# MODELAGEM DA OPERAÇÃO PORTUÁRIA APLICADA À QUANTIFICAÇÃO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Vinicius De Martin Sarnaglia

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadores: Otto Corrêa Rotunno Filho
Afonso Augusto Magalhães de Araujo

Rio de Janeiro
Julho de 2014

MODELAGEM DA OPERAÇÃO PORTUÁRIA APLICADA À QUANTIFICAÇÃO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Vinicius De Martin Sarnaglia

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

Examinada por:

_____
Prof. Otto Corrêa Rotunno Filho, Ph.D.

_____
Prof. Afonso Augusto Magalhães de Araujo, D.Sc.

_____
Prof. Carlos Alexandre de Bastos Vasconcellos, D.Sc.

_____
Prof. Luiz Cláudio Gomes Pimentel, D.Sc.

_____
Prof. Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
JULHO DE 2014

Sarnaglia, Vinicius De Martin

Modelagem da operação portuária aplicada à quantificação de emissões atmosféricas/Vinicius De Martin Sarnaglia – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2014.

XVI, 153 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Otto Corrêa Rotunno Filho

Afonso Augusto Magalhães de Araujo

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2014.

Referências Bibliográficas: p. 109-114.

1. Poluição do ar. 2. Terminais portuários. 3. Simulação computacional de eventos discretos. I. Rotunno Filho, Otto Corrêa *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil. III. Título.

*Então o pai olhando as mãos finas do filho que há anos morava no monastério, o perguntou:*

*- Por que veio conosco?*

*Nisso, o filho cansado respondeu:*

*- Após você deixar o monastério, eu me lembrei de um ensinamento de um dos meus mestres: "quando tiver que escolher um caminho, escolha o mais difícil".*

*- Cena do filme "Himalaia, a Infância de Um Chefe" de 1999.*

# AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me ajudar a vencer todos os desafios que a vida me apresenta.

Agradeço a minha família, que foi meu pilar de sustentação durante esse período tão complicado. Assim como a Vi, que, mesmo distante em alguns momentos, nunca deixou de me apoiar.

Aos orientadores, Otto Corrêa Rotunno Filho (Laboratório de Recursos Hídricos e Meio Ambiente do Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ) e Afonso Augusto Magalhães de Araujo (Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Escola Politécnica de Engenharia), pela proposta inicial do tema de tese, por todo o apoio dado ao longo deste trabalho e por manter acesa a crença no desenvolvimento científico e social do Brasil.

Aos professores e membros examinadores, que me deram a honra de tê-los presentes na minha banca de defesa.

Ao CNPq, agência de fomento que, por meio de sua bolsa, garantiu-me suporte financeiro.

Agradecimentos extensivos são dirigidos às agências de fomento FAPERJ e CNPq, que, por meio de suporte aos projetos PEC/COPPPE FAPERJ Edital 014/2010 (2010-2012) – Centro de Referência em Modelagem Ambiental Aplicado à Gestão de Bacias Hidrográficas Rurais e Urbanas – Apoio às instituições de pesquisa sediadas no estado do Rio de Janeiro, ao projeto FAPERJ – Pensa Rio – Edital 19/2011 (2012-2014) e ao projeto FAPERJ – Processo E-26/103.116/2011 (2012-2014), bem como aos projetos PROSUL (Edital CNPq Nº 005/2007), CNPq-Universal (Edital 2013) e IME-PEC/COPPE – CAPES – Aux-PE-PRO-Defesa 1783/2008 (2008–2012), entre outros, que estimulam o avanço científico-tecnológico brasileiro na temática que abrange o escopo desta pesquisa.

Aos professores da Área de Recursos Hídricos e de Meio Ambiente do Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ, pelo apoio e conhecimentos transmitidos ao longo do curso.

Aos funcionários do Programa de Engenharia Civil (PEC) da COPPE/UFRJ, pelo suporte institucional.

Aos responsáveis pela concepção e pela operação dos sistemas de acesso remoto a periódicos do portal CAPES, sem os quais não teria sido possível o acesso a muitas das referências consultadas ao longo do desenvolvimento do presente trabalho.

Aos colegas e estudantes do Laboratório de Recurso Hídricos e Meio Ambiente, pelo aprendizado compartilhado.

Aos amigos Paulo Vitor, José Carlos, Nathalia, Patrícia, Iolanda, Carol, Monique, Bianca, Claudia Daza, pelo apoio prestado em inúmeros momentos, e por ajudarem a tornar o mestrado uma experiência melhor.

Aos meus amigos Lex, Alonso, Elias, Fê, Vanessa, Larissa Albino, Larissa, Dani, Memelli, Padilha e Jana, por tornarem meus momentos no Rio melhores.

Aos amigos Tiago, Luis Philippe e Guerra, por estarem por perto nos períodos em que o mestrado parecia não ter fim.

Aos amigos Paulo Marcelo, Sibia e Mel, pelo compartilhamento de conhecimento durante meu período como bolsista no Laboratório de Recurso Hídricos e Meio Ambiente.

A todo o povo brasileiro, que, por meio de suas contribuições, torna possível a manutenção de institutos de ensino público com esta.

Enfim, agradeço a todos, que, diretamente ou indiretamente, contribuíram para a realização desta dissertação!!!

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

# MODELAGEM DA OPERAÇÃO PORTUÁRIA APLICADA À QUANTIFICAÇÃO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Vinicius De Martin Sarnaglia

Julho/2014

Orientadores: Otto Corrêa Rotunno Filho
Afonso Augusto Magalhães de Araujo

Programa: Engenharia Civil

O setor portuário é reconhecidamente importante para o desenvolvimento brasileiro, entretanto a poluição atmosférica decorrente dessa atividade requer tratamento físico-matemático adequado. Nesse sentido, esta dissertação investigou a utilização de simulação computacional na quantificação de emissões atmosféricas provenientes de atividades portuárias. O trabalho enfoca a modelagem sistêmica de eventos discretos, notadamente chegada e saída de navios e caminhões em um porto, com base em dois cenários em relação ao de referência: o cenário 1 indicando apenas mudanças operacionais e o cenário 2 levando em consideração mudanças na infraestrutura do terminal. Em síntese, a abordagem metodológica contempla a construção de um modelo representativo do terminal, incluindo o seu funcionamento geral, proposição de cenários e derivação de indicadores ambientais. Especificamente, avalia-se a emissão anual e a variação na escala diária da emissão de poluentes na atmosfera a partir de caminhões operando em marcha-lenta em cinco filas em um terminal concebido no âmbito do código computacional ProModel. O resultado mostrou que a emissão anual, para a situação inicial, foi de, aproximadamente, 2.054 tons de CO, 277 tons de COV, 2.706 tons de $NO_x$, 281 tons de HT, 88 tons de $MP_{2,5}$ e 96 tons de $MP_{10}$. As melhorias no cenário 1 e no cenário 2 levaram a uma redução de emissão de poluentes, respectivamente, de 18,10% e de 43,51%. Destaca-se o potencial da ferramenta de simulação para diversas operações portuárias e, em especial, no caso desta pesquisa, a possibilidade de obtenção de indicadores ambientais consistentes e normativos para a melhora da operação portuária.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

MODELING OF PORT OPERATIONS APPLIED TO QUANTIFYING ATMOSPHERIC EMISSIONS

Vinicius De Martin Sarnaglia

July/2014

Advisors: Otto Corrêa Rotunno Filho
Afonso Augusto Magalhães de Araujo

Department: Civil Engineering

The port sector is recognized as important for the development of Brazil, however air pollution resulting from this activity requires appropriate physical-mathematical treatment. Thus, this dissertation investigated the use of computer simulation in quantifying atmospheric emissions in port systems. The work focuses on the systemic modeling of discrete events, namely arrival and departure of ships and trucks in a harbor, based on two scenarios relative to the baseline simulation: scenario 1 indicates only operational changes while scenario 2 takes into account changes in the terminal infrastructure. In summary, the methodological approach includes the construction of a model of the terminal, including its general operation, proposition of operational scenarios and derivation of environmental indicators. More specifically, we evaluate the behavior of the emission of pollutants in the atmosphere at the annual and daily time scale from trucks operating by means of five rows in a terminal designed in the framework of the software ProModel. The results showed that there was an annual emission for the initial situation of approximately 2,054 tons of CO, 277 tons of VOC, 2,706 tons of NOx, 281 tons of HT, 88 tons of $MP_{2,5}$ and 96 tons of $MP_{10}$. Improvements in scenario 1 and scenario 2 led to a decrease of, respectively, 18.10% and 43.51% with respect to emission of pollutants. In addition, we highlight the potential of simulation tool for various port operations and, in particular, in the case of this research, the possibility of obtaining consistent environmental indicators for the improvement of port operations.

# SUMÁRIO

SUMÁRIO ..... ix

LISTA DE FIGURAS ..... xii

LISTA DE TABELAS ..... xv

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO ..... 1

1.1 Considerações Gerais ..... 1

1.2 Objetivos e Diretrizes Científicas ..... 3

1.3 Escopo do Trabalho ..... 6

CAPÍTULO 2 – SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE EVENTOS DISCRETOS ..... 8

2.1 Bases Gerais ..... 8

2.1.1 Conceituação ..... 8
2.1.2 Histórico ..... 10
2.1.3 Aplicações ..... 11
2.1.4 Vantagens e Desvantagens ..... 12
2.1.5 Projeto de Simulação ..... 13

2.2 Código Computacional Empregado ..... 16

2.3 Simulação em Portos ..... 17

2.4 Simulação em Portos e Interface Ambiental ..... 19

CAPÍTULO 3 – ATIVIDADE PORTUÁRIA ..... 22

3.1 Sistema Portuário Brasileiro ..... 22

3.1.1 Histórico e Estrutura ..... 22
3.1.2 Números Atuais ..... 24
3.1.3 Navegação de Apoio Marítimo ..... 26

3.2 Portos e Meio Ambiente ..... 31

3.2.1 Aspectos Ambientais da Atividade Portuária ..... 31
3.2.2 Legislação Ambiental Portuária ..... 37
3.2.3 O Papel da ANTAQ ..... 38

CAPÍTULO 4 – INDICADORES AMBIENTAIS ..... 40

4.1 Considerações Gerais ..... 40

4.1.1 Potencialidades e Desafios no Uso de Indicadores Ambientais ..... 43

4.2 Exemplos de Indicadores Ambientais Aplicados a Portos ..... 43

4.2.1 Indicadores de Desempenho Gerencial (IDG) ..... 44
4.2.2 Indicadores de Desempenho Operacional (IDO) ..... 45
4.2.3 Indicadores de Condição Ambiental (ICA) ..... 45

4.3 Indicadores Adotados nos Portos Brasileiros ..... 46

CAPÍTULO 5 – METODOLOGIA ..... 47

5.1 Modelagem ..... 48

5.1.1 Processo de Modelagem no ProModel ..... 49
5.1.2 Determinação da Extensão do Período de Aquecimento e Período de Simulação ..... 51
5.1.3 Determinação do Número de Replicações ..... 52
5.1.4 Validação e Verificação ..... 53

5.2 Obtenção dos Resultados da Simulação e Indicadores ..... 54

5.3 Análise de Cenários ..... 59

CAPÍTULO 6 – ESTUDO DE CASO ..... 60

6.1 Descrição do Sistema ..... 60

6.2 Dados Secundários e Considerações Feitas ..... 67

6.3 Processo de Modelagem ..... 70

6.3.1 Modelagem da Situação Atual ..... 70
6.3.2 Modelagem dos Cenários ..... 75

6.4 Determinação de Configurações da Simulação ..... 77

6.4.1 Determinação da Extensão do Período de Aquecimento e Período de Simulação ..... 77
6.4.2 Determinação do Número de Replicações ..... 79

CAPÍTULO 7 – ANÁLISE DOS RESULTADOS ..... 82

7.1 Situação Atual ..... 83

7.2 Análise dos Cenários ..... 92

CAPÍTULO 8 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES ..... 105

8.1 Conclusões ..... 105

8.2 Recomendações ..... 107

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 109

ANEXOS ..... 115

Anexo A ..... 116

Anexo B ..... 121

Anexo C ..... 128

C.1. Informações Gerais do Modelo ..... 128
C.2. Inserção do *Layout* ..... 128
C.3. Inserção dos Locais no Modelo ..... 129
C.4. Inserção das Redes ..... 132
C.5. Inserção das Entidades no Modelo ..... 134
C.6. Atributos das Entidades ..... 135
C.7. Entrada das Entidades no Sistema ..... 136
C.8. Inserção dos Recursos do Sistema ..... 138
C.9. Inserção de Variáveis ..... 139
C.10. Processos do Sistema ..... 141
C.11. Configurações de Simulação ..... 153

# LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Etapas de um projeto de simulação..... 14

Figura 3.1. Movimentação portuária – histórico. ..... 25

Figura 3.2. Evolução da exportação e importação brasileira por via marítima nos últimos 5 anos. ..... 26

Figura 3.3. Participação por natureza de carga na tonelagem exportada e importada em 2011. ..... 26

Figura 3.4. Projeção da frota de apoio marítimo. ..... 28

Figura 3.5. Previsão de produção nacional de petróleo no período 2011-2020.. 29

Figura 3.6. Previsão de produção nacional de gás no período 2011-2020. ..... 30

Figura 3.7. Distância entre o Porto de Imbetiba e o Pátio de Tubos. ..... 36

Figura 5.1. Fluxograma metodológico..... 47

Figura 5.2. Lógica para a obtenção do tempo de permanência total de caminhões na fila..... 55

Figura 6.1. Fluxos de chegada e saída de cargas do terminal estudado..... 61

Figura 6.2. Configuração do terminal estudado. ..... 62

Figura 6.3. Fluxograma do ciclo da carga no terminal estudado. ..... 66

Figura 6.4. Distribuição da chegada de caminhões de fornecedores externos ao longo do dia. ..... 70

Figura 6.5. Posicionamento no *layout* da rede que representa o arruamento do terminal estudado..... 71

Figura 6.6. Processos existentes no sistema. ..... 72

Figura 6.7. Média semanal do número de navios no fundeio em relação ao tempo de simulação em um modelo na fase de testes. ..... 78

Figura 6.8. Média horária do número de navios no fundeio em relação ao tempo de simulação em um modelo na fase de testes. ..... 79

Figura 7.1. Variação ao longo do dia (média anual) do total de horas em que os caminhões estiveram emitindo na fila de acesso ao terminal (Situação Atual). ..... 87

Figura 7.2. Variação ao longo do dia (média anual) do total de horas em que os caminhões estiveram emitindo na fila de acesso à área de pré-embarque de tubos (Situação Atual). ..... 88

Figura 7.3. Variação ao longo do dia (média anual) do total de horas em que os caminhões estiveram emitindo na fila de acesso à área de pré-embarque de cargas gerais, químicos e DMA (Situação Atual). ..... 88

Figura 7.4. Variação ao longo do dia (média anual) do total de horas em que os caminhões estiveram emitindo na fila de acesso à área de pré-embarque de granéis (Situação Atual). ..... 89

Figura 7.5. Variação ao longo do dia (média anual) do total de horas em que os caminhões estiveram emitindo na fila de acesso à retroárea (Situação Atual)..... 89

Figura 7.6. Variação ao longo do dia (média anual) do total de horas em que os caminhões estiveram emitindo nas diferentes filas do terminal (Situação Atual)..... 90

Figura 7.7. Participação de cada fila no total de horas em que os caminhões estiveram emitindo (Situação Atual). ..... 91

Figura 7.8. Variação ao longo do dia (média anual) do total de horas em que os caminhões estiveram emitindo nas diferentes filas do terminal (Cenário 1). ..... 95

Figura 7.9. Participação de cada fila no total de horas em que os caminhões estiveram emitindo (Cenário 1). ..... 96

Figura 7.10. Variação ao longo do dia (média anual) do total de horas em que os caminhões estiveram emitindo nas diferentes filas do terminal (Cenário 2). ..... 97

Figura 7.11. Participação de cada fila no total de horas em que os caminhões estiveram emitindo (Cenário 2). ..... 98

Figura 7.12. Comparação entre os cenários da emissão ao longo do dia considerando-se a soma de todas as filas. ..... 99

Figura B.1. Distribuição da chegada de caminhões de Fornecedores Externos ao longo do dia. ..... 122

Figura C.1. Inserção da informações gerais do modelo..... 128

Figura C.2. Inserção do *layout* do terminal e escala adequada. ..... 129

Figura C.3. Posicionamento dos locais no *layout*. ..... 132

Figura C.4. Posicionamento no *layout* da rede que representa o arruamento do terminal estudado. ..... 133

Figura C.5. Ícone do recurso Caminhões Internos. ..... 139

Figura C.6. Ícones das variáveis adicionadas ao *layout*. ..... 141

Figura C.7. Processos existentes no sistema. ..... 142

Figura C.8. Configurações de simulação. ..... 153

# LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Movimentação de cargas no apoio marítimo em 2012 (dados em toneladas)..... 31

Tabela 3.2. Principais impactos de um projeto de desenvolvimento portuário no meio ambiente..... 33

Tabela 4.1. Potencialidades e desafios no uso de indicadores ambientais..... 43

Tabela 5.1. Fatores de emissão para caminhões de carga pesada movidos a diesel. ..... 58

Tabela 6.1: Distribuições dos intervalos de chegada de navios divididos por tipo. ..... 67

Tabela 6.2: Elementos do modelo. ..... 74

Tabela 6.3. Resultados das simulações-piloto..... 79

Tabela 6.4. Resultados das simulações considerando-se a situação atual. ..... 80

Tabela 7.1. Tamanho médio e máximo da fila de navios (Situação Atual). ..... 83

Tabela 7.2. Entrada de navios no sistema (Situação Atual). ..... 83

Tabela 7.3. Taxa de ocupação dos berços (Situação Atual)..... 84

Tabela 7.4. Indicadores relacionados às filas de caminhões (Situação Atual).... 85

Tabela 7.5. Emissão anual dos poluentes avaliados (Situação Atual). ..... 86

Tabela 7.6. Emissão ao longo do dia provocada pela soma de todas as filas (Situação Atual). ..... 91

Tabela 7.7. Comparação do tamanho médio e máximo da fila de navios. ..... 93

Tabela 7.8. Comparação entre a taxa de ocupação média dos berços. ..... 93

Tabela 7.9. Comparação dos indicadores relacionados às filas de caminhões. .. 94

Tabela 7.10: Comparação entre cenários do número de horas totais em que os caminhões operam em marcha lenta nas filas durante um ano. ..... 99

Tabela 7.11. Emissão anual dos poluentes avaliados (Cenário 1)..... 101

Tabela 7.12. Emissão anual dos poluentes avaliados (Cenário 2)..... 102

Tabela 7.13. Emissão ao longo do dia provocada pela soma de todas as filas (Cenário 1). ..... 103

Tabela 7.14. Emissão ao longo do dia provocada pela soma de todas as filas (Cenário 2). ..... 104

Tabela B.1. Distribuições dos intervalos de chegada de navios divididos por tipo. ..... 123

Tabela B. 2. Tempo de deslocamento da área de fundeio até os berços por tipo de embarcação ..... 125

Tabela C.1. Lista dos locais utilizados no modelo. ..... 130

Tabela C.2. Entidades utilizadas no modelo. ..... 134

Tabela C.3. Atributos utilizados no modelo ..... 135

Tabela C.4. Porcentagem do total de caminhões de fornecedores externos que entra a cada dia no sistema. ..... 137

Tabela C.5. Lista de variáveis utilizadas. ..... 139

Tabela C.6. Processos do sistema em estudo. ..... 143

# CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações Gerais

A poluição do ar, em grande parte dos centros urbanos, está diretamente ligada à queima de combustíveis fósseis no modal rodoviário. Segundo estudo do Instituto Saúde e Sustentabilidade (*apud.* sítio do G1/Globo), em 2011, na capital paulista, morreram, em decorrência da poluição do ar, 4.655 pessoas. No mesmo período, as mortes, em decorrência do trânsito, foram 1.556 (*ibid.*). Tal comparação revela a importância em se ter a qualidade do ar enquadrada em níveis satisfatórios.

