

PLANEJAMENTO DE UM SISTEMA DE TRANSSHIPMENT PARA A EXPORTAÇÃO DE CARVÃO UTILIZANDO SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS

R. C. S. SILVA

(Escola Politécnica - USP, São Paulo, SP, Brazil)

R. C. BOTTER

(Escola Politécnica - USP, São Paulo, SP, Brazil)

E. F. C. TREVISAN

(Escola Politécnica - USP, São Paulo, SP, Brazil)

A. C. MEDINA

(Escola Politécnica - USP, São Paulo, SP, Brazil)

N. N. PEREIRA

(Escola Politécnica - USP, São Paulo, SP, Brazil)

J. F. NETTO

(Escola Politécnica - USP, São Paulo, SP, Brazil)

RESUMO: O presente trabalho relata um caso de *transshipment* no transporte marítimo de carvão. O granel em questão é oriundo de Moatize (Moçambique), e devido às baixas profundidades do canal de acesso do porto em análise, o *transshipment* faz-se necessário no atendimento a navios oceânicos de grande porte. Para a abordagem deste problema foi utilizada a técnica de simulação de eventos discretos, e o modelo de simulação desenvolvido é capaz de fornecer diversas respostas do sistema às diferentes configurações propostas. Nesse sentido, são apresentados os resultados das simulações do sistema considerado, bem como das análises de sensibilidade das taxas de produtividade dos equipamentos portuários, dos impactos das interferências meteorológicas no sistema, além das tentativas de se mitigar estas interferências, entre outros. Desta maneira, permite-se ao analista do problema obter todos os dados necessários e relevantes ao planejamento e dimensionamento deste sistema de *transshipment*, além de prover um auxílio à tomada de decisão com base em análises e comparações de diversas alternativas viáveis.

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho tem por objetivo apresentar o dimensionamento de um sistema de *transshipment* para a exportação de carvão de uma empresa brasileira, que tem um projeto para exportação de cerca de 12 milhões de t/ano de carvão de Moatize (Moçambique), no continente africano.

A empresa transportará o carvão por ferrovia até um porto, através do qual o produto será escoado por via marítima. Diversos *sites* portuários foram analisados e, em um destes, devido às restrições de calado, o berço conseguirá atender somente a embarcações pequenas, do porte *Handymax* (geralmente com carga na faixa de 35.000 a 55.000 dwt, comprimento entre 150 e 200 m e calado ao redor de 11 m), o que implica na necessidade de um sistema de *transshipment* que movimente o carvão entre o porto e uma área marítima localizada a cerca de 50 km de distância, onde podem ser atendidos navios de maior porte.

Atualmente, muitas embarcações *Handymax* são utilizadas em operações de *transshipment* ao redor do mundo. Estas operações são necessárias em terminais com dificuldade em atender embarcações de grande porte. Além disso, nota-se uma tendência no uso deste tipo de sistema em face ao aumento mundial na demanda por granéis e no congestionamento dos grandes portos e terminais.

No caso deste site africano em estudo, pretende-se transferir o carvão por meio de embarcações *Handymax* equipadas com *grabs*, transportadores e um carregador de navio que fará *transshipment* para as embarcações maiores, do porte *Panamax* (até 80.000 dwt) e *Capesize* (com até 150.000 dwt).

Sendo assim, no sistema considerado, o Navio Oceânico (*Ocean Going Vessel – OGV*) é carregado através da operação de *transshipment*, entretanto, quando o OGV é do porte de um navio *Handymax*, este acessa o terminal diretamente, sem necessitar da operação de transbordo. A unidade de *transshipment* (*Transshipment Unit – TU*) é designada para operar somente entre o terminal de Beira e a região onde ocorre efetivamente o transbordo da carga.

Neste sentido, o presente trabalho apresenta análises de diversos cenários deste sistema. Todas as análises foram realizadas através do modelo de simulação desenvolvido com o objetivo de:

- Representar a operação do sistema de escoamento de carvão pelo porto de Beira, desde o carregamento dos navios *Handymax* utilizados, em ciclo fechado, na

operação de *transshipment* até o efetivo carregamento dos navios de maior porte, fundeados em um quadro de bóias a cerca de 50 km no mar;

- Dimensionar a frota de navios *Handymax* (TU's) necessária para o escoamento da demanda prevista;
- Incorporar as restrições de maré para a entrada e a saída do canal do porto e as condições atmosféricas adversas que podem retardar ou interromper as operações de *transshipment*;
- Avaliar diversas condições de carregamento dos navios que farão o transbordo da carga, de tal forma que a operação seja viabilizada.

