importação e Exportação, conforme modelo simulado.



Fonte: Elaborado pelos autores.

### 4.1. Análise da demanda atual e capacidade instalada

Na Tabela 2, apresentam-se cenários de análise da demanda atual e capacidade instalada no terminal. O cenário 1 representa a situação atual, conforme dados operacionais de março de 2013. O cenário 2 faz uma análise de um cenário possível atualmente, no qual foi utilizado o pico de volume de vazios registrado até o momento. Apesar dessa modificação, a utilização da capacidade do escâner não se fez significativa. O cenário 3 representa a utilização do sistema no máximo da capacidade instalada atualmente no terminal. Em tal cenário, a utilização da capacidade do escâner alcançou apenas 33%. Deste modo, não se justificou a aplicação de alguma heurística de modo a otimizar o processo nestes cenários.

Os cenários 4 e 5 têm o propósito de testar o sistema no limite da capacidade do escâner, de modo que se valide implementar as regras de sequenciamento e seus efeitos no resultado final do sistema, visto que a utilização do escâner atinge a utilização de 90% no cenário 4 e o pico de 98% no cenário 5.

A análise de capacidade apresentada tem como foco o escâner. Os cenários utilizados podem apresentar gargalos em outros pontos fora do sistema aqui analisado, tais como limite de espaço físico para fila de caminhões, número de caminhões internos disponíveis para transporte dos contêineres, espaço de armazenagem requerido para estocar os contêineres aguardando o processo de escaneamento ou de embarque / liberação para saída do terminal, entre outros. Tais elementos estão fora do escopo do presente trabalho e poderão ser alvo de futuros estudos, tal como discutido mais a frente.

Tabela 2 – Análise de Cenários para capacidade estática do escâner.

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5
Nome do Cenário	Operação real em 01/03/2013	Dados de março com dados do pico de vazios	Capacidade Instalada Atual	Capacidade Máxima	Capacidade Máxima
Cheio Exportação (em unidades)	4.866	4.866	17.128	46.370	50.492
Vazio Exportação (em unidades)	129	166	454	1.229	1.339
Cheio Importação (em unidades)	1.815	1.815	6.389	17.296	18.833
Vazio Importação (em unidades)	1.622	2.090	5.709	15.457	16.831
Total	8.432	8.937	29.681	80.352	87.494
Capacidade de escaneamento	89.280	89.280	89.280	89.280	89.280
% utilização	9%	10%	33%	90%	98%

Fonte: Elaborado pelos autores.

A análise de capacidade apresentada tem como foco o escâner. Os cenários utilizados podem apresentar gargalos em outros pontos fora do sistema aqui analisado, tais como limite de espaço físico para fila de caminhões, número de caminhões internos disponíveis para transporte dos contêineres, espaço de armazenagem requerido para estocar os contêineres aguardando o processo de escaneamento ou de embarque / liberação para saída do terminal, entre outros. Tais elementos estão fora do escopo do presente trabalho e poderão ser alvo de futuros estudos, tal como discutido mais a frente.

## 4.2. Análises da capacidade futura planejada e de sequenciamentos – FIFO e Priorizações

A expansão de capacidade de movimentação de contêineres planejada pelo terminal fará com que a capacidade do escâner seja ultrapassada, ou seja, ao se aproximar de 89 mil contêineres escaneados por mês, o equipamento tornar-se-á um gargalo operacional. Como o terminal conta com apenas um escâner, heurísticas de máquina única podem trazer benefícios, tais como: liberação de áreas críticas por meio da priorização do escaneamento; liberação de recursos necessários para a movimentação de contêineres em horários de pico, priorizando o escaneamento de contêineres que não utilizam os mesmos recursos ao mesmo tempo.

O sequenciamento FIFO é representado por meio da execução de tarefas na mesma sequência em que chegam ao equipamento, representando o *status quo* do terminal estudado. A adoção de índice de prioridade para os contêineres permitirá que os contêineres sejam processados de acordo com o valor da prioridade atribuída (TUBINO, 2007).

Os pesos atribuídos, os quais foram definidos com a colaboração de dois analistas do terminal, seguem a seguinte determinação de prioridade: 1 (mais alta) a 4 (mais baixa). Esses pesos ilustram o maior volume de operações realizadas e por isso tem papel fundamental na determinação da utilização do recurso de aperfeiçoamento das atividades relacionadas na presente pesquisa. Ademais, essa priorização pelas cargas de exportação foi realizada para diminuir o *roll-out*, ou seja, a perda de embarque no navio programado inicialmente.