Os efeitos da poluição do ar são, de fato, bastante perceptíveis em escala local e regional, pois afeta diretamente a população através de problemas de saúde pública entre outros impactos. Desde a metade do século XVIII, com o início da Revolução Industrial, na Inglaterra, cresceu significativamente a poluição do ar devido à queima de combustíveis fósseis. Em especial, nas últimas décadas, cada vez mais, discutem-se os impactos da poluição do ar em escala global, como a destruição da camada de ozônio e o aquecimento global.

Cabe ainda lembrar que, de acordo com a resolução CONAMA 306:2002, "Meio Ambiente é o conjunto de condições, leis, influência e interações de ordem física, química, biológica, social, cultural e urbanística, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas." Logo, qualquer forma de alteração dessas propriedades, causada, diretamente ou indiretamente, por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas, é considerada um impacto ambiental antrópico. Não resta dúvida que, também sob essa ótica, um dos impactos ambientais mais evidentes é a poluição do ar.

Segundo o IPCC, Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, na sigla em inglês), em relatório publicado em 2013, há 95% de probabilidade de que mais da metade da elevação média da temperatura da Terra, entre 1951 e 2010, tenham sido causadas pelo homem (informações *apud.* sítio da revista Exame). O relatório afirma, ainda, que os gases de efeito estufa contribuíram para o aquecimento entre 0,5 e 1,3 grau Celsius (ºC) no período entre 1951 e 2010.

Diante de tal desafio, é importante reconhecer a participação do setor de transportes no efeito estufa. Estudos (IPCC, 2007) mostram que, em 2004, por exemplo, o setor de transportes foi responsável pela emissão de 23% do total das emissões de

gases do efeito estufa relacionados à energia, sendo três quartos de tal valor provenientes do modal rodoviário.

Por outro lado, é necessário incentivar, no país, cada vez mais, o transporte de cargas por outros modais além do rodoviário, em especial, com o suporte hídrico, seja via marítima, seja por meio fluvial. Há enorme esforço, no Brasil, para melhor redesenhar a infraestrutura brasileira no tocante à questão de construção de terminais portuários e correspondente articulação com demais artérias de abastecimento da população e de escoamento da produção agroindustrial. No entanto, percebe-se que, também na operação portuária, é necessária uma articulação de modais, incluindo o transporte de cargas por meio de caminhões em rodovia, que fazem a interligação das operações de carga e descarga de navios no porto com o abastecimento das cidades.

Diante da temática de poluição do ar atrelada ao setor de transportes, realçada na contextualização inicial de motivações para o desenvolvimento desta dissertação, optou-se por dedicar atenção, neste trabalho, à temática portuária. Mais especificamente, motivada pela importância da questão da qualidade do ar e da importância do setor portuário brasileiro, esta dissertação propõe-se a discutir a relação existente entre poluição do ar e a operação portuária, notadamente a avaliação do potencial emprego das filas de caminhões, formadas em acessos portuários, com suporte da aplicação de simulação computacional, para a obtenção de indicadores ambientais.

A simulação, por sua vez, é uma técnica que permite reproduzir o funcionamento de determinado sistema através do acompanhamento de eventos ao longo do tempo. Como essa reprodução do funcionamento do sistema é feita por meio de um código computacional, a simulação torna-se computacional.

A simulação computacional apresenta-se como uma ferramenta de suporte para análise da geração de uma série de indicadores representativos do sistema modelado, que permitem, portanto, tomadas de decisão a respeito de determinado tema. Embora cada vez mais popular em diversas áreas da engenharia, a sua utilização no tratamento de aspectos ambientais no âmbito da área portuária ainda é limitada, lacuna que mereceu, neste trabalho, atenção especial.

Assim, esta dissertação parte do princípio de que os diversos resultados possíveis de serem obtidos através da simulação de determinado sistema podem resultar em uma série de indicadores ambientais. Nesta pesquisa, a abordagem restringe-se à modelagem de eventos discretos, notadamente chegada e partida de navios e caminhões, intrinsecamente associadas a operações portuárias, que merecerão maior atenção e detalhamento em capítulos subsequentes.

Cabe destacar que o conhecimento de indicadores ambientais obtidos via simulação pode produzir uma série de benefícios, como:

- maior compreensão sobre o consumo de energia e impactos ambientais de diferentes alternativas de projeto de forma muito mais detalhada que a obtida por cálculos em planilhas;
- evidenciar diferenças entre modos de operação e estratégia de gestão da operação;
- suporte para obtenção de licenças, apresentando benefícios relativos às ações propostas;
- suporte para que determinado projeto possa ser considerado sustentável;
- suporte para outros estudos ambientais que utilizem tais indicadores;
- identificar áreas que apresentam maior risco ao ser humano, como áreas com grande emissão de CO2 e de ruído;
- referencial *(benchmarking)* entre empresas do mesmo setor.

Além disso, a possibilidade de se obter indicadores ambientais pode motivar ou justificar a construção de modelos de simulação para determinado sistema.

Dessa forma, enfatiza-se que a presente dissertação empreende um esforço no sentido de pesquisar como adequadamente empregar a simulação computacional de eventos discretos para a obtenção de indicadores ambientais em determinado sistema. Embora as ideias aqui presentes possam ser aplicadas ou adaptadas a outros temas, para estruturar o trabalho, como previamente mencionado, optou-se pela temática portuária.

## 1.2 Objetivos e Diretrizes Científicas

A presente dissertação abordará impactos ambientais que estão relacionados à qualidade do ar, sendo que o objetivo do estudo fundamenta-se na extração de indicadores ambientais com suporte da simulação computacional de eventos discretos, notadamente chegadas de caminhões e navios em um terminal de abastecimento marítimo, amparado nas seguintes perspectivas:

- a vital importância do setor portuário para as atividades econômicas brasileiras;
- a atividade portuária é de alto potencial poluidor, demandando extrema atenção para a sua concepção, implantação e operação;
- a simulação computacional de eventos discretos é amplamente utilizada em terminais portuários, em diversas oportunidades, para implementar dimensionamentos e melhorias, como na estimativa do tamanho necessário da retroárea para atender a demanda, conforme o desejado, e prever como o terminal se comportaria devido a um aumento na demanda.

Complementarmente, é justo afirmar que o referencial adotado nesta dissertação, não é usualmente empregado no sentido de tratar questões ambientais na área portuária, embora os resultados obtidos pelos modelos construídos tenham o potencial de produzir indicadores importantíssimos a respeito do funcionamento de terminais.

Diante desse quadro de análise, estabeleceu-se, como objetivo geral do estudo, a quantificação de emissões atmosféricas com suporte de simulação computacional de eventos discretos em um terminal de abastecimento marítimo com enfoque na operação de caminhões e navios.

Como objetivos específicos, apontam-se:

- entender e apresentar o funcionamento de um terminal portuário de abastecimento marítimo;
- investigar a integração entre o modelo de simulação computacional do terminal estudado e a emissão atmosférica de poluente via caminhões organizados em filas;
- analisar diferentes cenários relativos a mudanças na operação e na infraestrutura de uma instalação portuária;
- avaliar a viabilidade da utilização da simulação computacional de eventos discretos na quantificação de emissões atmosféricas.

Sob o ponto de vista metodológico para fornecer respostas ao objetivo geral exposto, busca-se introduzir uma alternativa para que a emissão atmosférica de poluentes seja estimada via o registro do tempo em que a fonte em questão emitiu algum tipo de poluente através de modelo de simulação do sistema. A fonte em questão será o conjunto de caminhões parados em diferentes filas de um terminal portuário a ser simulado em um estudo de caso. Dessa forma, o registro do tempo é feito do momento em que o caminhão entra em determinada fila até o momento que ele sai. A soma de todos os registros indica o tempo total em que os caminhões ficaram ociosos na fila emitindo poluentes e tal soma pode ser convertida em emissão mássica de poluentes na atmosfera.

Dessa forma, é proposta uma metodologia para quantificar as emissões atmosféricas causadas pelas filas de caminhões nos acessos portuários por meio da aplicação da simulação computacional de eventos discretos ao sistema. A inovação da utilização de tal ferramenta com um viés ambiental é uma grande motivação deste trabalho. Além disso, esforços que possam contribuir para tornar os portos mais eficientes e menos “agressivos” ao meio ambiente são relevantes temas de pesquisa.

O estudo de caso consiste na simulação computacional de eventos discretos de um terminal portuário especializado no abastecimento de unidades marítimas (UMs) de exploração de petróleo e gás. O modelo levou em consideração a chegada de cargas ao terminal via caminhões originários de fornecedores externos e de um pátio de tubos que possui um número fixo de caminhões operando em sistema de rota entre o pátio e o terminal. Para simular a operação dos caminhões, foi necessário levar em consideração processos do terminal que com eles interagem, como o processo de carregamento e descarregamento de navios.

O modelo de simulação foi construído através do código computacional ProModel. Tal arcabouço de modelagem utiliza elementos como “locais”, “entidades” e “recursos” para a definição dos processos inerentes ao sistema.

Os resultados obtidos através do modelo construído são relacionados ao tempo gasto pelos caminhões nas diferentes filas do terminal, a saber, fila de acesso ao terminal e acesso a diferentes áreas de pré-embarque e retroáreas. Todavia os resultados no formato de saída do ProModel precisaram ser trabalhados e formatados em um programa desenvolvido em linguagem Fortran. Com base em fatores de emissão da Agência de Proteção Ambiental estadunidense (US EPA), como os fatores de conversão do tempo gasto na fila em emissão de poluentes na atmosfera em unidade de massa e nos resultados encontrados trabalhados, indicadores ambientais são construídos visando estimar a emissão anual e a variação da emissão ao longo do dia para os seguintes poluentes:

- COV (carbono orgânico volátil);
- HT (total de hidrocarbonetos);
- CO (monóxido de carbono);
- $NO_x$ (óxidos de nitrogênio);
- $MP_{2,5}$ (material particulado com diâmetro inferior a 2,5 μm, considerado como material particulado fino);
- $MP_{10}$ (material particulado com diâmetro inferior a 10 μm).

A metodologia inclui, ainda, a análise de diferentes cenários de melhorias. No estudo de caso, foram elaborados dois cenários de mudança em relação à situação inicialmente proposta, sendo eles:

- cenário 1- retrata uma política de agendamento de chegada que resultaria numa taxa de chegada constante de caminhões dos fornecedores externos ao longo do dia.
- cenário 2- retrata melhorias na infraestrutura do terminal, tais como, aumento nas áreas de pré-embarque, aumento na capacidade das portarias, aumento do tamanho limite das filas de acesso às áreas de pré-embarque, aumento do número de caminhões atendidos de forma simultânea nas áreas de pré-embarque, entre outras.

Em síntese, foi possível observar que a metodologia aplicada ao estudo de caso foi capaz de quantificar a emissão de poluentes em relação a um determinado período de tempo (por exemplo, diário, mensal, anual), assim como a variação ao longo do dia da emissão. O conhecimento de tal variação é de grande importância, primeiro por refletir a variação na chegada de caminhões ao longo do dia, segundo por subsidiar estudos de forma mais refinada, como estudos de dispersão atmosférica de poluentes em que a variação nas condições de dispersão ao longo do dia é levada em consideração.

As mudanças no modelo relativas aos cenários levaram a uma redução na emissão atmosférica de poluentes de 18,10% no Cenário 1 e de 43,51% no Cenário 2.

As mudanças nas operações do terminal propostas no Cenário 1 levaram a uma redução na emissão atmosférica em períodos que anteriormente eram de pico de chegada de caminhões e elevou a emissão em horários que eram de baixo movimento tornando a emissão praticamente constante ao longo do dia, o que corresponde ao fato de a taxa chegada de caminhões ter se tornada constante. Já o Cenário 2 levou a uma redução na emissão em todos os horários do dia, entretanto o comportamento da variação da emissão longo do dia manteve-se próximo ao da situação atual.

## 1.3 Escopo do Trabalho

O Capítulo 1 trata desta introdução ao estudo. Ela expõe uma visão geral sobre o tema desta dissertação e a justificativa pela escolhe do tema. Além disso, expõe o objetivo geral, assim como as diretrizes de tratamento da questão científica colocada, qual seja de produção de indicadores ambientais em termos de emissão atmosférica com suporte de simulação computacional de eventos discretos em terminal portuário. Mais especificamente, trata-se da chegada e saída de navios e caminhões em um porto, com base em três cenários, sendo o primeiro de referência e os outros dois de análise para avaliar o aperfeiçoamento potencial de operação de um terminal de abastecimento marítimo.

O Capítulo 2 trata da atividade portuária em si. Ele é dividido em dois itens. O primeiro apresenta o sistema portuário brasileiro, principalmente no que tange à navegação de apoio marítimo. Já o segundo item trata da relação da atividade portuária e o meio ambiente.

Já o Capítulo 3 trata da simulação computacional de eventos discretos. Inicia-se com as bases gerais da ferramenta. Em seguida, é apresentado o código computacional utilizado na dissertação, o ProModel. O terceiro item trata da aplicação da simulação computacional de eventos discretos a terminais portuários. Por fim, são apresentados três estudos de casos em que a simulação computacional de eventos discretos foi utilizada em terminais portuários com um viés ambiental.

No Capítulo 4, o tema dos indicadores ambientais é trabalhado. Inicia-se com a apresentação das considerações gerais acerca do tema. Em seguida, são apresentados exemplos de indicadores ambientais aplicados a portos.

O Capítulo 5 apresenta a metodologia que sustenta esta dissertação. Após a metodologia geral ser apresentada, ela é detalhada em quatro (4) itens. O primeiro trata da identificação dos aspectos ambientais pertinentes à situação. O segundo item trata do processo de modelagem do sistema. Já o terceiro trata da obtenção e tratamento dos resultados. Por fim, o último item mostra como é feita a comparação entre os diferentes cenários.

O Capítulo 6 apresenta o estudo de caso propriamente dito. Inicia-se com a descrição geral do sistema. Após isso, todos os dados secundários e as considerações feitas são listados. O terceiro item apresenta o processo de modelagem feito. Por fim, as configurações de simulação do modelo são determinadas.

O Capítulo 7 analisa os resultados obtidos após a aplicação da metodologia presente no Capítulo 5 ao sistema apresentado no Capítulo 6. A análise tem início com a avaliação da situação apresentada no Capítulo 6, e, em seguida, tal situação é confrontada com diferentes cenários propostos de alteração.

O Capítulo 8 apresenta as conclusões gerais a que esta dissertação chegou e apresentam-se recomendações para estudos futuros envolvendo o mesmo tema.

O Anexo A traz o código computacional escrito em linguagem FORTRAN utilizado na organização dos resultados, enquanto que o Anexo B traz todos os dados utilizados no estudo de caso. Por fim, o Anexo C traz o detalhamento do processo de modelagem do estudo de caso.

# CAPÍTULO 2 – SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE EVENTOS DISCRETOS

Neste capítulo, serão discutidos elementos da simulação computacional de eventos discretos pertinentes ao tema desenvolvido nesta dissertação, contendo breve conceituação da técnica de simulação computacional e seu histórico, apresentação do código computacional utilizado, aplicabilidade da simulação computacional na área portuária e abordagem da interface ambiental nas simulações computacionais.

## 2.1 Bases Gerais

### 2.1.1 Conceituação

É possível encontrar, na literatura, uma vasta quantidade de conceitos acerca da modelagem. Pidd (1998, *apud* Pinho *et al.*, 2009) desenvolve, em seu livro, o conceito de modelo, incrementando-o até concluir que um modelo é uma representação externa e explícita de parte da realidade vista pela pessoa que deseja usar aquele modelo para entender, mudar, gerenciar e controlar parte daquela realidade.

Carson (2004, *apud* Oliveira, 2007) define modelo como a representação de um sistema ou processo. Entretanto avança na questão da definição do conceito de modelo de simulação, afirmando que o modelo de simulação é a representação de um sistema ou processo que incorpora o tempo e as mudanças que ocorrem com o passar do tempo. Nesse ponto, já é possível ver a inclusão do conceito de eventos ao longo da simulação. O termo eventos discretos parte do fato que a passagem do tempo no modelo computacional, comumente, não é feita de maneira contínua, ou seja, o tempo avança na forma de saltos.

Entre as diversas definições do termo simulação, chama atenção a constante referência à experimentação. Dessa forma, a simulação está intimamente ligada à possibilidade de se fazer experimentos e análises de um modelo correspondente a um sistema real sob diversos cenários.

Assim, a simulação, em geral, é entendida como a imitação de um processo ou operação de um sistema real. Pode-se considerar que, como resultado de uma

simulação, tem-se a geração de uma história artificial de um sistema para a análise de suas características operacionais (Miyagi, 2004).