Além disso, buscou-se avaliar os *trade-offs* existentes no problema, como, por exemplo, utilizar o menor número de embarcações *Handymax* possível no sistema de *transshipment*, e por outro lado reduzir o valor do *demurrage* anual a ser pago pela empresa no atendimento aos navios oceânicos.

2 METODOLOGIA DO SIMULADOR

Para o estudo do sistema de *transshipment*, dado que este opera em um ciclo fechado, buscou-se base metodológica em diversos trabalhos da literatura que versam sobre este tipo de ciclo. Na literatura brasileira foram abordados, neste contexto, as publicações de Mesquita (1994) e de Mendes (1999) aplicados a sistemas hidroviários, e os trabalhos de Ono (2001), Yagui (2006) e Aragão (2009) aplicados ao transporte marítimo.

No que tange ao desenvolvimento do modelo de simulação, a metodologia utilizada foi baseada nos passos propostos por Pedgen et al. (1995) e posteriormente modificados por Botter (2002). Estas etapas são compostas basicamente por:

- a) Definição do problema;
- b) Planejamento do projeto;
- c) Definição do sistema;
- d) Formulação conceitual do modelo;
- e) Projeto preliminar do experimento;
- f) Preparação dos dados de entrada;

- g) Codificação do modelo;
- h) Verificação e validação do modelo;
- i) Projeto final do experimento;
- j) Experimentação e análises de sensibilidades;
- k) Análise e interpretação dos resultados;
- l) Implementação e documentação.

Paralelamente, os trabalhos de Aragão (2009) e Chwif e Medina (2006) nortearam o desenvolvimento da ferramenta de simulação. Estes autores dividem a elaboração do modelo em três etapas principais:

- a) Concepção: onde define-se o sistema, os objetivos e realiza-se o levantamento de dados e a modelagem conceitual;
- b) Implementação: elabora-se o modelo computacional propriamente dito, sua verificação e validação;
- c) Análise: onde são realizadas as simulações desejadas, análises de sensibilidade e análise de resultados.

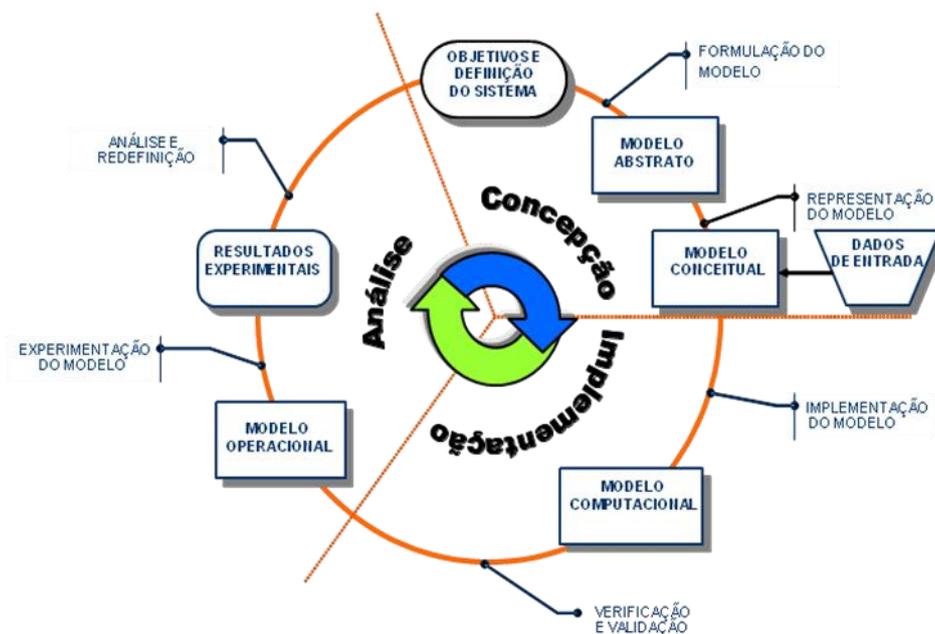


Figura 1: Metodologia de desenvolvimento modelo de simulação

Fonte: Chwif e Medina (2006) e Aragão (2009)