A definição dos pesos de maior influência está nos contêineres refrigerados e de carga geral para exportação, pois estes tipos contêineres estão relacionados com o principal sentido do fluxo do terminal, a exportação. Além disso, o principal cliente deste terminal é uma empresa exportadora de carnes, mercadoria a qual é exportada em contêineres refrigerados com datas de embarque programadas.

Como segundo maior peso estão os contêineres vazios para exportação, pois esses têm datas de embarques programadas. Entretanto, os contêineres refrigerados e de carga geral para exportação têm maior peso, porque possuem maior probabilidade de serem inspecionados fisicamente ou serem parametrizados para conferência documental pela Receita Federal, em comparação aos contêineres vazios para exportação.

Como terceiro maior peso estão os contêineres de importação refrigerados e de carga geral, pois não têm datas programadas firmes para saírem do terminal portuário. Por último, os contêineres vazios que desembarcaram por importação receberam o menor peso, visto que possuem menor probabilidade de serem inspecionados fisicamente pela Receita Federal em comparação aos contêineres cheios de importação e também não possuem datas programadas firmes para saírem do terminal portuário.

Assim, a partir da adoção desses critérios, foi possível definir as seguintes situações:

- Contêiner Cheio Refrigerado ou Carga Geral na Exportação – Peso 1;
- Contêiner Vazio na Exportação – Peso 2;
- Contêiner Cheio Refrigerado ou Carga Geral na Importação – Peso 3;
- Contêiner Vazio na Importação – Peso 4.

Antes das regras de sequenciamento serem utilizadas, deve ser explicado que neste estudo não estão sendo diferenciados os contêineres por tamanho ou por tipo (Refrigerado, Geral, Cargas perigosas), pois essa diferenciação seria útil apenas no processo de armazenagem, o qual não é alvo deste estudo. Para gerar os parâmetros necessários de operacionalização da simulação, os seguintes passos foram adotados:

- a) Dados de entrada de contêineres no sistema: separação dos dados que contêm apenas contêineres de mesmo tipo (um conjunto de dados para contêineres cheios de exportação, outra para cheios de importação, outra para vazios de exportação e finalmente outra para vazios de importação);
- b) Ordenação desses dados por data/hora de chegada no sistema;
- c) Calculada a diferença, em segundos, das chegadas;
- d) Esses dados foram inseridos na ferramenta de análise estatística do *software* Arena, *Input Analyzer*.

As funções obtidas a partir dos dados recebidos pelo terminal portuário e validadas pelos testes de aderência realizados na ferramenta de análise estatística estão dispostas na Tabela 3. Essas funções são utilizadas para a geração dos eventos no *software* SIMIO. É importante ressaltar que para gerar os novos cenários da Tabela 3 foram feitos testes de aderência estatística para garantir que o sistema mantenha o mesmo comportamento nas funções de geração de eventos, apesar do aumento de movimentação de contêineres.

Tabela 3 – Cenários de simulação utilizados para testar hipóteses de lógica de priorização.

Nome do cenário	Fluxo (em segundos)			
	ICC	ECC	ECV	ICV
Capacidade Atual – FIFO	Weibull (0.599,1070)	Exponential(550)	Erlang (19400,1)	Exponential(1590)
Capacidade Atual – Priorizado Primeiro Menor Valor	Weibull (0.599,1070)	Exponential(550)	Erlang (19400,1)	Exponential(1590)
Capacidade 90% - FIFO	Weibull (0.608,113)	Exponential(57.71)	Weibull (0.346,200)	Exponential(166.85)
Capacidade 90% - Priorizado Primeiro Menor Valor	Weibull (0.608,113)	Exponential(57.71)	Weibull (0.346,200)	Exponential(166.85)
Capacidade 98% - FIFO	Weibull (0.608,104)	Exponential(53)	Weibull (0.346,184)	Exponential(153)
Capacidade 98% - Priorizado Primeiro Menor Valor	Weibull (0.608,104)	Exponential(53)	Weibull (0.346,184)	Exponential(153)

Legenda: ECC = Exportação de Contêineres Cheios; ECV = Exportação de Contêineres Vazios; ICC = Importação de Contêineres Cheios; ICV = Importação de Contêineres Vazios.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Cinquenta replicações para cada cenário foram realizadas para validar estatisticamente os resultados. Após essas replicações, todos os dados foram devidamente analisados, discutidos e documentados. Os resultados obtidos a partir das rodadas de simulação e as discussões desenvolvidas são apresentados na próxima seção.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 4 apresenta os resultados dos cenários obtidos com as rodadas de simulação. Deve-se destacar que os dados utilizados para simular os cenários com a utilização da capacidade de 90% e de 98% foram artificiais, pois esses cenários são potenciais, de acordo com o planejamento de expansão apontado pelo terminal portuário. Os resultados apresentados referem-se ao tempo que um contêiner permaneceu dentro do sistema. Essa tabela apresenta as médias obtidas das cinquenta replicações de cada cenário.