Modelo de simulação é um tipo específico de modelo matemático, que, diferentemente de modelos analíticos, não é resolvido e sim executado e, assim, busca representar o comportamento do sistema estudado. O seu uso tende a ser feito em sistemas de grande complexidade, custo e tamanho. Decidir onde aplicar modelos de simulação é uma dúvida relativamente corriqueira, pois, em alguns casos, o uso de modelos analíticos como aqueles baseados na teoria das filas pode levar a soluções adequadas com um esforço computacional muito inferior.

Os elementos do modelo devem reagir da mesma forma que os elementos reais, alvos da simulação. Por outro lado, diversas vezes, são necessárias simplificações de tais elementos já que os sistemas reais, como dito anteriormente, tendem a ser complexos. Tais simplificações do sistema real a serem adotadas no modelo tendem a ser um tema de grande discussão, pois um modelo com alta fidelidade ao funcionamento do sistema real pode demandar alto custo e longos períodos de construção e simulação, sendo que modelos mais simples poderiam chegar a resultados suficientemente adequados com custos de tempo, dinheiro e esforço inferiores. Da mesma forma, a simplificação excessiva pode levar à construção de modelos que ignoram elementos importantes para o bom entendimento do sistema.

Os modelos podem ser classificados de diversas formas referentes a diferentes questões. Entre as classificações presentes na literatura, apresentam-se aqui algumas possibilidades.

Quanto às entradas e saídas:

- determinístico - tais modelos não admitem a possibilidade de variáveis aleatórias e funções de densidade de probabilidade;
- estocástico - nesses modelos, existe ao menos uma variável aleatória em seu funcionamento, de forma que o seu resultado deve ser tratado como estimativa estatística das características reais do sistema.

Quanto ao comportamento em relação ao tempo:

- dinâmicos - modelos desse tipo representam o sistema, sendo modificado pelo tempo e por eventos anteriores;
- instantâneos - já os modelos instantâneos não levam em consideração eventos anteriores, não se alterando devido ao tempo.

Quanto a mudanças das variáveis do sistema em relação ao tempo:

- contínuos - nesses modelos, as variáveis de estado, dependentes do tempo, mudam continuamente em função do tempo simulado;
- discretos - já nos modelos discretos, o estado das variáveis muda apenas com a ocorrência de eventos, considerados instantâneos.

Vale destacar que mesmo sistemas contínuos podem ser modelados como sistemas discretos, caso sejam realizados processos correspondentes de discretização.

### 2.1.2 Histórico

As primeiras simulações em computador foram escritas em linguagens de programação de propósito geral, sendo a linguagem FORTRAN a mais comum (Bateman *et al.*, 2013). Ainda hoje, linguagens de programação são utilizadas em algumas aplicações, entretanto apresenta-se certa tendência de uso de linguagens de última geração como C e Pascal. Apesar do fato de que linguagens de programação permitem o uso da modelagem em diversas situações, o fator tempo e a habilidade necessária em programação podem desencorajar o seu uso.

Na década de 1960, como facilitador do processo de modelagem, introduziram-se linguagens de simulação. Embora ainda necessitassem de um modelador com experiência e grande dedicação, linguagens do tipo estavam um nível acima das linguagens de propósito geral por oferecerem sentenças de programação especificamente projetadas para gerenciar a lógica de filas e outros fenômenos comuns aos sistemas. Exemplos de linguagens de simulação pioneiras são o SIMSCRIPT e o GPSS, enquanto que o SIMAN e o SLAM são exemplos mais recentes.

Em decorrência do poder e potencial mostrado pela simulação, iniciou-se um esforço para trazer ao mercado pacotes de simulação ou simuladores projetados para a modelagem rápida de um ambiente específico. Tais pacotes proporcionam ao modelador a opção de selecionar várias construções pré-estabelecidas para aplicações específicas, ao contrário de descrever as aplicações com sentenças de programação. Embora conhecimentos de programação não sejam estritamente necessários, há uma perca de flexibilidade em relação às linguagens de simulação. Entretanto, para muitas aplicações comuns, o ganho em tempo proporcionado pela facilidade de uso é compensado pela perda de flexibilidade. Exemplos na área de manufatura de simuladores específicos são o SIMFACTORY e XCELL.

A partir daí, houve um esforço em desenvolver códigos computacionais que integrassem, em um único pacote, a flexibilidade das linguagens com a facilidade de uso dos simuladores. O uso de sentenças lógicas similares às da programação, a capacidade de atributos especiais e a habilidade de importar sub-rotinas externas aumentaram a gama e a complexidade de sistemas passíveis de modelagem. Exemplos desses códigos são o Arena e o ProModel, esse último utilizado nesta dissertação.

Toda essa evolução descrita acontece em paralelo à evolução do poder de processamento dos computadores e sua popularização. Computadores, cada vez mais potentes, reduzem, a cada dia, o tempo de execução do modelo, enquanto que sua popularidade ajuda na democratização da simulação.

Os códigos computacionais continuam evoluindo em diversas direções diferentes, incluindo melhorias na animação gráfica, na produção de interface com outros programas e no desenvolvimento de interfaces mais amigáveis.

### 2.1.3 Aplicações

As aplicações da simulação são muito amplas e variadas. Algumas aplicações já foram muito bem exploradas em algumas áreas como manufatura, serviços e logística, enquanto que, em outras, a simulação ainda dá seus primeiros passos. No entanto, novas possibilidades de usos da simulação sempre surgirão se adaptando a novas necessidades do homem e incrementado às áreas já exploradas por tal ferramenta. A presente dissertação constitui, assim, uma contribuição para a diversificação do uso da simulação.

Miyagi (2004), a título de ilustração, apresenta uma série de aplicações da simulação em:

- sistemas de manufatura:
    - sistemas de manipulação e movimentação de materiais;
    - operações de montagem;
    - planejamento da interoperação entre sistemas de estoques;
    - manufatura ágil (sistema distribuído, sistemas inteligentes, sistemas autônomos);
- sistemas de saúde:
    - custo e faturamento de produtos farmacêuticos;
    - otimização do atendimento em ambulatórios;
    - gerenciamento dos recursos hospitalares;
- sistemas envolvendo recursos naturais:
    - gerenciamento de sistemas de coleta de lixo;
    - operação eficiente de plantas nucleares;
    - atividades de restauração do ambiente;
- sistemas de transporte:
    - transferências de cargas;
    - operações de containers em portos;
    - postos de pedágio flexíveis de acordo com a demanda;
- sistemas de construção civil:
    - processo de montagem de pontes suspensas;
    - novos paradigmas do processo construtivo;
    - interface para as ferramentas de projeto e construção;
- sistemas de restaurantes e entretenimento:
    - análise do fluxo de clientes em *fast-foods*;
    - determinação do número ideal de funcionários de empresas de serviços;

    - atividades em parques temáticos;
- reengenharia e processo de negócios:
    - integração de sistemas baseado no fluxo de tarefas;
    - análise de soluções;
- processamento de alimentos:
    - operações no processamento de pescados
    - avaliação da capacidade no processamento de cereais;
- sistemas computacionais:
    - sistemas com arquitetura cliente/servidor;
    - redes heterogêneas.

O item 2.4 aprofundará em aplicações mais relacionadas a esta dissertação.

### 2.1.4 Vantagens e Desvantagens

De acordo com Pedgen *et al*. (1995), Freitas Filho (2001), Harrel (2002) e Banks *et al.* (1996), todos *apud* Lopes (2008), e, ainda, Miyagi (2004), as principais vantagens do uso da simulação são:

- uma vez criado, o modelo pode ser utilizado inúmeras vezes para analisar projetos e novas políticas;
- capacidade de manipular o tempo da forma que mais convém, comprimindo e expandindo, permitindo reproduzir os fenômenos de maneira lenta ou acelerada para que se possa estudá-los melhor;
- uma simulação pode mostrar realmente como um sistema opera, em oposição à maneira como todos pensam que ele opera;
- o custo de uma experimentação direta de um projeto pode tornar inviável sua realização;
- a simulação permite que se obtenham conclusões sem causar perturbações no sistema real;
- garantia de segurança, já que através de modelos não se corre riscos de acidentes ou outros inconvenientes;
- pode-se compreender melhor quais variáveis são as mais importantes em relação ao desempenho e como as mesmas interagem entre si e com os outros elementos do sistema;
- o sistema observado pode ser tão complexo a ponto de se tornar impossível descrevê-lo utilizando apenas modelos exatos para soluções ótimas.

Por outro lado, as principais desvantagens apontadas pelos mesmos autores são:

- a necessidade de treinamento especializado;
- a modelagem e a análise da simulação podem ser dispendiosas em termos de recursos financeiros e de tempo;

- os resultados da simulação podem ser difíceis de interpretar.

Pode-se ainda, apontar algumas outras desvantagens, tais como:

- a facilidade em se gerar mapas e gráficos, muitas vezes pode elevar a confiabilidade em resultados irreais;
- necessidade de dados consistentes, na medida em que dados ruins geram resultados ruins.

Entretanto, Miyagi (2004) apresenta argumentos que minimizam as desvantagens do uso da simulação. São eles:

- fornecedores de códigos computacionais de simulação têm continuamente desenvolvido pacotes que contêm um tipo de máscara (*template)* de modelos pré-concebidos nos quais é necessário somente definir os dados da operação;
- os avanços nas plataformas computacionais permitem que a simulação seja realizada cada vez mais rapidamente;
- muitos fornecedores de códigos computacionais têm desenvolvido pacotes com ferramentas que facilitam a análise dos dados de saída da simulação.

Citam-se aqui, ainda, outros argumentos, como a popularização do uso de tal ferramenta e códigos computacionais de simulação com interfaces cada vez mais amigáveis.

### 2.1.5 Projeto de Simulação

Para a realização de um estudo que envolva simulação, diversos autores elaboraram diretrizes que envolvem caminhos gerais a serem seguidos no projeto. As etapas do projeto presentes nesta dissertação estão disponíveis no manual do usuário do código computacional ProModel (ProModel Corporation, 2011), além de disponibilizadas pela sua distribuidora nacional (Belge Engenharia), em português, sob o título de “Passos para um Projeto de Simulação”. Outro exemplo de roteiro a ser seguido é discutido em Oliveira (2007).

Incrementos são feitos no roteiro proposto pelo manual citado anteriormente, com o objetivo de destacar oportunidades para se incluir a temática ambiental em diferentes fases do projeto.

A Figura 2.1 apresenta os seis passos a serem seguidos no projeto. Embora cada passo tenha uma configuração diferente em cada projeto, a estrutura básica resultante desses seis itens tende a ser essencialmente a mesma.

Vale ressaltar que é previsto que, em determinadas fases do projeto, seja necessário retornar a fases anteriores com o objetivo de modificar e/ou corrigir algumas considerações feitas.

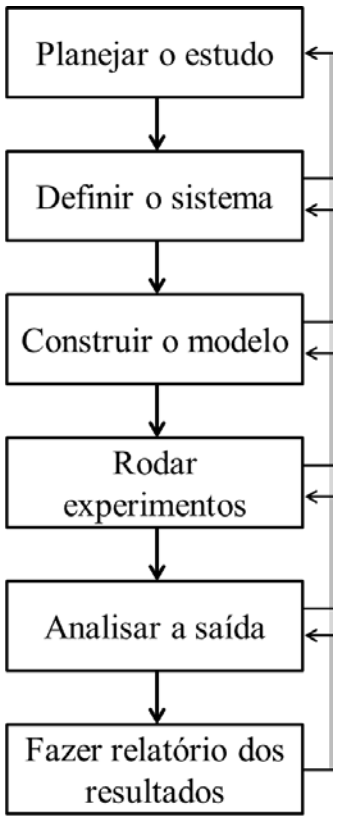



**Figura 2.1. Etapas de um projeto de simulação.**

**Fonte: ProModel Corporation, 2011.**

O primeiro item refere-se ao planejamento do estudo. Nessa etapa, devem ser definidos os objetivos da simulação, sendo que um desses objetivos pode vir a ser a investigação de questões ambientais envolvidas no sistema. Inclui-se, nesse item, a identificação de possíveis restrições, como tempo e custo, sob as quais o estudo será conduzido.

Após a delimitação dos objetivos e restrições do projeto, são definidas as suas especificações, o que inclui:

- escopo - refere-se aos limites do sistema ou o quanto o sistema englobará;
- nível de detalhe - é a profundidade do modelo em relação ao sistema;
- precisão - o grau de acurácia necessária;
- tipos de experimentação - a natureza ou quantidade das alternativas a serem simuladas;
- forma dos resultados - como os resultados serão apresentados.

Vários desses itens, como o escopo e o nível de detalhe necessário, são complexos de serem definidos, sendo assim possível que essas definições sejam alteradas durante o andamento do projeto, como mencionado previamente.

Por fim, o planejamento é concluído com a elaboração de um cronograma.

O segundo item refere-se à definição do sistema. Com base em um modelo conceitual, é realizado um levantamento dos dados utilizados com base nos seguintes passos:

- determinar os dados necessários;
- usar fontes apropriadas de dados;
- fazer suposições quando necessário;
- converter os dados para um formato útil;
- documentar e validar os dados.

Essa etapa é de grande importância, pois é aqui que são levantados, inclusive, dados relativos à interface ambiental do projeto. Ressalta-se a grande possibilidade de que tais dados não estejam disponíveis na forma de medições e seus valores tenham sua origem na literatura. Também é esperado que tais dados não estejam disponíveis no formato ideal a ser utilizado no modelo, necessitando de algum tipo de tratamento.

O terceiro passo é a construção do modelo. A meta, nesse passo, é prover uma representação válida da operação do sistema. O modelo construído pode passar por um refinamento progressivo, já que não precisa de todos os detalhes finais antes de ser executado. Sendo assim, o detalhamento do modelo pode ser feito em diferentes estágios, o que facilita sua construção e entendimento. Além disso, em caso de modelos muito grandes, deve ser considerada uma expansão incremental, onde seções são adicionadas seguidamente.

Possivelmente, durante a construção do modelo, será necessário criar estruturas que busquem fornecer informações ambientais adequadas aos objetivos pré-estabelecidos.

São partes dessa etapa:

- verificação - processo de correção e demonstração da funcionalidade do modelo; e
- validação - processo de verificação de que grau o modelo corresponde ao sistema real para confirmar se tal modelo, em seu domínio de aplicabilidade, é suficientemente acurado para a aplicação pretendida.

É possível que variáveis ambientais passem pelo processo de validação, entretanto admite-se a dificuldade de que isso aconteça. Um exemplo em que isso é viável é a medição do consumo de energia de determinado processo. O valor estimado na simulação pode ser comparado com a medição real para validação do modelo.

O quarto passo trata da condução de experimentos. A condução de experimentos no modelo deve ser feita com base nos objetivos propostos. Incluem-se, aqui, fatores importantes como o nível de precisão desejado para o resultado, o que influenciará no número de replicações a serem feitas, no tempo de aquecimento necessário para o funcionamento adequado do modelo, tempo que o modelo leva para se tornar estável, e no tempo de simulação total.

O quinto passo trata da análise da saída da simulação. Após a simulação ser realizada, é necessário um tratamento estatístico entre as replicações nos casos em que o modelo é estocástico. Nessa etapa, é possível que a saída do modelo precise ser convertida em um formato adequado para análise. Por exemplo, o tempo de funcionamento de certo equipamento pode ser convertido em consumo de energia com base em dados técnicos do mesmo.

O sexto é ultimo passo é reportar os resultados, fazendo recomendações com base nas informações simuladas pelo modelo. Animações e gráficos tendem a ser boas ferramentas na demonstração dos resultados. Em relação às variáveis ambientais, pode-se considerar a possibilidade de comparação dos resultados com limites estabelecidos em normas e a realização de comparações com referências *(benchmarking*) estabelecidas a partir de outros portos que possuam tais resultados disponíveis.

## 2.2 Código Computacional Empregado

O ProModel é um código computacional de simulação de eventos discretos e foi desenvolvido pela ProModel Corporation. A empresa atua há mais de 15 anos fornecendo soluções e consultoria a setores industriais e de serviços. Ele é usado para planejar, projetar e melhorar novos ou atuais processos de manufatura, logística, serviços e outros sistemas estratégicos, táticos ou operacionais.

O programa ProModel possui vasto material divulgado em endereços eletrônicos na Internet, e versões gratuitas de teste podem ser adquiridas. Está disponível na língua portuguesa, facilitando a adaptação dos usuários brasileiros a tal ferramenta (da Silva, 2010).

A utilização do sistema não demanda conhecimento avançado de programação, e o código computacional possui ferramentas que auxiliam o usuário na construção das lógicas de procedimentos e fluxos para configuração de processos e correspondentes tomadas de decisão. Além disso, o ProModel conta com uma grande quantidade de funções nativas que demandam o preenchimento de seus argumentos para utilização. Adicionalmente, o programa possui integração com sistemas como *Excel e Power Point,* entre outros programas da *Microsoft Windows*.

Para a apresentação dos resultados, o ProModel conta com uma extensão chamada de *Output Viewer*, que apresenta, inicialmente, uma visão geral dos resultados. A partir desse procedimento, uma série de gráficos e tabelas pode ser construída com base nos resultados de acordo com a necessidade do usuário. A extensão também apresenta grande funcionalidade quanto à questão estatística.

Além disso, a ProModel Corporation também disponibiliza o *Stat Fit*, código computacional para análise dos dados de entrada do modelo, permitindo realizar ajustes de distribuições estatísticas de dados discretos, por exemplo.

Por fim, outra extensão presente é o *Sim Runner*, que pode ser utilizado para facilitar a otimização de sistemas.

Outro código computacional analisado foi o Arena da empresa Rockwell Automation. Tal código baseia-se na linguagem de simulação SIMAN. A construção do modelo é feita através da seleção do módulo que contém as características do processo a ser modelado (Sakurada e Miyake, 2003). O modelador não precisa, necessariamente, conhecer a linguagem SIMAN para construir um modelo. Utilizando as ferramentas disponibilizadas pelo Arena, o usuário pode extrair um módulo (construção por blocos), localizá-lo no sistema analisado e parametrizá-lo de acordo com as características do sistema.

A escolha pelo código computacional ProModel fundamentou-se em algumas justificativas. O uso da versão de estudante (gratuita), que possui limitações quanto ao tamanho do modelo simulado, mostrou-se bem intuitiva e indicou que possuía ferramentas necessárias e suficientes para a realização desta dissertação. Além disso, o ProModel é um código computacional já conceituado no mercado de simuladores computacionais. Soma-se a essa identificação do produto o fato de que a distribuidora do ProModel no Brasil, a Belge Engenharia, apresentou-se de forma solícita para a sua comercialização e suporte ao usuário.