3 PARÂMETROS ANALISADOS

Após a conclusão das etapas de concepção e implementação do modelo, foram definidos diversos cenários de análise e avaliação do sistema, de forma a se obter um dimensionamento adequado deste. As principais variáveis analisadas foram as seguintes:

- Taxas de produtividade de carregamento no terminal, e as taxas de produtividade de descarga, na operação de transbordo do carvão;
- Tempo de atracação e desatracação;
- Tempo de viagem entre o terminal e a região onde será realizado o *transshipment*;
- Tempo de espera por maré: o período em que a maré baixa influencia o trânsito da embarcação. Este tempo depende do calado da embarcação, que, por sua vez, é relacionado com a quantidade de carga a bordo.
- Tempo de limpeza dos porões da unidade de *transshipment*, que ocorre periodicamente e também caso haja alteração no tipo de carvão transportado.

4 CENÁRIO BASE E RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

O cenário base para as simulações iniciais possui os seguintes parâmetros de entrada:

- 2 TU's (*transshipment units*);
- Os calados considerados para as embarcações TU e suas respectivas cargas são:
 - Mínimo: 10,0 m e 34.140 t;
 - Médio: 11,3 m e 41.387 t;
 - Máximo: 12,1 m e 46.387 t;
- Todos os OGV do tipo *Handymax* são carregados diretamente no terminal;
- Se disponíveis, 2 TU's podem carregar simultaneamente um mesmo OGV;
- A taxa comercial de carregamento dos TU's no terminal e de descarregamento durante o processo de transbordo da carga é de 4.000 tph;
- O TU sofre processo de limpeza a cada 2 meses, durante 6 horas, para eventual troca de tipo de carvão transportado;
- O tempo de ciclo é aumentado em 25% durante 6 horas por dia, 100 dias por ano, a fim de se simular condições atmosféricas adversas à operação.

Ademais, os parâmetros de entrada comuns a todos os cenários são elencados na tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros de Entrada

DESCRIÇÃO	VALOR
Demanda prevista (t)	12 milhões
Capacidade Handymax (OGV)	42000 t
Capacidade Panamax (OGV)	70000 t
Capacidade Capesize (OGV)	152000 t
% de Panamax (OGV)	32%
% de Handymax (OGV)	46%
% de Capesize (OGV)	22%
PARÂMETROS TU'S	
Capacidade (no calado médio)	41387 t
Capacidade máxima TU (permitida)	55000 t
Capacidade Mínima	40000 t
Calado Médio TU	11,30 m
Calado Máximo	12,12 m
Calado Mínimo	10 m
Tempo entre limpezas (TU)	8 semanas
Duração do processo de limpeza	6 h
Frota de TU's	2 navios

A composição dos tempos relativos ao tempo de ciclo é apresentada na Figura 2. Deve-se observar que a ociosidade da frota de TU's não é considerada na figura. Além disso, verifica-se que cerca de 50% do tempo de ciclo é decorrente das operações de *transshipment* ou da operação de carregamento no terminal de Beira.

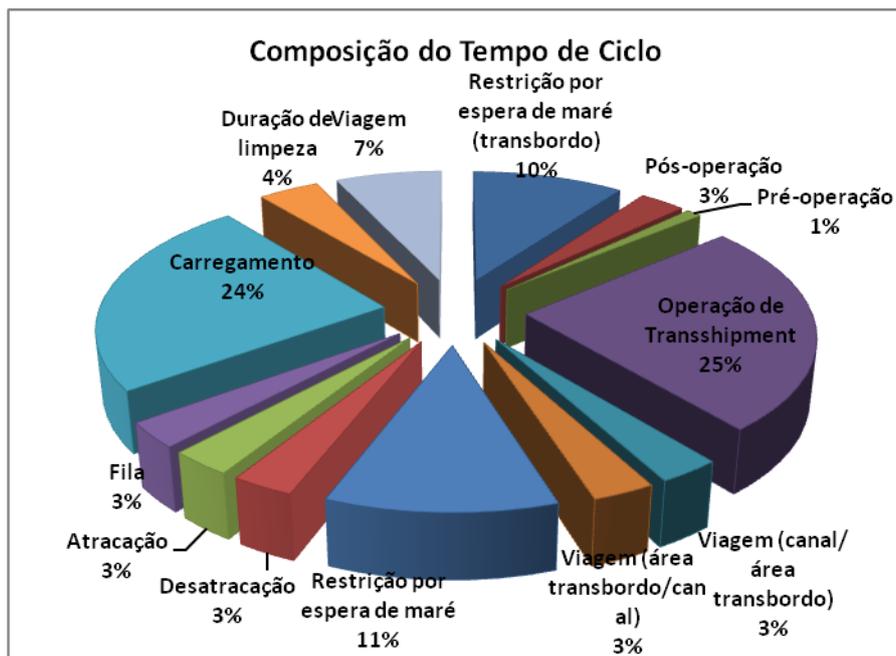


Figura 1: Composição do tempo de ciclo (TU's)