Pela análise da Tabela 4, deve-se destacar a maior variação de queda de tempo entre o fluxo FIFO e o Priorizado está no fluxo de Exportação de Contêineres Vazios no cenário de 98% de utilização da capacidade, quando o tempo médio de um contêiner dentro do sistema cai drasticamente de 39 minutos para 4,5 minutos. Isso ocorre porque a prioridade desse fluxo é a segunda mais alta. Ao passo que a maior variação no aumento de tempo entre o fluxo FIFO e o Priorizado está no fluxo de Importação de Contêineres Vazios no mesmo cenário, quando o tempo médio sobe drasticamente de 36 minutos para 188 minutos. Essa variação é justificada pela prioridade do fluxo, classificada como a mais baixa.

Tabela 4 – Resultados dos cenários.

Cenário	Média do Tempo em sistema (em minutos)											
	Médio				Mínimo				Máximo			
	ECC	ECV	ICC	ICV	ECC	ECV	ICC	ICV	ECC	ECV	ICC	ICV
Capacidade Atual- FIFO	1317,1	1,68	1824,9	1,4	1174,8	0,5	1466,5	0,52	1479,7	29,5	2396,2	5,7
Capacidade Atual - Priorizado	1308,5	1,84	1809,7	1,25	1210,7	0,5	1386,9	0,52	1450,6	34,2	2130,7	5,6
Capacidade 90% - FIFO	1242,5	6,32	1512,5	5	1165,1	4,9	1407,5	4,3	1293,7	9,78	1615,1	6,3
Capacidade 90% - Priorizado	1241,7	3,39	1513,9	16,1	1201,6	2,4	1424,5	13,4	1315,9	10,4	1590,4	20
Capacidade 98% - FIFO	1271,6	38,9	1521,6	36,1	1199,1	19,4	1429,3	17,5	1353,8	111,7	1639,2	106,9
Capacidade 98% - Priorizado	1242,2	4,46	1495,8	187,9	1195,1	2,8	1433,2	74,1	1294,8	8	1574,1	634,2

Legenda: ECC = Exportação de Contêineres Cheios; ECV = Exportação de Contêineres Vazios; ICC = Importação de Contêineres Cheios; ICV = Importação de Contêineres Vazios.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nos resultados apresentados na Tabela 4, os fluxos de Exportação e de Importação de Contêineres Cheios não apresentam variações tão bruscas como os contêineres vazios. Entretanto, pode-se apontar a melhoria no indicador “média do tempo médio” de aproximadamente 30 minutos em ambos os fluxos no cenário de Capacidade de 98% Priorizado. Ainda pode-se apontar que quase todas as médias desses fluxos diminuem entre os cenários da Capacidade Atual e os Cenários da Capacidade de 90%. Isso ocorre devido ao fato de haver mais chegadas de contêineres que, ao serem liberados automaticamente no canal verde (liberação automática), fazem com que a média tenha uma leve queda. As médias não apresentam quedas maiores porque não há novos procedimentos aduaneiros, visto que um contêiner gasta a maior parte do tempo dentro do sistema esperando que todos esses procedimentos sejam concluídos.

Dessa maneira, os resultados obtidos comprovam que quando aplicada a lógica da priorização, o efeito esperado acontece, ou seja, os contêineres que têm maior prioridade possuem tempo total no sistema menor do que os contêineres com menor prioridade. Destaca-se, mais uma vez, os fluxos de Exportação e de Importação de Contêineres Vazios no cenário de utilização de 98% da Capacidade. Deste modo, fica evidenciado que a regra de sequenciamento de priorização é válida e pode ser usada para solucionar problemas empíricos de priorização de fluxos.