## 2.3 Simulação em Portos

A simulação computacional de eventos discretos já é largamente utilizada em portos. Entre os usos mais difundidos, está a estimativa do número de berços adequados para a produtividade pretendida e o dimensionamento de diferentes áreas do terminal, como retroáreas e áreas de pré-embarque. A simulação também é utilizada com frequência na identificação de gargalos na operação do terminal e na estimativa dos impactos na produtividade do porto em relação a possíveis modificações estruturais ou operacionais.

A simulação aplicada aos portos torna-se interessante, sobretudo se forem inseridos fatores que aumentem a complexidade do sistema, inclusive de forma

aleatória. Como exemplos destes fatores, pode-se citar paralisação por motivos climáticos, marés, falhas em equipamentos ou variações em turnos de trabalhadores.

Adicionalmente, a questão de simular ou não também passa pela relação entre a teoria de filas e os portos. Decidir quando utilizar a simulação e quando utilizar a teoria de filas não é uma decisão simples. Tal escolha passa por critérios como recurso financeiro disponível, tempo estimado para se ter a resposta e precisão necessária para os resultados.

Exemplo interessante de aplicação de estudos de simulação portuária pode ser resgatado por meio do trabalho de Ferreira *et al*. (2007). Nesse estudo, os autores apresentaram uma análise do desempenho do sistema portuário de granéis sólidos no porto de Paranaguá utilizando o código computacional *Arena*. O modelo de simulação desenvolvido contempla todo o fluxo de mercadorias, desde sua chegada ao porto, nos pátios de triagem para caminhões e vagões, o armazenamento das mercadorias nos diversos silos (horizontais e verticais) dos terminais públicos e privados e, por último, o embarque das mercadorias nos navios.

Outro estudo que mostra a utilização da simulação de eventos discretos na área portuária é o de Almaz e Altiok (2012). Na pesquisa, os autores também empregam o código computacional *Arena* para analisar o efeito do aprofundamento do canal do rio Delaware no desempenho do porto. É interessante ressaltar que são avaliadas variações nos indicadores operacionais advindos de uma interferência ambiental na região de acordo com diferentes cenários. No trabalho, não foram considerados indicadores ambientais.

Cita-se, ainda, o estudo de Batista (2005). Tal estudo desenvolveu um modelo de simulação aplicável à análise operacional de embarcações de apoio marítimo da bacia de Campos utilizando o código *Arena*. Vale destacar que tal estudo foi referenciado diversas vezes nesta dissertação por apresentar diversos dados e informações importantes quanto ao porto de Imbetiba, porto que serviu como modelo inicial para este estudo.

O estudo de Morais (2001), por sua vez, faz uma análise do nível de atendimento de um terminal portuário utilizando-se duas abordagens metodológicas: teoria das filas e simulação computacional. Tal estudo concluiu que, considerando o escopo da modelagem feita, a abordagem por teoria das filas exigiu menor esforço de desenvolvimento e proporcionou resultados mais próximos do histórico, em comparação aos resultados obtidos por simulação. Por fim, o estudo questiona se a abordagem por simulação teria produzido resultados mais próximos do esperado se a modelagem tivesse sido mais abrangente, incluindo outros aspectos do sistema portuário.

Os estudos supracitados, apesar de não terem incorporado indicadores ambientais em suas análises, poderiam tê-lo feito, caso assim desejassem. Nos estudos citados no próximo item, tal aproximação é feita.

## 2.4 Simulação em Portos e Interface Ambiental

Embora o uso da simulação computacional aos portos seja algo bastante documentado na literatura, como dito no item anterior, a sua interface com o meio ambiente ainda não foi devidamente explorada.

Aspectos ambientais como os citados abaixo podem ser incorporados nas simulações:

- consumo de energia;
- consumo de combustível;
- consumo de água;
- emissão de poluentes atmosféricos;
- poluição luminosa;
- geração de resíduos sólidos; e
- emissão de ruídos.

Ressalta-se, aqui, que, embora, em algumas situações, seja factível a utilização da simulação para avaliação exclusivamente de aspectos ambientais, tem-se, como objetivo desta dissertação, também, a demonstração de que inserção de aspectos ambientais em modelos com outras perspectivas específicas pode ser realizada sem muito consumo de tempo e recursos. Em outras palavras, a adaptação de modelos pré-existentes ou a inserção de aspectos ambientais a modelos a serem construídos pode ser de grande ganho para o desenvolvedor sem grandes custos.

A ideia representada acima visa à popularização da adição de aspectos ambientais associados à simulação, uma vez que tornaria tal iniciativa mais justificável do ponto de vista comercial. Para isso, é necessário enxergar as oportunidades de trabalhar com questões ambientais no planejamento do projeto de simulação.

Estudos que trabalhem na interface dos aspectos ambientais com simulação computacional de eventos discretos de terminais portuários são escassos na literatura, entretanto existem, e alguns deles são discutidos a seguir.

O estudo de Tsitsamis e Vlachos (2010) trata da avaliação da redução na emissão de poluentes atmosféricos associada à redução na fila de caminhões na entrada do porto devida a uma alternativa operacional ou a uma alternativa estrutural. A investigação é realizada por meio da simulação computacional de eventos discretos (código computacional Arena) do processo de chegada, descarregamento e saída de caminhões do terminal e possíveis alternativas de melhoria que são: compra de mais uma aranha (equipamento utilizado para estocagem de containers no pátio) e adoção de uma política de agendamento de chegadas de caminhões.

Tal estudo está muito alinhado à proposta presente nesta dissertação. A partir de um modelo inicial, os autores buscaram integrar as variáveis ambientais por meio de

fatores de conversão em que resultados como tempo gasto na fila são convertidos em emissão de poluentes na atmosfera. Assim como no estudo de caso presente nesta dissertação, o alvo da avaliação ambiental é a poluição atmosférica produzida pelos caminhões durante o longo tempo de espera nas filas de acesso ao terminal.

Já o estudo de Saanen *et al.* (2010) trata, com um nível de detalhamento rigoroso, as emissões atmosféricas e consumo de energia e combustível de um terminal de containers fictício e avalia diferentes oportunidades de tais elementos. Em tal estudo, os autores discutem as vantagens de se usar a simulação no planejamento portuário, tais como:

- compreender o consumo de energia e impactos ambientais das alternativas de projeto de terminais portuários de forma muito mais detalhada que cálculos em planilhas;
- evidenciar diferenças entre modos de operação e estratégias;
- suporte para obtenção de permissões, apresentando benefícios relativos às ações propostas;
- suporte para apresentação de que tal projeto está de acordo com o respeito ao meio ambiente ou que economiza energia.

Além disso, o estudo conclui que, caso o nível de detalhamento seja suficiente, os resultados da simulação possuem a capacidade de mostrar o efeito da emissão de forma pontual em contraste com métodos que agregam toda a planta ou região.

Um ponto a destacar em tal estudo é a utilização de um terminal totalmente fictício na simulação. Essa alternativa técnica mostra que, para a apresentação de ideias e avaliação de metodologias, o objeto de estudo não necessita necessariamente existir. Em simulações como essas, as etapas de verificação e validação tendem a possuir um peso menor no processo de simulação, uma vez que não há processos e dados reais para serem avaliados. Entretanto, ainda são necessárias medidas para evitar situações completamente irreais no funcionamento de um porto. No estudo de caso presente nesta dissertação, algo semelhante acontece, uma vez que o terminal estudado procurou captar os aspectos essenciais de um terminal real.

O estudo dos autores Duin e Heijden (2012) trata do planejamento de um terminal portuário de containers incluindo a avaliação da poluição sonora e indicando possíveis alternativas que mantenham o desempenho operacional desejado, respeitando os limites impostos por lei para tal impacto na área residencial vizinha.

Tal estudo apresenta algumas novas ideias como o uso de simulação de operações associado à modelagem física de variáveis ambientais, no caso, a emissão de ruídos. A associação da simulação computacional de eventos discretos com modelos físicos está entre as sugestões finais desta dissertação.

Apesar do número de estudos que associam a simulação computacional de eventos discretos a indicadores ambientais ser limitado, é possível observar que o

principal elo é feito por meio de fatores de conversão que transformam indicadores operacionais em indicadores ambientais. Também é possível observar que questões econômicas e operacionais são comumente tratadas conjuntamente com a questão ambiental.

# CAPÍTULO 3 – ATIVIDADE PORTUÁRIA

Neste capítulo, será tecido um breve histórico e contextualização da atividade portuária brasileira, provendo um quadro atual do setor, com enfoque na atividade de apoio marítimo e na relação entre a atividade portuária e o meio ambiente.

## 3.1 Sistema Portuário Brasileiro

### 3.1.1 Histórico e Estrutura

O sistema portuário brasileiro, no âmbito do cenário internacional, tem origem em 1808 com a abertura dos portos promovida por D. João VI (IPEA, 2010). Com o objetivo de atrair melhoramentos e acelerar o desenvolvimento dos portos brasileiros por meio do financiamento privado de obras, ainda no período imperial, em1869, foi editado o Decreto 1.746 (Lei das Concessões), que autorizava a concessão dos portos à iniciativa privada (Goularti Filho, 2007).

Tal modelo de investimento privado nos portos durou até a década de 1930. Nesse momento, o estado tomou para si o papel de financiador e operador do sistema portuário brasileiro. Em relação a tal processo, ressalta-se a criação da empresa *holding* Portos do Brasil S/A (Portobrás) em 1975, cuja finalidade, entre outras, segundo o seu estatuto, era administrar e explorar os portos brasileiros (Lei 6.222/1975 e Decreto 76.925/1975) (Goularti Filho, 2007).

No início da década de 1990, os problemas no setor portuário eram graves, e a principal causa era a reduzida capacidade de investimento da Portobrás devido a sua descapitalização. A extinção da Portobrás aconteceu em 1990 via Medida Provisória nº 151. Tal fato levou agravou a crise que se caracterizou pelo início de uma confusão administrativa e uma rápida deterioração das estruturas (Goularti Filho, 2007).

Essa situação de incerteza levou à Lei nº 8.630/1993, conhecida como lei de modernização dos portos. A partir dela, houve a redefinição dos papéis da autoridade portuária, do operador portuário e do próprio estado na gestão e regulação do sistema (IPEA, 2010). Nesse novo modelo de administração, estava incluído um progresso na liberalização do setor.

A partir dessa reforma, pode-se dividir o setor portuário em dois tipos de portos (Goularti Filho, 2007). O primeiro trata do porto organizado (PO), em que o tráfego e operações portuárias estão sob jurisdição de uma autoridade portuária. O segundo tipo é o terminal de uso privativo (TUP), que é explorado por pessoa jurídica de direito público ou privado, necessariamente fora da área de porto organizado.

Em relação à administração do setor, destaca-se a autoridade portuária (AP), que tem a função de administrar o porto organizado, gerir seu patrimônio e controlar as demais entidades públicas e privadas atuantes no porto. Além disso, foi criado o conselho da autoridade portuária (CAP), um órgão consultivo formado por quatro diferentes grupos de atores participantes (IPEA, 2010); são eles:

- bloco do poder público (BPP);
- bloco dos operadores portuários (BOP);
- bloco da classe dos trabalhadores portuários (BCTP);
- bloco dos usuários dos serviços portuários (BUSP).

O Ministério dos Transportes pode delegar o papel de autoridade portuária (AP) de portos específicos às companhias Docas, empresas públicas estaduais.

As operações portuárias passaram a ser de responsabilidade da iniciativa privada. Os operadores portuários (OP) configuravam-se como pessoas jurídicas pré-qualificadas para realizar as operações portuárias no porto organizado. Eles poderiam explorar a totalidade do porto ou apenas arrendar terminais ou serviços (Goularti Filho, 2007). Ressalta-se, ainda, a existência do órgão gestor de mão de obra (OGMO), que tem como função administrar a contratação, a escala e a alocação de trabalhadores portuários (TP) e de trabalhadores portuários avulsos (TPA) (IPEA, 2010).

Acrescenta-se, ainda, o Decreto nº 6.620/2008 que ratificou que os terminais privativos deverão operar, principalmente, com as cargas próprias de seu proprietário, e, residualmente, com as cargas de terceiros (IPEA, 2010).

Um órgão público de grande importância no setor portuário é a ANTAQ, criada pela Lei nº 10.233, de 05 de junho de 2001. Tal órgão é vinculado ao Ministério dos Transportes e à Secretaria de Portos da Presidência da República (SEP/PR) e tem por finalidades (sítio da ANTAQ, 2013):

- implementar, em sua esfera de atuação, as políticas formuladas pelo Ministério dos Transportes e pelo Conselho Nacional de Integração de Políticas de Transporte-CONIT;
- regular, supervisionar e fiscalizar as atividades de prestação de serviços de transporte aquaviário e de exploração da infraestrutura portuária e aquaviária, exercida por terceiros.

A Secretaria de Portos da Presidência da República (SEP/PR) foi criada pela Medida Provisória n° 369 de 07 de maio de 2007 e referendada pela Lei nº 11.518, de

05 de setembro de 2007. As atribuições e competências da SEP/PR incluem (sítio da SEP/PR, 2013):

- a formulação de políticas e diretrizes para o fomento do setor;
- a execução de medidas, programas e projetos de apoio ao desenvolvimento da infraestrutura portuária, com investimentos orçamentários e do programa de aceleração do crescimento (PAC);
- a participação no planejamento estratégico;
- a aprovação dos planos de outorgas visando assegurar segurança e eficiência ao transporte aquaviário de cargas e de passageiros no país.

#### 3.1.1.1 Novo Marco Regulatório da Atividade Portuária

Em 05 de junho de 2013, a Medida Provisória nº 595 foi convertida na Lei nº 12.815, que estabelece um novo marco regulatório para a atividade portuária no Brasil. O novo marco tem como meta modernizar toda a infraestrutura portuária e, assim, gerar um grande impulso econômico no Brasil. Uma ferramenta para se alcançar tal objetivo é ampliar os investimentos privados no setor.

No novo marco, acontece uma grande mudança no que tange ao critério de licitação. Agora, passa a valer o critério de maior eficiência com menor tarifa - maior movimentação possível de carga pelo menor preço por tonelada em detrimento do critério de maior valor pago pela outorga.

Uma grande mudança é que os terminais de uso privado (TUP), localizados fora do porto organizado, deixam de ter a obrigatoriedade de movimentar somente carga própria. Dessa forma, cabe ao dono do terminal escolher se quer trabalhar apenas com carga de terceiros ou com carga de terceiros mais a carga própria. Essa modalidade de porto, baseada no investimento da iniciativa privada, precisa de autorização mediante chamada pública, um tipo de processo seletivo que dispensa licitação.

Outra grande mudança é que os terminais privados fora do porto organizado passam a poder contratar mão-de-obra de forma livre.

### 3.1.2 Números Atuais

Como pode ser visto na Figura 3.1, a movimentação portuária brasileira manteve-se crescendo nos últimos anos, com exceção do ano de 2008, onde a crise global levou tal indicador a um patamar inferior ao do ano anterior e posterior. O Brasil alcançou um total de 904 milhões de toneladas movimentadas em 2012, o que representa um crescimento de 2,03% em relação a 2011.

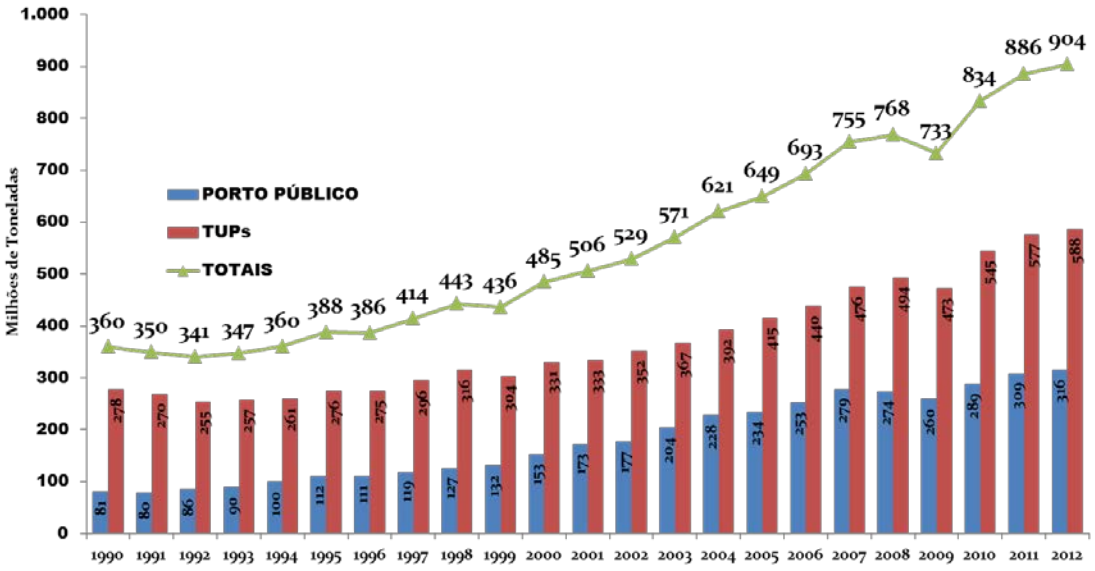



**Figura 3.1. Movimentação portuária – histórico.**

**Fonte: ANTAQ, 2013.**

A Figura 3.2 apresenta a evolução da exportação e importação brasileira por via marítima nos últimos 5 anos em termos de tonelagem (kg) e de valor (US$ FOB – *free on board*, ou seja, livre a bordo; nessa modalidade, ao importador, cabem as despesas e os riscos de perda ou dano do produto a partir do momento que este transpuser a amurada do navio). Pode-se observar que a tonelagem das exportações se manteve praticamente constante nos últimos anos, enquanto que, em relação ao valor, tem-se um crescimento atingindo o valor de 84% do montante exportado em 2011. Quanto às importações, os valores registrados em 2011 foram os maiores desde 2007, atingindo 89% em relação à tonelagem e 76% em relação aos valores.