Tabela 2: Composição do tempo de ciclo (TU's)

	Processo	% do tempo de ciclo	Tempo(h)
Transshipment	Restrição por espera de maré (transbordo)	10%	3.7
	Pós-operação	3%	1.1
	Pré-operação	1%	0.4
	Operação	25%	9.1
	Viagem (canal/ área transbordo)	3%	1.1
	Viagem (área transbordo/canal)	3%	1.1
Terminal	Restrição por espera de maré	11%	4.0
	Desatracação	3%	1.1
	Atracação	3%	1.1
	Fila	3%	1.1
	Carregamento	24%	8.8
	Duração de limpeza	4%	1.5
	Viagem	7%	2.6
Tempo de Ciclo		1.52 (Dias)	36.5

Verificações no cenário base:

- O sistema atende à demanda (12 MTPA);

- O tempo médio de ciclo dos TU's é de 1,52 dias, resultando em cerca de 240 viagens possíveis por ano;
- A taxa de ocupação dos TU's é de 61%.

5 ANÁLISES DE SENSIBILIDADE DO CALADO MÍNIMO E MÁXIMO

Uma vez que a capacidade do TU e o tempo de espera por maré favorável são afetados diretamente pelo aumento do calado, foram realizadas análises de sensibilidade para detectar o melhor valor para esse parâmetro, como apresentado nas tabelas e figuras 3 e 4.

Tabela 3: Variação do calado mínimo - Resultados

Resultados	Calado Mínimo				
	8,00	8,50	9,00	9,50	10,00
Números de Navios	136	137	135	136	136
Ociosidade TU (dias)	0,35	0,55	0,84	0,89	0,93
Tempo médio em fila do TU no transbordo (dias)	0,48	0,61	0,77	0,77	0,77
Demurrage (USD/t)	2,78	1,45	0,57	0,50	0,43

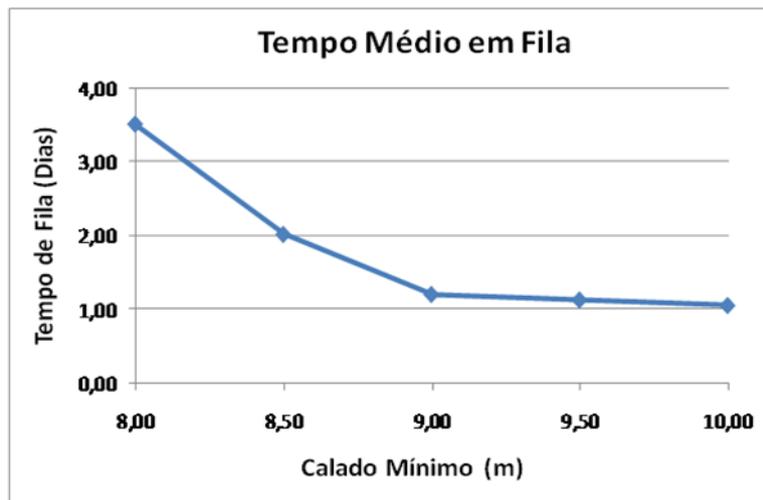


Figura 2: Tempo médio em fila com a variação do calado mínimo

Tabela 4: Variação do calado máximo – Resultados

Resultados	Calado Máximo					
	11,50	11,67	12,00	12,12	12,50	12,70
Números de Navios	134	136	136	134	136	136
Ociosidade TU (dias)	0,94	0,92	0,93	0,96	0,92	0,88
Tempo médio em fila do TU no transbordo (dias)	0,77	0,76	0,77	0,79	0,77	0,75
Demurrage (USD/t)	0,44	0,45	0,43	0,38	0,43	0,48