Destaca-se também que os resultados demonstram a não geração de gargalo no escâner, caso a Receita Federal solicite o escaneamento de todos os contêineres, desde que a movimentação de contêineres não exceda a capacidade do equipamento. Ademais, a prioridade de fiscalização desse órgão é o contêiner cheio e, conforme os resultados apresentados, o único fluxo que apresentou um desempenho inferior nos cenários com a heurística de priorização foi o de vazios no sentido de importação. Portanto, uma possível solução para a manutenção da celeridade seria a dispensa do escaneamento dos contêineres vazios e utilização do gerenciamento de riscos para a seleção de quais contêineres vazios possuem riscos de fraudes e devem ser escaneados, ou seja, intervenção por exceção.

O foco desse estudo é o escaneamento e, apesar de permitir a priorização de contêineres e obter desempenhos melhores que o FIFO, é provável que a utilização de outros setores operacionais do terminal portuário possa ter sua utilização da capacidade alterada, para mais ou para menos, a depender de qual fluxo será priorizado em determinado cenário, podendo gerar gargalos no fluxo. Ademais, outras melhorias poderiam ser obtidas nos fluxos de Exportação e de Importação de Contêineres Cheios, visando à diminuição da média. A exemplo, a aduana alterar seus procedimentos, utilizando como regra os laudos de imagens dos escâneres para um possível desembarço aduaneiro.

## 6. CONCLUSÕES

Nas análises de demanda atual e capacidade instalada do terminal portuário, apesar de ser recurso único, com diversos fluxos convergentes para processamento, o escâner não se mostrou um gargalo. Portanto, nesses cenários, a Receita Federal poderia solicitar, sem ocasionar impactos operacionais relacionados especificamente ao escâner, que o terminal portuário realizasse o escaneamento de todos os contêineres em ambos os sentidos do comércio exterior, exportação e importação.

Entretanto, a capacidade do escâner seria ultrapassada se o projeto de ampliação da capacidade de movimentação de contêineres do porto for concluído. A eficiência da aplicação dos sequenciamentos testados foi comprovada nessa situação futura, simulada no modelo construído. A lógica da priorização atingiu seus objetivos no tratamento de priorização e tal modelo poderia ser extrapolado para outros terminais, com as devidas adaptações.

Conforme comprovado por esse estudo, caso a Receita Federal solicite o escaneamento de todos os contêineres em um cenário de alta movimentação, o fluxo operacional do terminal pode ser prejudicado e, conseqüentemente, contribuir para a perda de competitividade do país. Dessa maneira, sugere-se que a realização de mais estudos em outros terminais portuários com foco na análise de capacidade dos escâneres, tanto na demanda atual, quanto na demanda futura planejada, para que gargalos nesses equipamentos sejam melhor administrados. Estas análises podem dar base à Receita Federal no gerenciamento de riscos e no suporte à tomada de decisão em relação aos fluxos de comércio internacional.

Além disso, como proposta para estudos futuros, pode-se sugerir: aplicação de outras heurísticas de máquina única mais sofisticadas; desenvolvimento de uma heurística adaptada para a situação dos terminais portuários; utilização da Teoria das Restrições em conjunto com novas regras de sequenciamento mais elaboradas. Finalmente, cabe ressaltar que outros possíveis gargalos podem se apresentar no espaço da fila para escaneamento, na quantidade limitada de caminhões de uso interno, ou ainda aumento do cruzamento de fluxos de caminhões no interior do porto quando os fluxos de importação forem totalmente escaneados. Estes possíveis gargalos poderão ser explorados em futuros trabalhos.