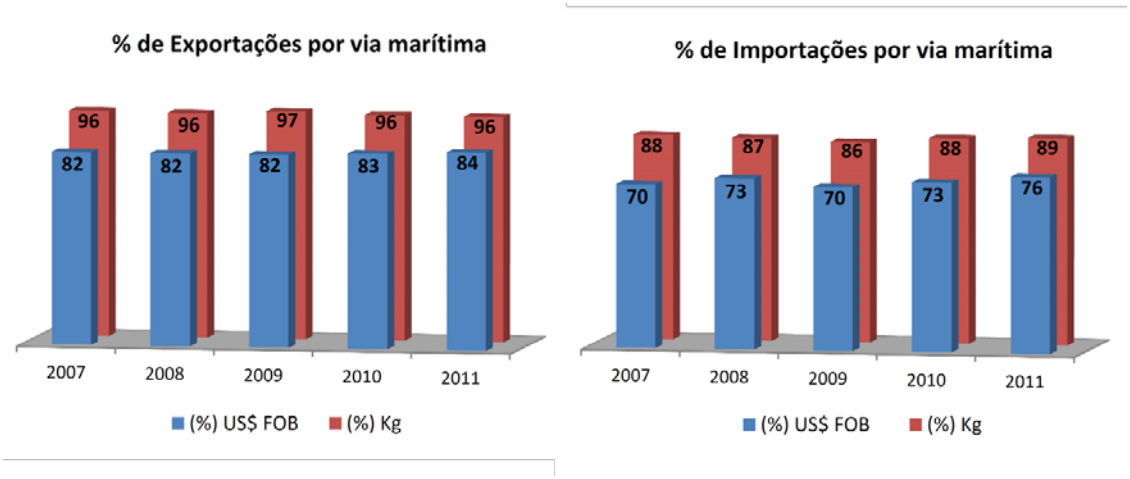



**Figura 3.2. Evolução da exportação e importação brasileira por via marítima nos últimos 5 anos.**

**Fonte: Alice-web – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior *apud* ANTAQ, 2012.**

A Figura 3.3 mostra a topologia da carga exportada e importada em 2011. É possível observar que a exportação brasileira se baseia em granéis sólidos, principalmente no minério de ferro. Já a importação mostra um perfil mais diversificado. A grande quantidade de containers que chegam ao Brasil mostra o déficit na produção de bens acabados.

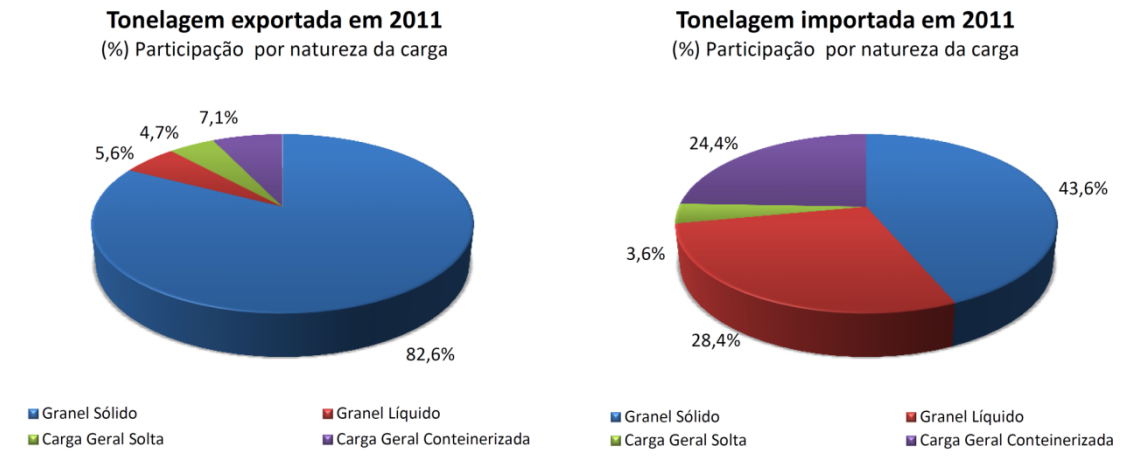



**Figura 3.3. Participação por natureza de carga na tonelagem exportada e importada em 2011.**

**Fonte: Anuário Estatístico Aquaviário/ANTAQ *apud* ANTAQ, 2012.**

**Elaboração: ANTAQ/SNM/GDM.**

### 3.1.3 Navegação de Apoio Marítimo

A navegação de apoio marítimo no Brasil é definida pelo inciso VIII do Art. 2º da Lei nº 9.432, de 08 de janeiro de 1997:

"VIII - navegação de apoio marítimo - a realizada para o apoio logístico a embarcações e instalações em águas territoriais nacionais e na zona econômica, que atuem nas atividades de pesquisa e lavra de minerais e hidrocarbonetos".

Pode-se observar, pela sua definição, que o apoio marítimo está intimamente ligado à exploração de petróleo e gás natural nas unidades marítimas (UMs). Dessa forma, tem-se, como um importante marco de tal atividade, o início da exploração no campo de Guaricema, na bacia de Sergipe, situado em lâmina de água de cerca de 30 metros na costa do estado de Sergipe, na região nordeste, em 1968 (Silveira, 2013). Tal exploração foi a primeira a ser realizada na plataforma continental brasileira.

O apoio às UMs pode ser feito por dois modais diferentes: aéreo e marítimo. O aéreo é realizado por helicópteros e tem a função de transporte de pequenas cargas e de pessoas. Sendo assim, a grande maioria das atividades de apoio é realizada por modal marítimo (Assis, 2000).

O conjunto de embarcações de apoio marítimo inclui embarcações com características bem variadas, uma vez que as atividades realizadas são diversas, como:

- abastecimento das plataformas (incluindo granéis sólidos como cimento, granéis líquidos como óleo diesel e cargas de convés);
- reboque;
- manuseio de âncoras;
- lançamento de linhas;
- atividades especiais como o apoio ao mergulho.

É possível classificar as embarcações em função de suas características e funções. Na literatura, é possível encontrar várias classificações que se assemelham bastante. Cita-se, aqui, a classificação de Clarkson Research, 1999 (*apud* Assis, 2000), que identifica 19 tipos distintos, que, posteriormente, podem ser agrupados em 5 categorias que representam as atividades por elas realizadas. Seguem as 5 categorias:

- supridores (*Supply*) - barcos construídos com o objetivo básico de transporte de carga, utilizando o convés principal para carregar tubos, máquinas, suprimentos e tanques para granéis líquidos e sólidos;
- rebocadores (*Tug*) - embarcações de grande potência, que podem ser usadas em operações de reboque de plataformas e outras estruturas e também no manuseio de âncoras e espias;
- supridores/rebocadores (*Tug/Supply*) - combinam capacidade de carga e reboque; são mais versáteis e por isso mesmo com grande procura no setor;
- embarcações para transporte de passageiro (*Crew*) - lanchas, embarcações do tipo catamarã e mais recentemente os *Swath*; e
- embarcações especiais (*Special Purpose*) - inclui os mais diversos tipos de embarcações desde os de apoio à mergulhos aos de levantamento sísmico.

Devido à grande exploração de petróleo fora da costa (*offshore*) brasileira, tais embarcações são muito requisitadas. Para acompanhar o crescimento da produção, a Petrobras lançou, em 1999, o Programa de Renovação da Frota de Apoio Marítimo I (Prorefam I), oferecendo contratos de afretamento de oito anos para 22 embarcações a serem construídas no país. Neste programa, foram licitadas 22 embarcações, entretanto três (3) tiverem seus contratos cancelados. Em 2003, teve início a segunda etapa do programa (Prorefam II), que contratou mais 30 novas embarcações, além de 21 modernizações. Já a terceira etapa teve início em 2008 (Prorefam III) e prevê a contratação de 146 novas embarcações no período de 2008 a 2016, para atuar, inclusive, no pré-sal (BNDES, 2012).

A Figura 3.4 apresenta a projeção de crescimento da frota de embarcações de apoio marítimo. São destacadas, em tal figura, as três etapas do Prorefam, além da Lei 9.432 de 1997, que dá prioridade à bandeira brasileira no apoio marítimo, o que leva a um incentivo na indústria de construção naval nacional. Destaca-se, ainda, o crescimento estimado em, aproximadamente, **61%** no decênio 2011-2020.

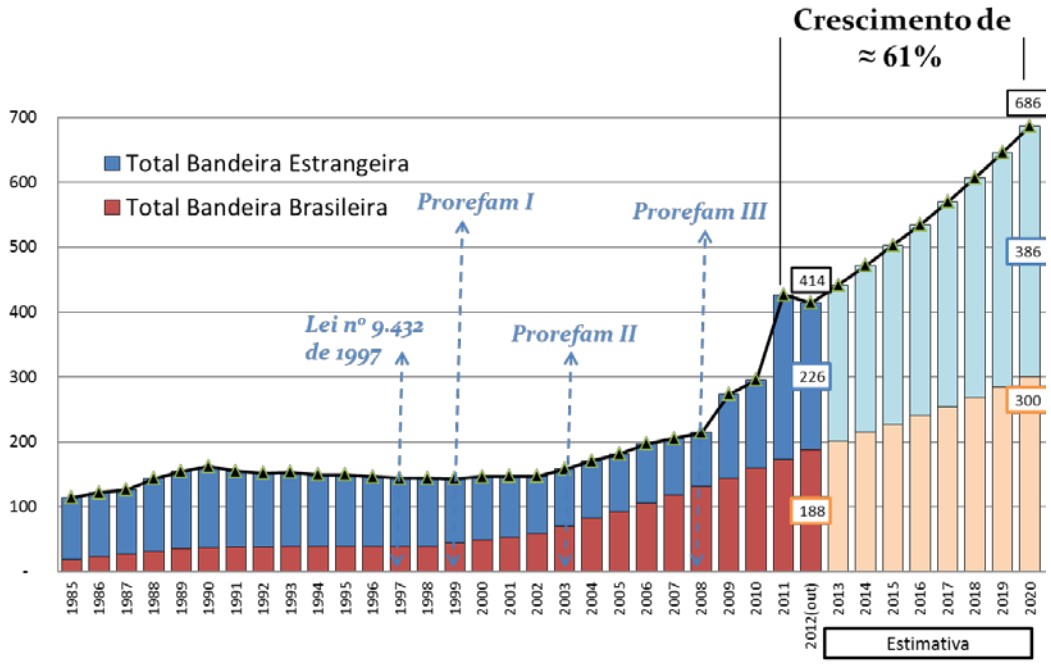



**Figura 3.4. Projeção da frota de apoio marítimo.**

**Fonte: modificado de ABEAM, 2012.**

Segundo estudo da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) realizado em 2011, o crescimento previsto no decênio 2011-2020 para a produção nacional de petróleo é de, aproximadamente, 162%**,** enquanto que, para a produção nacional de gás natural, tem-se um crescimento previsto de, aproximadamente, 170%. A Figura 3.5 apresenta a previsão da produção de petróleo em milhões de barris por dia, enquanto que a Figura 3.6 apresenta a previsão da produção de gás natural em milhões de metros cúbicos ($m^3$) por dia. As siglas RND-U e RND-E, nas figuras, representam, respectivamente,

recursos não descobertos da área da União e recursos não descobertos contratados em blocos exploratórios sob concessão. Também são representados os recursos contingentes, relacionados, principalmente, às acumulações do pré-sal em blocos já concedidos, e as reservas totais nos campos já em desenvolvimento ou produção.

Pode-se observar a grande diferença entre o crescimento previsto para a frota de embarcações de apoio marítimo (61%) e os crescimentos previstos para a produção de petróleo e gás natural (162% e 170%, respectivamente). Dessa forma, é esperado que a previsão de crescimento da frota de apoio marítima seja revisada nos próximos anos, talvez por novas etapas do Prorefam.

Uma possibilidade para que o crescimento da frota de apoio marítimo não necessite ser obrigatoriamente igual ao crescimento previsto na exploração de petróleo e gás natural é a modernização da atividade de apoio marítimo, seja com embarcações e processos *offshore* mais efetivos, seja com uma maior produtividade nos terminais.

Da constante necessidade de um aumento de produtividade no setor portuário, é possível observar a motivação dos diversos trabalhos envolvendo simulação de eventos discretos, uma vez que grande parte deles envolve um aumento na eficiência dos terminais.

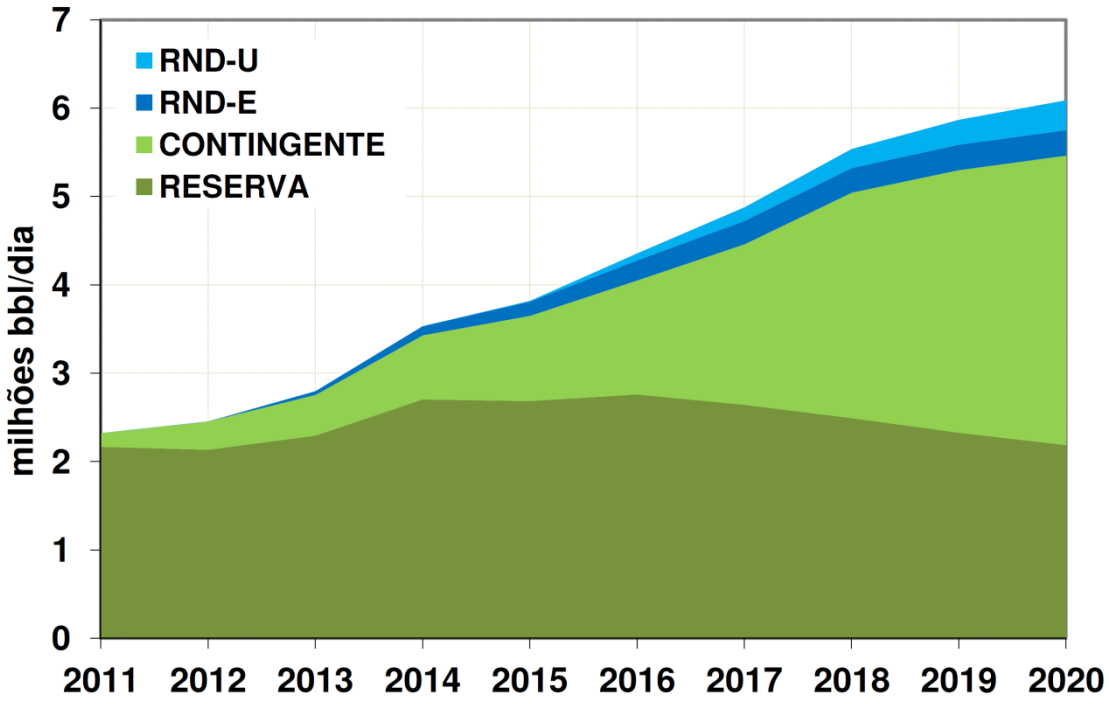



**Figura 3.5. Previsão de produção nacional de petróleo no período 2011-2020.**

**Fonte: EPE, 2011.**

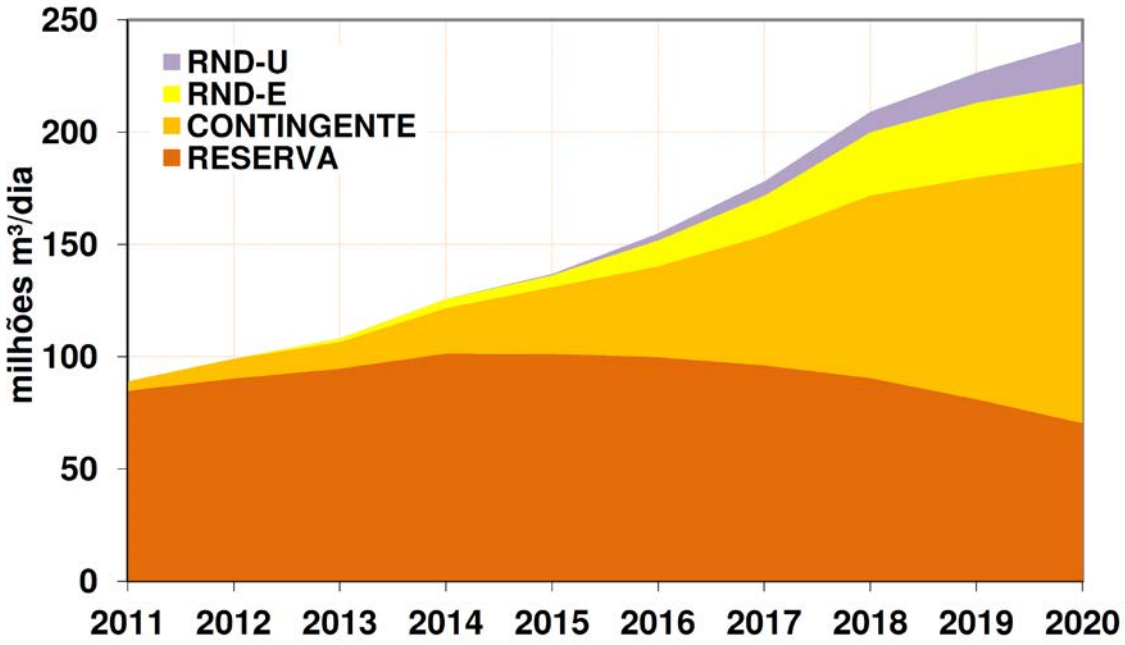



**Figura 3.6. Previsão de produção nacional de gás no período 2011-2020.**

**Fonte: EPE, 2011.**

Como pode ser visto na Tabela 3.1, a grande maioria da movimentação de cargas no apoio marítimo é realizada em terminais de uso privativo (TUP), como é o caso do porto de Imbetiba (Macaé-RJ) de propriedade da Petrobras. Além disso, é possível observar que a carga embarcada é significativamente maior do que a carga desembarcada. Essa avaliação é esperada já que grande parte do que é levado às UMs é consumido lá, como o óleo diesel. Ainda segundo a Tabela 3.1, é possível ver que a grande maioria da carga movimentada na atividade de apoio marítimo é de carga geral considerada solta, seguida de granéis líquidos, e, por fim, de granéis sólidos.