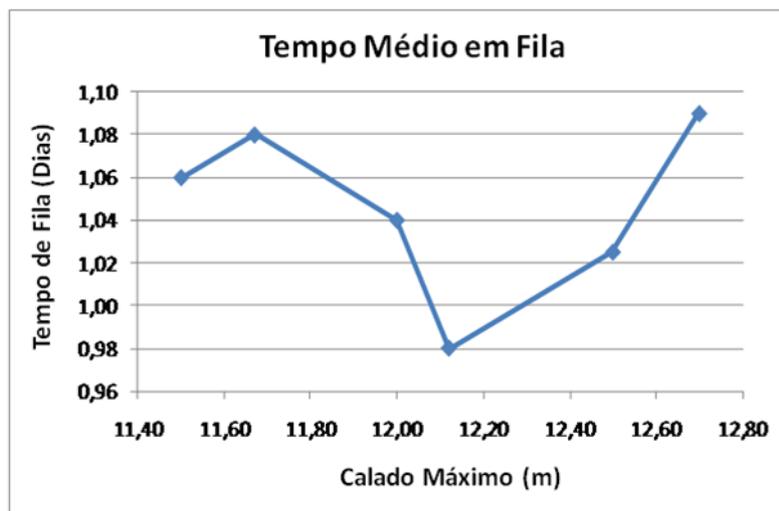


Figura 3: Tempo médio em fila com a variação do calado máximo

Constatações acerca das variações nos calados mínimo e máximo:

- Ao variar-se o calado mínimo dos TU's entre 8 e 10 metro percebe-se que o maior calado mínimo reduz o tempo médio em fila das embarcações OGV, e consequentemente o *demurrage* a ser pago;
- Já ao analisar-se o calado máximo dos TU's, percebe-se que para valores acima de cerca de 12,1 metros o tempo em fila e o *demurrage* das embarcações OGV volta a aumentar, pois os TU's passam a sofrer mais influência da espera por maré.

6 EFEITOS DE TORNADOS NO SISTEMA

Alguns cenários foram simulados considerando os efeitos de tornados no sistema. Quando isso ocorre, a operação de transbordo espera até que as condições climáticas melhorem. Os

resultados são apresentados na tabela 5, divididos em três diferentes cenários: 90, 60 e 30 dias de paralisação por ano.

Tabela 5: Impactos de tornados no sistema - Resultados

	90 dias	60 dias	30 dias
Carga Transportada	10,7 MTPA	10,9 MTPA	11,0 MTPA
Número de ciclos - TU	264	270	272
Tempo de ciclo (Dias)	1,51	1,51	1,50
<i>Demurrage</i> (USD/t)	21,71	10,78	3,34

Percebe-se pela tabela 5 que a ocorrência de tornados ocasiona valores altíssimos de *demurrage* por tonelada a ser pago, inviabilizando economicamente o sistema.

Um cenário alternativo foi criado para representar impactos mais amenos por parte dos tornados. Neste caso, a operação é paralisada durante 5 dias, e a profundidade do canal é diminuída em 1 metro nos 30, 60 ou 90 dias subsequentes. Nessas circunstâncias, o calado do navio é diminuído, e conseqüentemente sua capacidade. Os resultados são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Impactos moderados de tornados no sistema – Resultados

	90 dias	60 dias	30 dias
<i>Demurrage</i> (USD/t)	1,96	1,40	1,39
Carregamentos com calado máximo	0	114	116
Carregamentos com calado mínimo	121	117	111

Percebe-se que o impacto dos tornados no sistema revela-se no valor do *demurrage*, onde até o cenário menos impactado (30 dias de calado reduzido em 1 m) apresenta *demurrage* por tonelada cerca de 3 vezes superior aos observados nos cenários de variação de calado, apresentados no item 5 deste trabalho.

7 EFEITO DA TAXA DE CARREGAMENTO NA OPERAÇÃO DE TRANSSHIPMENT

Buscando-se verificar a influência das taxas de produtividade do sistema, foram realizadas análises de sensibilidade variando-se estas entre 1.500 e 4.500 tph. Os resultados são apresentados nas Figuras 5 e 6.