## REFERÊNCIAS

- ALICEWEB2. **Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior**. Secretaria de Comércio Exterior – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Disponível em: <<http://aliceweb2.mdic.gov.br/>>. Acesso em: 26 abr. 2013.
- ANTAQ. Agência Nacional de Transportes Aquaviários. **Estatísticas – Anuários**. Disponível em: <[http://www.antaq.gov.br/Portal/Estatisticas\\_Anuarios.asp](http://www.antaq.gov.br/Portal/Estatisticas_Anuarios.asp)>. Acesso em: 25 de maio 2013.
- ARIKAN, E.; FICHTINGER, J.; RIES, J. M. Impact of transportation lead-time variability on the economic and environmental performance of inventory systems. **International Journal of Production Economics**, v. 157, p. 279-288, 2014.
- BNDES. **Análise e Avaliação da Organização Institucional e da Eficiência de Gestão do Setor Portuário Brasileiro**. Volume II. Rio de Janeiro, 2012.
- CARLUER, F. **Global Logistics Chain Security**. Economic impacts of the US 100% container scanning law. 112 f. 2008. Tese (Doutorado). Universidade de Le Havre. Bruxelas, Bélgica, 2008.
- ÇENCEL, Y. A. **Transferência de Calor e Massa: Uma Abordagem Prática**. São Paulo: McGraw-Hill, 2009.
- CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e de operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- FELDMANN, M.; BISKUP, D. Single Machine Scheduling for Minimizing Earliness and Tardiness Penalties by Meta-Heuristic Approaches. **Computer & Industrial Engineering**, v. 44, p. 307-323, 2003.
- FERNANDEZ, M. O. T. **The 100% Container Scanning Legislation: An analysis of waiting lines and economics costs**. 2010. Thesis Maritime Economics & Logistics – ECORYS Rotterdam, 2010.
- FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena**. 2. ed. Florianópolis: Visual Books, 2008.
- HAGUETTE, T. M. F. **Metodologias qualitativas na Sociologia**. 6. ed. Petrópolis: Vozes, 2003.
- HILL, H. **APM's 100% scan doubts**. Lloyds List, 2008.
- KOTACHI, M.; RABADI, G.; OBEID, M. F. Simulation Modeling and Analysis of Complex Port Operations with Multimodal Transportation. **Procedia Computer Science**, v. 20, 2013, p. 229-234.
- LAVILLE, C.; DIONE, J. **A construção do saber: manual de metodologia da pesquisa em ciências humanas**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1999.
- MANUJ, I.; MENTZER, J. T.; BOWERS, M. R. Improving the rigor of discrete-event simulation in logistics and supply chain research. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 39, n. 2, 2009.
- MAZZINI, R.; ARMENTANO, V. A. A Heuristic for Single Machine Scheduling with early and tardy costs. **European Journal of Operational Research**, v. 128, p. 129-146, 2001.

MORINI, C.; BARASSA, E.; MAURÍCIO, M. P. G.; MORETTI, A. C.; SÁ PORTO, P. C. Aduana do Brasil e competitividade: uma comparação em termos de eficiência relativa. **GEPROS. Gestão da Produção, Operação e Sistemas**, v. 9, n. 3, p. 1-13, 2014.

OTTONI, R. S.; ARROYO, J.; SANTOS, A. Algoritmo VNS Multi-objetivo para um problema de programação de tarefas em uma máquina com janelas de entrega. *In: XLIII SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, 2011, Ubatuba, SP. **Anais... XLIII SBPO. SOBRAPO**, 2011, p. 1801-1812.

PINEDO, M. **Scheduling Theory, Algorithm and System**. Prentice Hall, 1995.

PORTUGAL-PEREZ, A.; WILSON, J. S. **Export Performance and Trade Facilitation Reform: Hard and Soft Infrastructure** [Working Paper N° 5261]. World Bank Policy Research, 2010.

RFB. RECEITA FEDERAL DO BRASIL. **Institucional**. Disponível em: < <http://www.receita.fazenda.gov.br/SRF/ConhecaRFB.htm>>. Acesso em: 30 abr. 2013.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2009.

SAFE. **Framework of Standards to Secure and Facilitate Global Trade**, 2007. World Customs Organization. Disponível em: [http://ec.europa.eu/taxation\\_customs/resources/documents/customs/policy\\_issues/customs\\_security/normes\\_wco\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/taxation_customs/resources/documents/customs/policy_issues/customs_security/normes_wco_en.pdf) Data de acesso: abr. 2013.

SIBBESEN, L. K. **Mathematical models and heuristic solutions for container positioning problems in port terminals**. 2008. Dissertação (Mestrado). Technical University of Denmark, Dinamarca, 2008.

SOSA, R. B. **Temas Aduaneiros: estudos sobre problemas aduaneiros contemporâneos**. São Paulo: Aduaneiras, 1999.

TUBINO, D. F. **Planejamento e Controle da Produção - Teoria e Prática**. São Paulo: Atlas, 2007.

VAN DER VEEN, J. A.; GUPTA, J. N. D; HO, J. Single machine hierarchical scheduling with customer orders and multiple job classes. **Annals of Operations Research**, v. 70, p. 127-143, 1997.

WTO. World Trade Organization. World Trade 2012. **Prospects for 2013: Trade to remain subdued in 2013 after sluggish growth in 2012 as European economies to continue to struggle** [Press Release 688]. Genebra, 2013.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2005.