**Tabela 3.1. Movimentação de cargas no apoio marítimo em 2012 (dados em toneladas).**

**Fonte: ANTAQ, 2013.**

| NAVEGAÇÃO DE APOIO MARÍTIMO – 2012 (t) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Sentido** | **Granel Sólido** | **Granel Líquido** | **Carga Geral** | | **Subtotal** |
| | | | **Solta** | **Conteinerizada** | |
| **Portos Organizados** | | | | | |
| Desembarque | - | - | 4.319 | - | 4.319 |
| Embarque | - | 4.595 | 9.709 | - | 14.304 |
| Geral | - | 4.595 | 14.028 | - | 18.623 |
| **Terminais de Uso Privativo** | | | | | |
| Desembarque | 180 | 148.324 | 87.359 | - | 235.863 |
| Embarque | 103.340 | 271.411 | 899.002 | - | 1.273.753 |
| Geral | 103.520 | 419.735 | 986.361 | - | 1.509.616 |
| **Total** | | | | | |
| Desembarque | 180 | 148.324 | 91.678 | - | 240.182 |
| Embarque | 103.340 | 276.006 | 908.711 | - | 1.288.057 |
| Geral | 103.520 | 424.330 | 1.000.389 | - | 1.528.239 |

## 3.2 Portos e Meio Ambiente

Os portos estão ligados diretamente à questão ambiental, uma vez que tendem a ser construídos em áreas ambientalmente sensíveis. Além disso, sua operação envolve diversos aspectos ambientais, como a poluição atmosférica, além de riscos ambientais, como a possibilidade de derramamentos de óleo. Frente a essa situação, a Resolução CONAMA 237 de 1997, em seu anexo I, indica a necessidade de licenciamento ambiental para marinas, portos e aeroportos e para terminais de minério, petróleo e derivados e produtos químicos. Além disso, atividades ligadas diretamente ao setor portuário também necessitam de licenciamento ambiental, como dragagem e derrocamentos em corpos de água.

Para melhor situar o leitor, este item contemplará uma breve descrição dos impactos inerentes às atividades portuárias, um sumário da legislação ambiental portuária e o papel da ANTAQ em relação ao meio ambiente.

### 3.2.1 Aspectos Ambientais da Atividade Portuária

Como dito anteriormente, os impactos ambientais provenientes da atividade portuária podem ser divididos, principalmente, entre impactos relacionados à instalação

do empreendimento em si, impactos causados durante a construção, e, por fim, impactos durante a sua operação. Entre os impactos ambientais, ressalta-se (ANTAQ, 2011):

- inerentes à implantação:
    - alteração da linha de costa;
    - alteração do padrão hidrológico;
    - alteração da dinâmica sedimentar;
    - destruição ou alteração de ecossistemas;
    - supressão de vegetação;
    - modificação de regime de ondas e alteração no fundo dos corpos de água;
    - qualidade visual da região;
    - impactos socioculturais como a remoção de povoações da localidade e mudanças em seus hábitos;
- durante a construção:
    - poluição da água em obras como dragagem;
    - poluição atmosférica por caminhões e outros equipamento de construção além de material particulado ressuspenso;
    - geração de ruídos e vibrações;
    - crescimento populacional acima da capacidade da região;
- durante a operação:
    - alteração da qualidade da água na região;
    - poluição atmosférica devido à emissão de gases e particulados;
    - geração de ruídos e vibrações;
    - distúrbios na fauna e na flora;
    - introdução de espécies exóticas;
    - atração de vetores de doenças, como ratos e pombos;
    - interação com outras atividades da região, como pesca, aquicultura e turismo;
    - tráfego de veículos pesados na região.

Os aspectos ambientais relacionados à implantação em si estão diretamente relacionados à localização e ao projeto do porto. Dessa forma, as principais medidas mitigadoras são relacionadas a uma adequada localização do empreendimento e a um projeto que respeite as características da região, tendo aí, uma grande influência da configuração (*layout*) da planta arquitetônica.

É possível identificar diversas relações entre a utilização da simulação computacional de eventos discretos e a mitigação de vários dos impactos apontados na construção e na operação do porto.

Durante a construção, por exemplo, a operação de dragagem pode ser planejada via simulação computacional para garantir um processo mais eficiente e, dessa forma, com menor emissão de gases e material particulado.

Em relação à fase de operação, as possibilidades são ainda maiores, como: política de chegada de caminhões para redução do tráfego nas proximidades do porto, além de redução na emissão de gases e material particulado; simulação computacional do funcionamento do porto em diferentes *layouts* para redução da poluição sonora.

Existe, na literatura, uma série de guias para avaliação dos impactos ambientais da atividade portuária. Destaca-se, entre eles, o estudo publicado pela ESCAP (1992) *Economic and Social Commision for Asia and the* Pacific, órgão integrante da Organização das Nações Unidas (ONU). Nele, entre outros assuntos, são abordados os impactos ambientais da atividade portuária divididos em 9 diferentes aspectos ambientais e agrupados em 3 categorias diferentes de forma semelhante ao apresentado neste estudo. Além disso, cada aspecto de cada categoria é abordado brevemente, junto com possíveis atividades mitigadoras. A Tabela 3.2 apresenta a categorização presente em tal estudo.

Ressalta-se que a identificação dos impactos ambientais pode variar de estudo para estudo. Tem-se, como exemplo, o fato de que o estudo da ESCAP não considera a existência de impactos socioambientais durante a fase de construção do empreendimento, sendo que, no Brasil, é comum o deslocamento de uma grande quantidade de mão-de-obra para regiões que não possuem a capacidade de receber um aumento populacional tão grande de forma tão rápida.

**Tabela 3.2. Principais impactos de um projeto de desenvolvimento portuário no meio ambiente.**

**Fonte: ESCAP, 1992, *apud* Neto, 2000.**

| **Fonte** / **Aspecto Ambiental** | **Localização do Porto** | **Construção e Dragagem** | **Operação Portuária** | |
|---|---|---|---|---|
| | | | **Tráfego de navios e descargas** | **Operações com carga e indústrias na beira-mar** |
| Qualidade de água | * | * | * | * |
| Hidráulica marítima | * | * | | |
| Qualidade dos sedimentos de fundo | * | * | | * |
| Ecologia marinha e costeira | * | * | * | * |
| Qualidade do ar | | * | * | * |
| Ruído e Vibrações | | * | | * |
| Resíduos Sólidos | | * | * | * |
| Qualidade visual | * | | | * |
| Impactos socioculturais | * | | * | * |

Estudos de Impacto Ambientais (EIAs), necessários no processo de licenciamento ambiental de portos e terminais, obrigatoriamente, apresentam, conforme Resolução CONAMA 001/1986, a seguinte caracterização:

"II - Análise dos impactos ambientais do projeto e de suas alternativas, através de identificação, previsão da magnitude e interpretação da importância dos prováveis impactos relevantes, discriminam: os impactos positivos e negativos (benéficos e adversos), diretos e indiretos, imediatos e a médios e longos prazos, temporários e permanentes; seu grau de reversibilidade; suas propriedades cumulativas e sinérgicas; a distribuição dos ônus e benefícios sociais."

Desse modo, tais estudos constituem uma ótima base de referência na análise dos possíveis impactos ambientais da atividade portuária. Vale ressaltar que tais estudos são elaborados antes dos respectivos empreendimentos entrarem em funcionamento; assim, é factível que impactos não identificados possam vir a acontecer.

Em certos portos, com grande atenção ao meio ambiente, é possível encontrar estudos bem específicos como inventários de emissões atmosféricas. Destaca-se, aqui, o inventário do Porto de Los Angeles referente ao ano de 2005 (Starcrest Consulting Group, LLC, 2007). Estudos como esse constituem ótima referência para estudos de simulação computacional que tenham interesse em adicionar variáveis relacionadas à emissão atmosférica.

Em relação aos portos especializados em atividades de apoio marítimo, ressalta-se a questão do risco de poluição dos recursos hídricos devido à grande movimentação de granéis líquidos.

#### 3.2.1.1 Sobre a Questão da Qualidade do Ar e Filas de Caminhões

No capítulo introdutório, sob a perspectiva de motivação e contexto para o desenvolvimento desta pesquisa, ressaltou-se a importância da qualidade do ar e a participação do setor de transportes na emissão de gases do efeito estufa. Nesta seção, explora-se, com mais detalhes, a questão da distribuição de frequência dos caminhões e acessos a terminais portuários. Tal questão assume destaque tendo em vista o estudo de caso abordado, nesta dissertação, com maior profundidade, no Capítulo 6.

O transporte de cargas por caminhões pode ser fator predominante na qualidade do ar de um determinado local. Um excelente exemplo disso é a China. Sua economia tem os caminhões como objeto essencial de seu crescimento. Um a cada quatro veículos em tal país é um caminhão, o que totaliza cerca de 10 milhões de caminhões nas rodovias chinesas (The New York Times, 2007).

O problema na China é ainda maior devido à péssima qualidade do diesel utilizado em sua frota de caminhões. A quantidade de enxofre presente no combustível chinês é cerca de 23 vezes a quantidade existente no combustível estadunidense (The New York Times, 2013). Além da emissão maior de enxofre, a baixa qualidade do combustível danifica equipamentos de controle de poluição.

Para manter a mobilidade urbana, as grandes cidades chinesas limitam a entrada de caminhões para o período de 21:00h às 07:00h o que acaba gerando uma grande fila de caminhões nos arredores das cidades.

Novos testes de pesquisadores chineses e estadunidenses em Tianjin, no noroeste chinês, mostraram que motores a diesel em caminhões e ônibus são responsáveis por 93% da emissão total de óxidos de nitrogênio provenientes de veículos na China e 97% do particulado (The New York Times, 2007).

Tal problema de difícil solução na China, devido a um aumento no preço do combustível e do número de caminhões que as adequações ambientais implicariam, mostra a importância que pode ter o transporte de cargas frente à poluição do ar.

O transporte de cargas em caminhões relaciona-se, em muitos casos, com o transporte marítimo, pois, comumente, a troca de cargas entre o terminal portuário e o interior é feito por caminhões. Além disso, a movimentação de cargas dentro da área do terminal é comumente realizada por tais veículos. A poluição atmosférica gerada por tais caminhões é tão significativa que programas de redução de emissão a partir de caminhões com menor emissão ("*clean trucks*", em inglês) são facilmente encontrados em portos de países como os Estados Unidos (EUA). Cita-se, como exemplo, o programa adotado pelo porto de Long Beach (Califórnia – EUA), que, em três anos, gerou uma redução de 90% na emissão de poluentes atmosféricos por caminhões.

Ainda em relação a caminhões e terminais portuários, tem-se que, muitas vezes, dificuldades nos acessos aos terminais portuários ou terminais com dificuldades em suprir a demanda levam ao surgimento de longas filas de caminhões. Essa questão dos acessos é tida como o maior problema enfrentado pelos portos brasileiros.

No Brasil, tem-se vários exemplos dessa formação de filas de caminhões, como no caso do porto de Paranaguá, onde, muitas vezes, o porto não consegue dar vazão ao volume de carga em períodos de colheita da soja.

Outra situação vem de terminais portuários inseridos em áreas urbanas. Um exemplo disso é o porto de Imbetiba, que abastece unidades marítimas. Além de estar inserido em perímetro urbano, tal terminal apresenta uma movimentação de cargas altíssima, sendo que a troca de cargas com o meio terrestre é feita exclusivamente por caminhões (Figura 3.7). Tal situação inspirou esta dissertação a trabalhar a questão das filas de caminhões em terminais portuários de apoio marítimo.

**Figura 3.7. Distância entre o Porto de Imbetiba e o Pátio de Tubos.**

**Fonte: ANTAQ, 2013.**

### 3.2.1.2 Poluição do Ar e Impactos na Saúde Humana

A exposição à poluição do ar tem sido associada com uma variedade de efeitos adversos para a saúde (OMS, 2005), sendo que a maioria das evidências recentes concentra-se em efeitos respiratórios e cardiovasculares atribuídas a exposições de curta e longa duração, bem como no desenvolvimento de resultados relacionados com a gravidez. Do ponto de vista da saúde pública, é importante reconhecer que o impacto total da poluição do ar sobre a população é susceptível de ser dominado pelos efeitos menos graves de saúde, sendo que a proporção da população exposta afetada por esses resultados é muito maior do que a afetada por eventos mais graves, como a internação de emergência para o hospital e morte.

Os subgrupos mais afetados pela poluição do ar incluem: pessoas enfermas, crianças, pessoas mais pobres e aqueles com baixo nível de escolaridade. A susceptibilidade é determinada não apenas por suas características pessoais, como idade, estado de saúde, dieta e genética, mas também por fatores ambientais, incluindo características de exposição, habitação e condições ambientais locais.

O aumento no risco de sofrer os efeitos de saúde mais comuns devido à exposição à poluição do ar é relativamente pequena (alguns por cento). No entanto, o número absoluto de pessoas afetadas é significativo devido à natureza generalizada da exposição e à incapacidade para proteger os grupos mais vulneráveis de seus efeitos.

### 3.2.2 Legislação Ambiental Portuária

A legislação referente ao meio ambiente no setor portuário é bem ampla, variando desde convenções internacionais ratificadas pelo Brasil até a legislação nacional e as políticas públicas estabelecidas em diferentes níveis, principalmente federal e estadual (Kitzmann e Asmus, 2006).

Entre os acordos internacionais ratificados pelo Brasil, destacam-se (ANTAQ, 2011):

- Convenção Internacional para Prevenção da Poluição por Navios – MARPOL 73/78;
- Convenção Internacional sobre Mobilização de Recursos, Resposta, e Cooperação contra Poluição do Óleo – OPRC/1990;
- Convenção sobre a Prevenção da Poluição Marinha por Alijamento de Resíduos e outras Matérias – Convenção de Londres – 72 e o Protocolo de 1996.
- Convenção Internacional sobre Responsabilidade Civil em Danos Causados por Poluição do Óleo – CLC/69;
- Convenção Internacional sobre Controle de Sistemas Anti-incrustantes Danosos em Embarcações – AFS/IMO, 2001;
- Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar – Montego Bay, Jamaica.

Entre a legislação nacional, além das resoluções CONAMA já citadas, destacam-se (ANTAQ, 2011):

- Lei nº 8.630 de 1993 (revogada pela Lei nº 12.815 de 2013) - apesar de já revogada, merece destaque por definir a responsabilidade de proteger o meio ambiente portuário ao Conselho da Autoridade Portuária e à Autoridade Portuária;
- Lei nº 7.661 de 1998 - instituiu o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (regulamentado pelo Decreto nº 5.300 de 2004);
- Lei nº 9.537, de 1997- dispõe sobre a segurança do tráfego aquaviário em águas jurisdicionais brasileiras, além de tratar das atribuições e procedimentos relativos ao controle da poluição ambiental causada por embarcações;
- Lei nº 9.433 de 1997 - Política Nacional de Recursos Hídricos;
- Lei nº 12.305 de 2010 - institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos;
- Lei nº 9.966 de 2000 (lei do óleo) - estabelece as principais conformidades ambientais de prevenção e combate à poluição, como o tratamento dos resíduos, planos de emergência individuais; manual de procedimentos de risco à poluição e auditorias ambientais;
- Resolução de Diretoria Colegiada RDC nº 271/01 – ANVISA - aprova o regulamento técnico com vistas à promoção da vigilância sanitária nos portos de controle sanitário instalados no território nacional, à promoção da vigilância

epidemiológica e do controle de vetores dessas áreas e dos meios de transporte que nelas circulam;

- Resolução CONAMA nº 03 de 1990 - estabelece os padrões de qualidade do ar e as concentrações de poluentes atmosféricos, que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral;
- Resolução CONAMA nº 05 de 1993 - define procedimentos mínimos para o gerenciamento de resíduos sólidos provenientes de portos e outros com objetivo de preservar a saúde pública e a qualidade do meio ambiente;
- Resolução CONAMA nº 306 de 2002 - estabelece os requisitos mínimos e o termo de referência para realização de auditorias ambientais;
- Resolução CONAMA nº 344 de 2005 - estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras;
- NORMAM nº 08 (revisão de 2013) - estabelece que a parada ou fundeio de embarcação no mar territorial brasileiro deve ser feita em local conveniente com os interesses de prevenção à poluição ambiental;
- NORMAM nº 20 de 2005 - internaliza os princípios da Convenção Internacional de Controle e Gestão da água de Lastro e Sedimentos de Navios, promulgada pela IMO;
- Portaria SEP nº 104 de 2009 - dispõe sobre a criação e estruturação do setor de gestão ambiental e de segurança e saúde no trabalho (SGA) nos portos e terminais marítimos;
- Portaria SEP nº 414 de 2009 - estabelece as diretrizes, os objetivos gerais e os procedimentos mínimos para a elaboração do plano de desenvolvimento e zoneamento portuário – PDZ;
- Resolução CIRM (Comissão Interministerial para os Recursos do Mar) nº 06 de 1998 - instituiu a agenda ambiental portuária que consiste em compromissos básicos dos agentes portuários, públicos e privados, voltados para a qualidade do meio ambiente em que se inserem.

### 3.2.3 O Papel da ANTAQ

A ANTAQ possui uma grande interface com a questão ambiental. Tais obrigações institucionais provêm da Lei nº 10.233 de 2001, que cria a agência, e do seu regulamento.

Um dos princípios que regem o funcionamento da ANTAQ é o de compatibilizar os transportes com a preservação do meio ambiente, reduzindo os níveis de poluição sonora e de contaminação atmosférica, do solo e dos recursos hídricos. Ressalta-se, ainda, que uma das diretrizes da ANTAQ é promover a adoção de práticas adequadas de conservação e uso racional dos combustíveis e de preservação do meio ambiente.

Dessa forma, pode-se observar a obrigação da ANTAQ em observar a questão ambiental ao exercer suas atribuições, seja em relação a estabelecer normas e padrões a serem observadas pela autoridade portuária (AP), seja no controle de outorgas.

Ressalta-se, ainda, o papel supervisor e fiscalizador da ANTAQ em relação à AP e ao CAP em suas competências de zelarem pelo cumprimento de normas de proteção ao meio ambiente e por uma atividade ambientalmente correta.

# CAPÍTULO 4 – INDICADORES AMBIENTAIS

Neste capítulo, resgata-se a discussão quanto aos indicadores ambientais, enfatizando a sua importância. Inicia-se com a definição dos diferentes tipos de indicadores ambientais segundo a norma ISO 14.031, incluindo, então, a apresentação de alguns programas (SIGA e IDA) que envolvem a obtenção de indicadores ambientais nos portos brasileiros.

## 4.1 Considerações Gerais

Antes da discussão em torno de indicadores ambientais em si, cabe uma definição do termo indicador, que pode ser entendido como expressões quantitativas ou qualitativas que fornecem informações sobre determinadas variáveis e suas inter-relações (FIESP e CIESP, 2004). Indicadores têm surgido para qualificar e quantificar a situação nas mais diversas áreas, como, por exemplo, saúde, educação, economia, sociologia e meio ambiente.