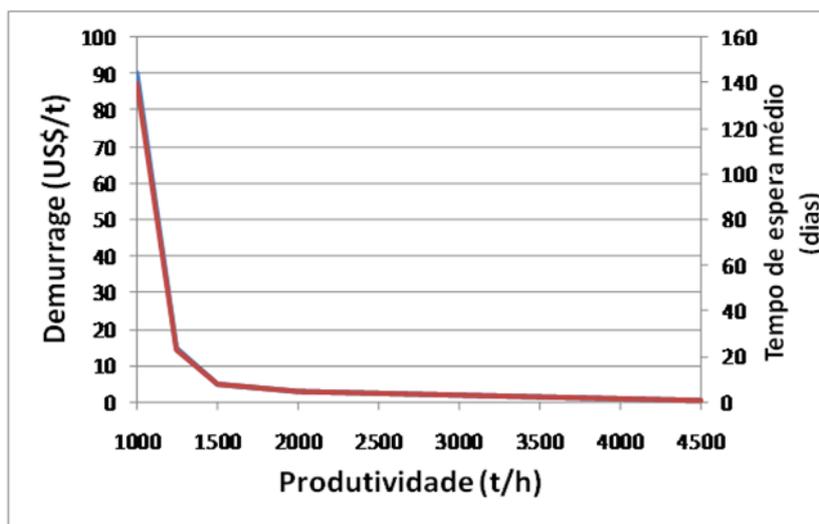


Figura 5: Custos de demurrage por tonelada em função da produtividade de carregamento

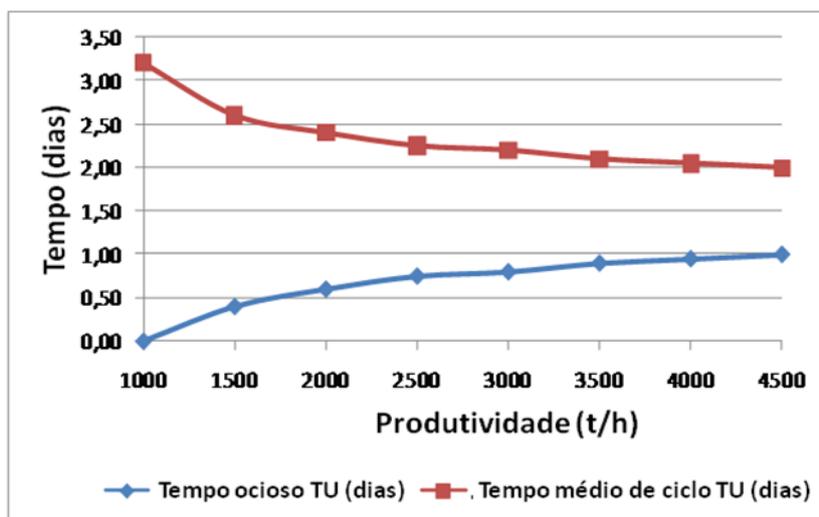


Figura 6: Ociosidade e tempo médio de ciclo dos TU's da produtividade de carregamento

Para taxas de carregamento de 1.500 tph, o tempo de ciclo do TU é de aproximadamente 2,7 dias, a capacidade do sistema é de 9,93 MTPA, com uma taxa de ocupação dos TU's de 97%.

Pode-se verificar que para taxas de produtividade inferiores a 1.500 o sistema se torna inviável. Além disso, o *demurrage* tende a ser minimizado para taxas de carregamento superiores a 3.000 tph.

Quanto aos tempos de ciclo, percebe-se que estes diminuem à medida que se incrementa a taxa de produtividade, no entanto, é provocado um aumento no tempo de ociosidade por ciclo nos TU's.

8 CENÁRIOS DE RISCO: EFEITOS DE CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS ADVERSAS

Análises de sensibilidade foram realizadas para se detectar a resposta do sistema quando ocorre o aumento das adversidades atmosféricas. Para isto, 5 cenários foram elaborados considerando 100 dias de diminuição da produtividade em um ano, em decorrência destas condições climáticas adversas.

- **Cenário 0:** o tempo de ciclo aumenta em 25% durante 6 horas por dia nos 100 dias considerados;
- **Cenário 1:** o tempo de ciclo aumenta em 29% durante 12 horas por dia;
- **Cenário 2:** o tempo de ciclo aumenta em 58% durante 12 horas por dia;
- **Cenário 3:** o tempo de ciclo aumenta em 29% durante 24 horas por dia;
- **Cenário 4:** o tempo de ciclo aumenta em 58% durante 24 horas por dia.

Ademais, a taxa de carregamento no *transshipment* é considerada 3.000 e 4.000 tph para os cenários de 1 a 4. O tempo médio de espera e o *demurrage* da frota de OGV são apresentados nas figuras 7 e 8.

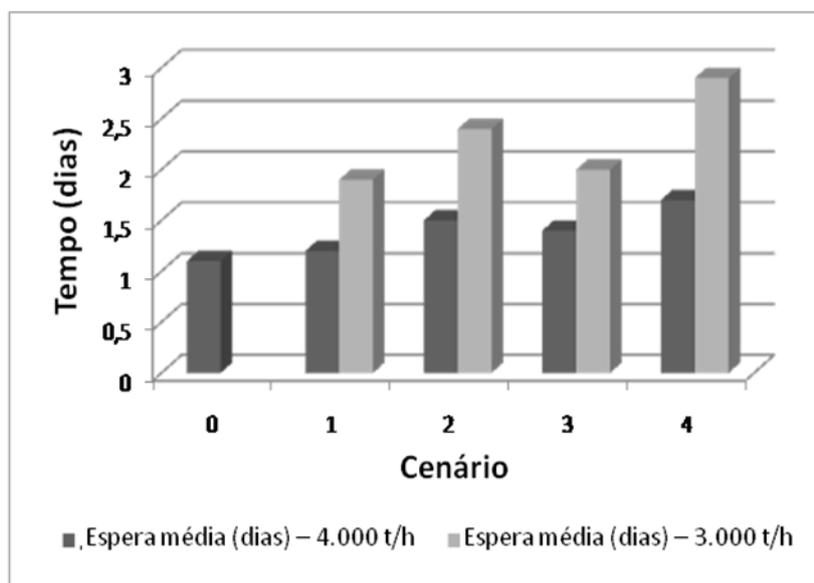


Figura 7: Tempo médio em fila em função de condições atmosféricas adversas e taxas de carregamento na operação de *transshipment*

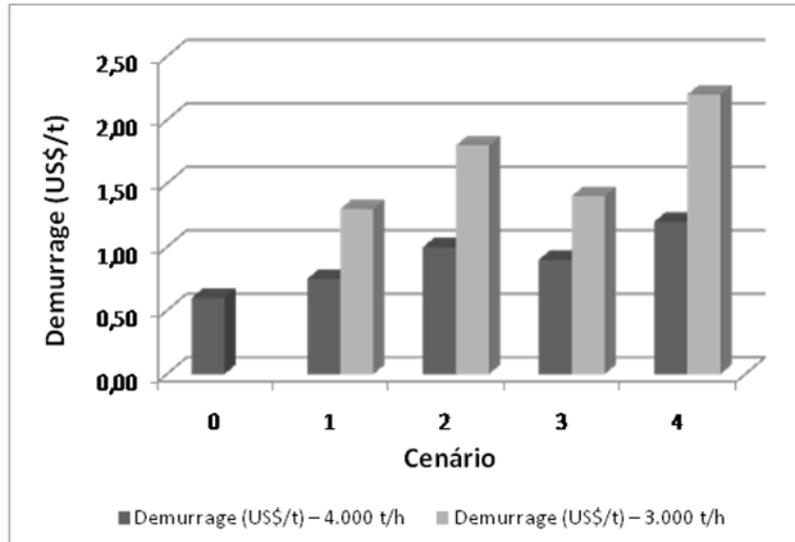


Figura 8: Custos de *demurrage* por tonelada em função de condições atmosféricas adversas e taxas de carregamento na operação de *transshipment*

Dentre estes cenários, o cenário 4 foi o de pior desempenho, com os seguintes resultados:

- Cerca de USD 1,10/t de custos de *demurrage* a uma taxa de 4,000 tph;
- Cerca de USD 2,10/t de custos de *demurrage* a uma taxa de 3,000 tph;
 - A demanda é atendida em ambos os casos.

8.1. Análises adicionais de condições adversas

Com o objetivo de mitigar os efeitos de condições adversas de tempo, outros cenários foram elaborados com as seguintes características:

- TU's transportam apenas um tipo de carvão. Isto acarreta no aumento do tempo médio entre as limpezas dos porões da frota de 60 para 120 dias;
- 3 diferentes taxas de carregamento dos shiploaders: 4.000, 6.000 ou 8.000 tph.
- Aumento da frota de TU's de 2 para 3 embarcações.

Os principais resultados são apresentados na Tabela 8.