A questão dos indicadores ambientais será discutida de acordo com o estabelecido pela norma ABNT NBR ISO 14.031:2004, nominada, de agora em diante, apenas como ISO 14.031, que trata da avaliação de desempenho ambiental (ADA). Segundo essa norma, ADA é um processo de avaliação interna planejada para prover uma gestão com informações confiáveis e verificáveis, em base contínua, com vistas a determinar se o desempenho ambiental de uma organização está adequado aos critérios estabelecidos pela administração da organização.

A ADA pode auxiliar a organização que a utiliza de diferentes maneiras:

- identificação dos aspectos ambientais;
- determinação dos aspectos que serão tratados como significativos;
- estabelecimento de critérios para seu desempenho ambiental;
- avaliação do desempenho ambiental com base nesses critérios.

Para o cumprimento das etapas desse processo contínuo, a ISO 140.31 introduz duas categorias gerais de indicadores:

- indicadores de desempenho ambiental (IDA);
- indicadores de condição ambiental (ICA).

Observe-se que existem dois tipos de IDA:

- indicadores de desempenho gerencial (IDG) são um tipo de IDA que fornecem informações sobre esforços gerenciais para influenciar o desempenho ambiental das operações da organização;
- indicadores de desempenho operacional (IDO) são um tipo de IDA que fornecem informações sobre o desempenho ambiental das operações da organização.

Já os ICA fornecem informações sobre as condições do meio ambiente. Essas informações podem ajudar a organização a entender melhor o impacto real ou impacto potencial de seus aspectos ambientais e, assim, auxiliar no planejamento e na implantação da ADA.

Os indicadores, também, podem ser agrupados em diferentes grupos segundo a configuração de seus dados. Entre esses grupos, pode-se destacar:

- medições ou cálculos diretos - são dados ou informações básicas obtidas de forma direta, que não necessitam ser ou que não foram trabalhadas;
    - exemplo - toneladas de $CO_2$ emitidas;
- medições ou cálculos relativos - são dados ou informações comparados a outros parâmetros;
    - exemplo - toneladas de $CO_2$ emitidas por navio atracado;
- medição indexada - são dados ou informações descritivas convertidas para unidades ou para uma forma que relacione a informação a um padrão ou base de referência escolhidos;
    - exemplo - a média do número de toneladas de $CO_2$ emitidas por navio atracado no ano atual como porcentagem da mesma variável em um ano-base;
- medição agregada - são dados ou informações descritivas do mesmo tipo, mas de diferentes fontes, expressos como um único valor;
    - exemplo - toneladas de $CO_2$ emitidas em um ano de funcionamento de determinado terminal portuário;
- medição ponderada - são dados ou informações descritivas modificadas pela aplicação de um fator relacionado à sua significância;
    - exemplo - a emissão total de $CO_2$ de um terminal portuário em um ano pode ser multiplicada por um fator de impacto com o objetivo de agregar as emissões de diferentes tipos de substância em um indicador geral de emissão de gases do efeito estufa.

A ISO 14.031 traz uma série de indicações para a identificação de aspectos ambientais e sua significância relativa no contexto da ADA para organizações sem sistemas de gestão ambiental. São eles:

- identificar atividades, produtos e serviços da organização, os aspectos ambientais específicos e a significância relativa a eles associada e os impactos potenciais relacionados com os aspectos ambientais significativos;
- usar informações sobre a condição do meio ambiente para identificar atividades, produtos e serviços da organização que possam ter um impacto em condições específicas;
- analisar os dados existentes da organização sobre as entradas de material e energia, descargas, resíduos e emissões, e avaliar esses dados em termos de risco;
- identificar a visão das partes interessadas (entenda-se, aqui, por partes interessadas, indivíduos ou grupos afetados pelo desempenho ambiental de uma organização) e usar essas informações para ajudar a estabelecer aspectos ambientais significativos da organização;
- identificar as atividades da organização que são sujeitas à regulamentação ambiental ou outros requisitos, para as quais podem ter sido coletados dados pela organização;
- considerar o projeto, desenvolvimento, fabricação, distribuição, serviço de pós-venda, uso, reuso, reciclagem e disposição dos produtos da organização e seus impactos ambientais relacionados;
- identificar aquelas atividades da organização que têm os custos ou benefícios ambientais mais significativos.

Na seleção dos indicadores ambientais, segundo a ISO 14.031, convém considerar se eles são:

- coerentes com a política ambiental declarada pela organização;
- apropriados ao empenho gerencial da organização, ao seu desempenho operacional ou à condição ambiental;
- úteis para a medição do desempenho em relação aos critérios de desempenho ambiental da organização;
- relevantes e compreensíveis para as partes interessadas internas e externas;
- obteníveis de maneira eficaz em termos de custo e em tempo adequado;
- adequados para seu uso pretendido com base no tipo, qualidade e quantidade de dados;
- representativos do desempenho ambiental da organização;
- mensuráveis em unidades apropriadas ao desempenho ambiental;
- sensíveis e que respondam às mudanças no desempenho ambiental da organização;
- capazes de fornecer informações sobre as tendências atuais ou futuras do desempenho ambiental.

Ressalta-se que o indicador não precisa satisfazer todas as considerações acima para ser considerado útil.

### 4.1.1 Potencialidades e Desafios no Uso de Indicadores Ambientais

Apesar dos indicadores possuírem uma grande utilidade na avaliação de questões ambientais, o seu uso possui uma série de desafios e limitações. A Tabela 4.1 busca representar tais potencialidades e desafios.

**Tabela 4.1. Potencialidades e desafios no uso de indicadores ambientais.**

**Fonte: adaptado de EPCEM (2003) *apud* Duran (2012).**

| PONTOS FORTES | PONTOS FRACOS |
|---|---|
| **Cumprimento da legislação:** indicadores podem dar uma resposta adequada às pressões legislativas e regulamentares. | **Simplicidade:** indicadores são simplificações de observações e, às vezes, eles não conseguem descrever todos os aspectos de cada ambiente. |
| **Redução de custos e riscos:** indicadores podem identificar os riscos ambientais e ajudar a reduzir custos (por exemplo, eficiência energética). | **Sensibilidade:** alguns indicadores podem ser sensíveis a alterações ambientais de curto prazo. |
| **Desenvolvimento sustentável:** indicadores podem contribuir para a minimização contínua dos impactos ambientais, para uma melhor gestão das questões ambientais e para sensibilizar o quadro de funcionários. | **Disponibilidade de dados:** as informações, por vezes, para obter os melhores indicadores, não estão disponíveis, o que torna os dados menos representativos. |
| **Oportunidade de mercado:** indicadores podem ser úteis para atender às demandas dos clientes, melhorar as relações com os mesmos e podem dar uma vantagem na questão do marketing. | **Viabilidade:** embora os indicadores quantitativos geralmente sejam mais representativos do que os qualitativos, eles tendem a ser mais exigentes em termos de tempo e custos. |
| **Imagem positiva:** o uso de indicadores pode mostrar transparência nas ações da organização, melhorar as relações das partes interessadas e aumentar a confiança dos investidores, acionistas, bancos e seguradoras. | **Interpretação:** alguns indicadores podem ser interpretados de maneiras diferentes, dependendo das condições do meio ambiente. |

## 4.2 Exemplos de Indicadores Ambientais Aplicados a Portos

Conforme indicado no item 4.1, os indicadores ambientais podem ser divididos em indicadores de desempenho ambiental (IDA) e indicadores de condição ambiental (ICA), sendo que o primeiro se divide ainda em indicadores de desempenho gerencial (IDG) e indicadores de desempenho operacional (IDO).

Seguindo os mesmo conceitos, Duran (2012), através de sua revisão bibliográfica, identifica uma longa série de indicadores ambientais passíveis de serem utilizados em portos.

Assim, o citado autor documenta 304 possíveis indicadores divididos em indicadores de desempenho gerencial (IDG) (128 indicadores), indicadores de desempenho operacional (IDO) (80 indicadores) e indicadores de condição ambiental (ICA) (96 indicadores). Além disso, cada tipo de indicador é dividido em numerosos subgrupos. Dessa forma, alguns desses indicadores são apresentados nos itens subsequentes. Ressalta-se, apenas, que, caso algum leitor consulte o estudo original, o mesmo deve ter certa atenção na divisão dos indicadores. Foram encontrados alguns equívocos ao longo da leitura do estudo citado, como a presença de Digas em meio à lista de Idos.

Outra extensa fonte de exemplos de indicadores é o Anexo A da própria ISO 14.031.

### 4.2.1 Indicadores de Desempenho Gerencial (IDG)

Entre os possíveis Digas possíveis na atividade portuária, destacam-se:

- o porto possui uma política ambiental?
- a política ambiental é comunicada a todos os funcionários?
- porcentagem de objetivos ambientais alcançados;
- número de parâmetros ambientais monitorados;
- número de dias em um ano em que cada parâmetro ambiental ultrapassou o respectivo limite;
- frequência de treinamentos ambientais para os funcionários do porto;
- existem procedimentos para o diálogo com a comunidade local no programa ambiental do porto?
- número anual de acidentes ambientais relatados;
- número de auditorias ambientais conduzidas;
- porcentagem de cumprimento de requerimentos ambientais legais;
- número anual de reclamações ambientais recebidas da comunidade local;
- número de soluções para redução da poluição implementadas.

Uma vez que tais indicadores expressam os esforços e decisões dos responsáveis pelo gerenciamento da organização em relação aos aspectos ambientais, é difícil apontar uma aplicação direta de tais indicadores em uma simulação computacional.

### 4.2.2 Indicadores de Desempenho Operacional (IDO)

Entre os possíveis IDOs possíveis na atividade portuária, destacam-se:

- consumo anual total de energia dividido pelas diferentes fontes;
- total de energia economizada por melhorias mais energeticamente eficientes;
- número de navios abastecidos por energia proveniente da costa;
- consumo de água total anual;
- emissão total anual de gases do efeito estufa;
- quilômetros percorridos pelos veículos do porto;
- exposição média a ruídos em um período de trabalho de 8 horas;
- nível máximo de ruídos no terminal;
- total anual de resíduo sólido coletado por tipo;
- quantidade anual de resíduos sólidos reciclados;
- quantidade anual total de resíduos sólidos coletados dos navios;
- quantidade anual de volume de sedimentos dragado;
- quantidade de sedimento dragado por volume de combustível consumido;
- quantidade de calor, vibração ou luz emitida pelo porto anualmente.

Diferentemente dos IDGs, a aplicação dos IDOs em modelos de simulação computacional torna-se bem evidente com o que foi discutido no item 2.4, uma vez que mostram o desempenho ambiental referente às operações.

### 4.2.3 Indicadores de Condição Ambiental (ICA)

Entre os possíveis ICAs possíveis na atividade portuária, destacam-se:

- indicadores regionais da qualidade do ar referentes a diversas substâncias como monóxido de carbono, amônia, material particulado, entre outras;
- concentração de determinado contaminante na água superficial ou subterrânea;
- concentração de determinado contaminante nos sedimentos;
- média ponderada dos níveis de ruído no perímetro de instalação do porto;
- condições da flora e fauna na área adjacente ao porto;
- quantidade de animais sinantrópicos de cada espécie encontrados no porto;
- diversidade biológica nos ambientes aquáticos próximos aos portos;
- dados concernentes a correntes marinhas na área afetada pelo porto.

Os ICAs mostram-se bem aplicáveis a modelos de simulação, apesar de seu uso não tão evidente como no caso dos IDOs. Tais indicadores evidenciam-se mais como resultados alcançados de acordo com determinado modelo proposto. O item 2.4 mostra um estudo de caso que representa bem essa situação, em que diferentes opções são

simuladas até que determinado nível de ruído na área urbana seja alcançado, mantendo um desempenho satisfatório para o funcionamento do porto.

## 4.3 Indicadores Adotados nos Portos Brasileiros

A ANTAQ realiza um acompanhamento da gestão ambiental portuária por meio de dois sistemas: o sistema integrado de gestão ambiental – SIGA e o índice de desempenho ambiental – IDA. O IDA tem uma periodicidade semestral, enquanto que o SIGA possui periodicidade bianual.

O SIGA consiste em um conjunto de conformidades ambientais a serem verificados pelos prestadores de serviços portuários, ou seja, do atendimento aos dispositivos legais, acrescidos daqueles que são componentes da gestão, mesmo não sendo regrados por força de lei ou por outros instrumentos normativos semelhantes (ANTAQ, 2012).

Embora o IDA trate das mesmas conformidades que o SIGA, ele envolve uma contabilização dos atendimentos das conformidades segundo diferentes estágios, o que resulta em um valor que identifica o grau de gestão ambiental.

Tais sistemas de indicadores são de grande importância para a gestão ambiental portuária brasileira, entretanto abordam apenas indicadores de desempenho gerencial, que, como visto no item 4.2.1, não são de grande aplicabilidade em simulações computacionais com interface ambiental. Dessa forma, é possível concluir que tais sistemas de indicadores não auxiliam, de forma direta, a elaboração de modelos de simulação com o enfoque abordado nesta dissertação.

# CAPÍTULO 5 – METODOLOGIA

Neste capítulo, descreve-se a metodologia utilizada nesta dissertação. Inicia-se com a apresentação de um fluxograma geral do trabalho (Figura 5.1), concebido com vistas a responder os objetivos definidos no item 1.2, permitindo, então, expor os resultados obtidos no Capítulo 6. Em seguida, cada uma das etapas do fluxograma é melhor detalhada.

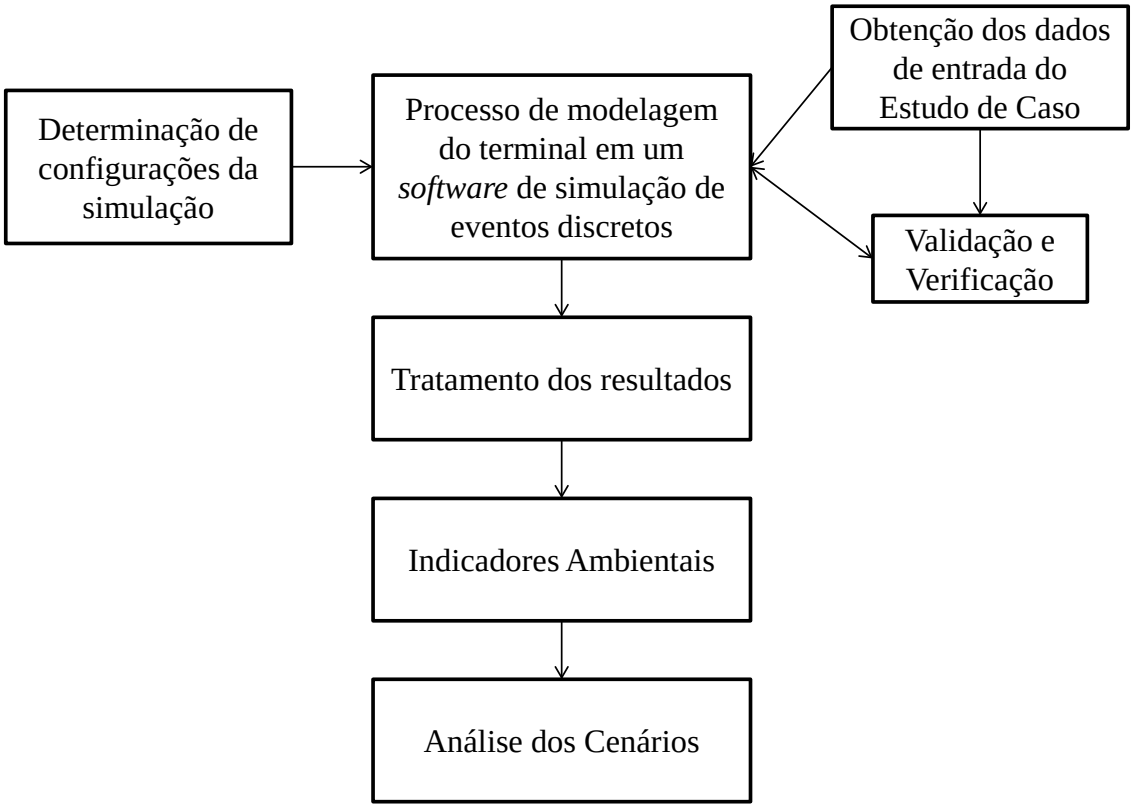



**Figura 5.1. Fluxograma metodológico.**

A primeira etapa é um levantamento dos dados pertinentes do sistema para implementação do seu correspondente processo de modelagem. Tais dados podem ser provenientes de diferentes fontes na literatura, medições ou considerações feitas com base na experiência do modelador. Para o estudo de caso presente no Capítulo 6, tem-se, como fonte de dados do sistema, diferentes estudos que servem como referências bibliográficas, além de considerações feitas pelo autor.

Após o levantamento dos dados, realiza-se o processo de modelagem do sistema com o objetivo de se extrair diversas informações úteis em relação aos aspectos

ambientais definidos. A modelagem é feita via um código computacional de simulação de eventos discretos.

Antes que o modelo seja executado, é necessário configurar algumas informações gerais, como o período de aquecimento e número de replicações necessárias para se chegar aos resultados.

Uma vez que a simulação tenha sido feita, ela deve ser verificada e validada segundo dados levantados nas etapas inicias da metodologia. A validação e verificação feitas podem indicar, ou não, necessidades de reformulação no modelo do sistema estudado.

Alguns indicadores são retirados dos resultados de forma direta e simples, entretanto os indicadores ambientais utilizados necessitam que os resultados sejam previamente trabalhados e convertidos.

Uma vez que os indicadores para a situação atual do terminal estudado tenham sido levantados, são feitas modificações no modelo para que se retratem diferentes cenários de intervenções propostas.

Por fim, os indicadores obtidos a partir das modelagens da situação atual e de diferentes cenários via simulação computacional de eventos discretos são comparados e discutidos.

Segue-se, abaixo, uma apresentação mais detalhada dos itens que compõem a metodologia do estudo.

## 5.1 Modelagem

Como dito anteriormente, a simulação é feita através de um modelo construído no código computacional ProModel, disponível no mercado e conhecido na área de simulação computacional de eventos discretos. A escolha por tal código computacional levou em conta aspectos como capacidade em simular o sistema estudado de forma satisfatória, existência de pacote acadêmico, custo do pacote e suporte oferecido.