Tabela 7: Análises Finais - Resultados

	Cenário	Tempo médio em fila (dias)	Demurrage (USD/t)
Base	Tempo de ciclo é aumentado a 58% em 24 horas Carregador de navio cerca de cerca de 4.000 tph	1,75	1,23
1	Somente 1 tipo carvão	0,73	0,69
2	Carregador de navio cerca de 6.000 tph	1,11	0,68
3	Carregador de navio cerca de 8.000 tph	0,95	0,52
4	Carregador de navio cerca de 6.000 tph; Somente 1 tipo de carvão	0,55	0,45
5	Carregador de navio cerca de 3.000 tph; 3 TU's	0,56	0,31
6	Carregador de navio cerca de 4.000 tph; 3 TU's	0,40	0,16

Através da análise da tabela 8, verifica-se que há uma melhora na operação quando há apenas um tipo de carvão sendo transportado pelos TU's (redução do número de limpezas), bem como quando as taxas de carregamento são mais elevadas. No entanto, verifica-se que o maior ganho operacional ocorre com o aumento da frota de TU's para 3 embarcações. Percebe-se uma resposta muito positiva do sistema, com os menores tempos de fila e *demurrage* a ser pago observados.

9 CONCLUSÕES

Pôde-se verificar que a variação da quantidade do carregamento dos TU's, e conseqüentemente do calado mínimo e máximo, afetam o sistema, dado que as embarcações são influenciadas pela profundidade do canal e pela maré.

Concluiu-se que as taxas de produtividade nas operações de carga e descarga dos TU's são extremamente importantes e fatores decisivos para a viabilidade do sistema.

Foi observado que as condições atmosféricas adversas e a ocorrência de tornados podem impactar significativamente um sistema de operação em *transshipment*, desta maneira concluiu-se que é necessária a avaliação de medidas que mitiguem esses efeitos.

Por fim, conclui-se que o modelo de simulação desenvolvido é capaz de representar as operações de *transshipment* consideradas, bem como todas as suas variações. Desta forma, a ferramenta mostrou-se extremamente útil e eficaz em prover ao analista os resultados de diversos cenários. Assim, o modelo possibilita a realização do dimensionamento do sistema de diferentes maneiras, a partir de análises de *trade-off*. Por exemplo, ao se conhecer os custos de investimentos do aumento na frota de TU's, ou na capacidade dos equipamentos de carga/descarga, podem-se realizar análises de *trade-offs* destes custos de investimentos versus custos operacionais e níveis de serviço, uma vez que o modelo de simulação fornece todas as informações operacionais relevantes, além do *demurrage* por tonelada a ser pago.

10 REFERÊNCIAS

Aragão, M. M. C. 2009, *Caracterização e dimensionamento de um sistema de cabotagem industrial*, Dissertação (Mestrado) – POLI - USP, Dpto. de Eng. de Transportes. Sistemas Logísticos, São Paulo, 168 p.

Botter, R.C. 2002, *Tratamento de dados em simulação discreta*, Tese (Livre-Docência) – POLI - USP, Dpto. de Eng. Naval e Oceânica, São Paulo.

Chwif, L., Medina, A.C. 2007, *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria & Prática*, 2ª Edição. São Paulo, 254 p.

Mendes, A.B. 1999, *Modelo econômico-operacional para o dimensionamento do transporte intermodal de cargas pela hidrovía Tietê-Paraná*, Dissertação (Mestrado) – POLI - USP, Dpto. de Eng. Naval e Oceânica, São Paulo, 212 p.

Mesquita, M.A. 1994, *Estudo de sistemas fechados de filas em transporte fluvial*, Dissertação (Mestrado) – POLI - USP, Dpto. de Eng. Naval e Oceânica, São Paulo.

Ono, R.T. 2001, *Estudo de viabilidade do transporte marítimo de contêineres por cabotagem na costa brasileira*, Dissertação (Mestrado) – POLI - USP, Dpto. de Eng. Naval e Oceânica, São Paulo, 132 p.

Pedgen, C.D., Shannon, R.E., e Sadowski, R.P. 1995, *Introduction to simulation using SIMAN*, McGraw-Hill. 2ª Edição. New York.

Yagui, K. 2006, *Modelo para o dimensionamento de uma frota de contêineres para uma empresa de navegação*, Dissertação (Mestrado) – POLI - USP, Dpto. de Eng. Naval e Oceânica, São Paulo, 167 p.