Como dito no item 2.1.1, o modelo pode ser classificado de diversas formas segundo suas características. O modelo proposto é considerado dinâmico, pois o sistema é modificado com o passar do tempo, e eventos anteriores são levados em consideração. Além disso, o modelo é considerado discreto, pois as mudanças no sistema são decorrentes de eventos considerados como instantâneos. Por fim, o modelo é considerado estocástico, pois considera algumas variáveis aleatórias, como poderá ser visto no estudo de caso.

Os limites propostos no modelo englobam as interfaces de troca de cargas entre o terminal e o interior por meio dos caminhões e entre o terminal e o exterior via navios. Assim, depois que a carga abandona a região delimitada pela interface, ela também sairá do sistema. A consideração dessas interfaces é de grande importância, pois elas apresentam grande influência sobre as filas formadas nos terminais, alvos deste estudo.

O nível de detalhe adotado no modelo envolve, principalmente, os fluxos referentes às cargas. É adotado um nível de detalhe que permita acompanhar as operações envolvendo carga e descarga, entretanto agrupando certas operações de forma a simplificar o modelo. Cita-se, como exemplo do nível de detalhe considerado, o descarregamento da carga na área de pré-embarque por determinado caminhão. Tal processo pode ser dividido em diversas etapas, como: conferência da carga, empilhadeira retira a carga do caminhão, empilhadeira desloca-se até o local adequado, empilhadeira deixa a carga em tal local. No modelo proposto, tal operação será generalizada apenas como descarregamento da carga contida em um caminhão, e os tempos necessários para realizar cada suboperação serão somados.

Além do modelo inicial que visa simular o sistema atual, modificações no modelo são necessárias para se recriar os diferentes cenários propostos.

Nos itens que seguem, serão discutidos aspectos de como funciona o processo de modelagem no ProModel, como foi estimado o tempo de aquecimento e, por fim, como foi determinado o número de replicações necessárias do modelo.

### 5.1.1 Processo de Modelagem no ProModel

A modelagem no ProModel constitui-se na criação de relações e processos entre diferentes objetos. Tais objetos podem ser divididos sumariamente em:

- entidades - são os elementos que sofrem as ações no sistema (navios e caminhões, por exemplo);
- locais - representam os lugares para onde os objetos vão para que as operações sejam realizadas (berços e portarias, por exemplo);
- recursos - elementos responsáveis por realizar as operações sobre as entidades (empilhadeiras, por exemplo);
- redes - definem o caminho utilizado por entidades e recursos para se moverem no sistema (o arruamento do terminal, por exemplo).

Além disso, existem alguns itens passíveis de serem criados que ajudam no desenvolvimento do modelo, como:

- atributos - entidades e locais podem receber atributos que ajudam a caracterizá-los adequadamente (tipo de carga que determinado caminhão transporta, por exemplo);
- variáveis globais - como o nome sugere, as variáveis armazenam valores que podem ser alterados e podem ser acessados por qualquer processo do modelo (número de navios carregados e número de caminhões na fila de acesso, por exemplo).

Uma vez que os objetos foram definidos, é necessário criar processos que reflitam a interação de tais elementos. Esses processos são caracterizados, basicamente, por: local onde ocorre, qual o destino, qual entidade sofre o processo, e qual operação é sobre ela realizada. Como ferramenta adicional, tem-se a construção de sentenças lógicas que ajudam na construção dos processos de forma efetiva, contando ainda com uma série de lógicas pré-construídas.

Normalmente, o modelo inicia-se a partir da entrada de entidades no sistema em determinado local de acordo com o tempo de intervalo definido pelo usuário, que pode ser um valor fixo ou fruto de uma distribuição estatística.

Após entrar no sistema, as entidades, que podem ser de diversos tipos, seguem diferentes processos, deslocando-se ao longo de locais, podendo ou não sair do sistema. Durante sua permanência no sistema, as entidades podem sofrer ações de diferentes recursos no modelo, além de se deslocarem sobre diferentes redes.

Como auxílio para a definição do processo de modelagem ou, simplesmente, para controle dos resultados, podem ser incluídos atributos ou variáveis.

Uma vez que o modelo tenha sido criado, são configurados, no programa, itens importantes, como tempo de simulação e número de replicações.

A representação gráfica do modelo é feita, praticamente, de forma automática ao se realizar o processo de modelagem. A velocidade de tal representação pode ser modificada ao longo da simulação ou até mesmo desabilitada. Após a simulação ser concluída, os resultados podem ser observados e exportados por meio do código computacional *Output Viewer*. Tal código computacional está incluso no pacote do ProModel e possui a capacidade de exibir diversos resultados de uma forma bem simples.

### 5.1.2 Determinação da Extensão do Período de Aquecimento e Período de Simulação

Um método para a determinação do tempo de aquecimento do modelo e do tempo de simulação passa pela realização de alguns testes e verificação do comportamento dos resultados em relação ao fator tempo.

Com base nesses aspectos, optou-se por analisar os resultados com base no número de navios na área de fundeio. De acordo com o comportamento dessa variável ao longo do tempo, pode-se determinar qual o tempo de aquecimento compatível com o modelo e o tempo de simulação adequado. A escolha dessa variável deve-se ao fato de que é uma das únicas da qual se possuem dados para validação, e o seu valor é dependente do funcionamento de todo o sistema.

A definição de quanto tempo o sistema será modelado deve levar em conta alguns fatores específicos do respectivo sistema. O modelo proposto nesta simulação configura-se como intermitente, pois não há nada que se apresente como um fim para ele. Caso seja de desejo do modelador, o modelo poderia simular qualquer quantidade de tempo escolhida, entretanto devem-se levar em consideração as vantagens e desvantagens de tal escolha.

Como o terminal estudado não apresenta variações sazonais referentes a períodos de safra, por exemplo, não há necessidade de levar tais períodos em consideração, fator que tende a levar a períodos de simulação superiores. Entretanto, o período de simulação não pode ser muito curto, pois devido a grande quantidade de variáveis estocásticas utilizadas, o modelo pode necessitar de um tempo de simulação longo para que diferentes situações sejam observadas.

Os efeitos das condições iniciais em simulações curtas não são um problema no caso desta metodologia, pois um período de aquecimento é considerado. Simulações muito longas podem não acrescentar algo de novo além de necessitarem de um tempo de processamento alto.

Dessa forma, é necessário encontrar um tempo de simulação específico adequado às variações do sistema e a suas características conceituais.

O período de aquecimento do modelo tem como objetivo eliminar a interferência das condições iniciais no período avaliado. Esse fato é de grande importância neste estudo, pois considera-se que o período de avaliação do sistema leva em conta um período de funcionamento que pode ser considerado como corrente. No seu início, é considerado que o porto já estava em operação, e, ao final da simulação, considera-se que o porto continuará em operação.

Os principais itens que tornam o uso do período de aquecimento imperativo em modelos relacionados à área portuária são, por exemplo: volume de carga armazenado

nas áreas de pré-embarque, número de caminhões nas filas, número de navios aguardando no fundeio e número de berços ocupados. A simulação de um porto, considerando-se todas as suas áreas de armazenamento vazias, ausência de navios em operação ou aguardando na fila, entre outros aspectos, apresenta-se viável apenas caso essa situação específica seja o objeto de estudo. É claro que a situação descrita pode acontecer durante a simulação, entretanto dar-se-ia a partir de uma combinação de eventos e não como uma condição imposta.

Dessa forma, considera-se o tempo de aquecimento necessário aquele em que a quantidade de navios na área de fundeio apresenta um comportamento estável. Ressalta-se que é analisado o comportamento da variável e não o seu valor especificamente.

### 5.1.3 Determinação do Número de Replicações

O número de replicações ($n^*$) necessárias do modelo é obtido por inferência estatística a partir de simulações-piloto do modelo. A análise foi feita com base na análise do intervalo de confiança, utilizando-se a distribuição *t* de *Student*. Tal metodologia está presente em diversos estudos como o de Pereira (2010), que indica tal distribuição como a mais apropriada para pequenas amostras (menos do que 30) e quando se desconhece o desvio-padrão da população.

A análise inicia-se com a escolha de uma variável representativa do modelo, no caso, média anual da quantidade de navios no fundeio. Após essa identificação, executa-se um pequeno número de replicações ($n$) do modelo para verificar qual a precisão encontrada ($e_0$) por meio dessas replicações.

Em seguida, é feita a escolha do nível de confiança desejado ($100(1-\alpha)$) e uma precisão desejada nos resultados ($e_0^*$). Considerando-se a média real como $\mu$ e a média estimada como $\bar{x}$, tem-se:

$$P(\bar{x} - e_0 \leq \mu \leq \bar{x} + e_0) = 1 - \alpha \quad \textbf{(5.1)}$$

Como se considerou a distribuição *t* de *Student*, tem-se:

$$e_0 = t_{n-1,\alpha/2} \frac{S_x}{\sqrt{n}} \quad \textbf{(5.2)}$$

onde:

$S_x$ representa o desvio-padrão da amostra; e

$t_{n-1,\alpha/2}$ é o resultado da distribuição *t* de *Student* considerando-se o grau de liberdade como $n-1$.

Sendo assim, a primeira equação deste item torna-se:

$$P\left(\bar{x} - t_{n-1,\alpha/2}\frac{S_x}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{n-1,\alpha/2}\frac{S_x}{\sqrt{n}}\right) = 1 - \alpha \quad \textbf{(5.3)}$$

e assim:

$$IntervalodeConfiança = \bar{x} \pm t_{n-1,\alpha/2}\frac{S_x}{\sqrt{n}} \quad \textbf{(5.4)}$$

Prosseguindo, é feita a estimativa do $e_0$ (Equação 5.2) a partir da estimativa do desvio padrão e da estimativa da distribuição t de *student* conforme a precisão desejada e o grau de liberdade mediante consulta de tabelas presentes na literatura. O desvio-padrão da amostra é obtido via equação abaixo:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad \textbf{(5.5)}$$

Caso o $e_0$ encontrado seja superior a $e_0^*$, conclui-se que é necessário um número maior de replicações para se chegar ao nível de confiabilidade desejado. O número de replicações necessárias ($n^*$) para se chegar ao objetivo é obtido via a seguinte equação:

$$n^* = \left[n\left(\frac{e_0}{e_0^*}\right)^2\right] \quad \textbf{(5.6)}$$

### 5.1.4 Validação e Verificação

A validação é feita com base em dados reais presentes na literatura referentes a algumas variáveis de grande relevância no sistema. É feita uma comparação direta entre os valores médios reais e os valores médios entre as diferentes replicações, incluindo-se os respectivos desvios padrões.

Foram retirados, de Batista (2005), dados reais referentes aos valores médio e máximo de navios atracados na área de fundeio, além da quantidade de cada tipo de navio que entra no sistema, considerando-se um ano de funcionamento.

Vale ressaltar que os valores analisados em relação à simulação levam em consideração a média e o desvio padrão entre os resultados encontrados nas diferentes replicações do modelo.

Os resultados referentes às variáveis “média anual do número de navios no fundeio” e o “valor máximo do número de navios no fundeio em determinado instante”

são obtidos de forma automática no *Output Viewer*, sendo necessário apenas requisitar o sumário de resultados do local referente ao fundeio.

Já os resultados referentes à quantidade de cada tipo de navio que entra no sistema são obtidos pelo sumário de resultados das variáveis no *Output Viewer*. Entretanto são necessárias a criação e a configuração prévias de tais variáveis no modelo.

Resultados referentes à entrada de caminhões não puderam ser validados, todavia foram avaliados e verificados quanto à sua ordem de grandeza e comportamento.

## 5.2 Obtenção dos Resultados da Simulação e Indicadores

Para mensurar os impactos, são contabilizadas as emissões totais anuais de poluentes atmosféricos causadas pelos caminhões parados nas filas do sistema. Tais indicadores podem ser considerados como indicadores de desempenho operacional (item 4.2.2). Os poluentes estimados são:

- COV (carbono orgânico volátil);
- HT (total de hidrocarbonetos);
- CO (monóxido de carbono);
- $NO_x$ (óxidos de nitrogênio);
- $MP_{2,5}$ (material particulado com diâmetro inferior a 2,5 μm, considerado como material particulado fino);
- $MP_{10}$ (material particulado com diâmetro inferior a 10 μm).

Como dito anteriormente, o procedimento de visualização (*Output Viewer)* apresenta os resultados da simulação, porém é possível que tais resultados não estejam no melhor formato possível para o que se deseja. O método apresentado aqui necessita que o modelo estime o tempo gasto pelos caminhões nas filas de acesso, e tal variável requer um processo para ser calculada. A estimativa de tal variável no modelo é possível através de dois comandos nativos de lógica do ProModel.

O primeiro é o comando de controle do tempo (*Clock*()). O uso de tal ferramenta retorna o tempo decorrido na simulação até aquele momento na unidade escolhida (argumento a ser inserido entre os parênteses na função). Caso a unidade não tenha sido especificada, o modelo retorna, na unidade padrão especificada, as suas informações gerais. No presente caso, o valor retornado pela função de tempo (*Clock*()) será atribuído a um atributo da entidade, que tem seu tempo monitorado, no caso, um caminhão. Tal função é acionada assim que a entidade entra na fila.

Imediatamente após a entidade sair da fila, utiliza-se o comando "*Log*". Tal comando subtrai o tempo guardado no atributo citado anteriormente do tempo de simulação e armazena tal resultado. O comando "Log" permite o uso de uma etiqueta para que os resultados sejam melhor identificados na saída do modelo.

Os resultados para o comando "Log" podem ser requisitados no formato de um sumário no procedimento de visualização (*Output Viewer)*. O sumário informa o número de ocorrências e o valor médio delas. Assim, uma multiplicação direta desses resultados resulta no tempo total gasto pelos caminhões naquela fila.

A Figura 5.2 apresenta o método descrito acima no ProModel. Ressalta-se que a função "Log" é utilizada na iminência da entidade sair da fila (no último instante possível) e não após.

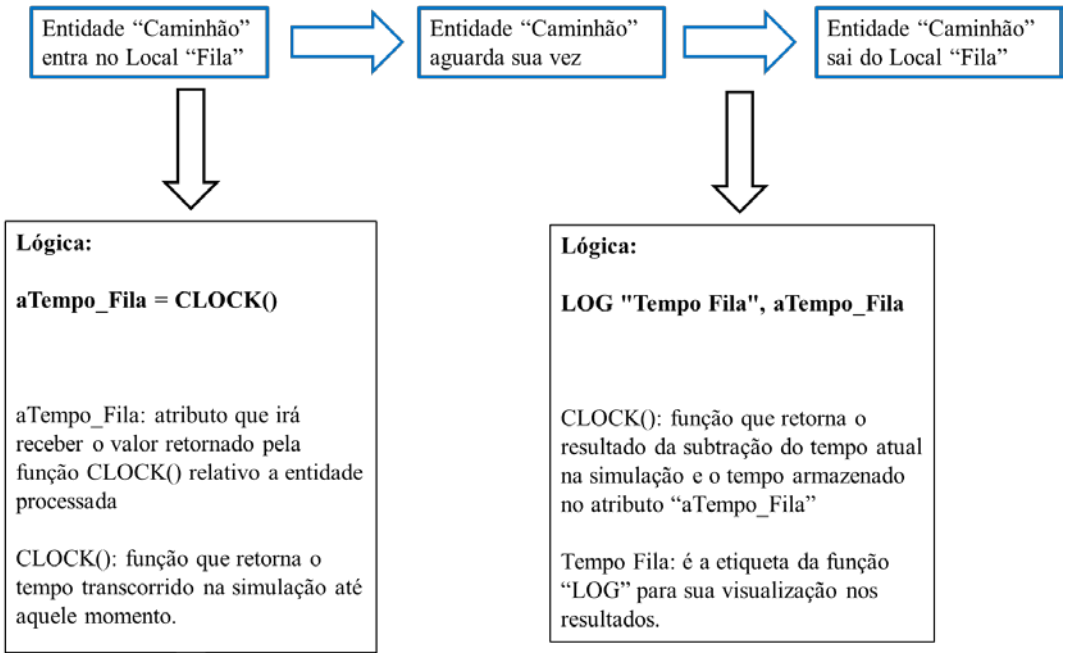



**Figura 5.2. Lógica para a obtenção do tempo de permanência total de caminhões na fila.**

A lógica descrita acima é utilizada em todas as filas do terminal; dessa forma, os resultados contêm diversas séries de tempo de LOGs diferentes, retratando o tempo gasto por cada caminhão em cada respectiva fila. Dessa forma, tem-se uma série de tempos de diversos *Logs* relativos à fila de acesso ao terminal, uma série de tempos de diversos Logs relativos à fila de acesso à retroárea, uma série de tempos de diversos Logs relativos à fila de acesso à determinada área de pré-embarque a assim por diante.

Uma vez que o tempo total gasto nas filas foi estimado, é necessário converter tal variável em uma que indique algo do ponto de vista ambiental de forma mais direta. Para esse cálculo, é necessário o uso de um modelo de estimativa de fontes que se baseia em dados coletados experimentalmente a partir de fontes de emissão semelhantes.

O modelo de estimativa de fontes mais conhecido é o AP-42 da Agência de Proteção Ambiental estadunidense (US EPA). A equação geral que rege tal modelo é apresentada abaixo (US EPA, 1995):

$$E = A \times EF \times (1 - ER/100) \quad \textbf{(5.7)}$$

onde:

$E$ representa emissão;

$A$ representa a taxa de execução da atividade;

$EF$ representa o fator de emissão característico daquela atividade;

$ER$ representa a porcentagem de eficiência do equipamento de controle utilizado.

Caso não exista equipamento de controle, a equação reduz-se a:

$$E = A \times EF \quad \textbf{(5.8)}$$

A AP-42 possui fatores de emissão divididos em diversas atividades como mineração e aterros sanitários.

O fator de emissão, normalmente, é expresso em unidade de massa dividida por uma unidade de comprimento, peso, distância ou duração da atividade. No presente estudo, o fator de emissão será tratado em quilogramas (kg) de contaminante emitida por hora de atividade. A atividade em questão é a queima de combustível por motores de caminhões parados.

A taxa de execução da atividade é dada em horas gastas por caminhões na fila por ano; dessa forma, a unidade da emissão é kg por ano, como pode ser visto a partir da última equação:

$$E = \frac{hora}{ano} \times \frac{kg}{hora} = \frac{kg}{ano} \quad \textbf{(5.9)}$$

As referências possíveis na literatura para a estimativa do fator de emissão são bem diversas, sendo que a diferença para determinados fatores pode ter relação com características regionais. Além disso, o fator de emissão varia para a mesma atividade dependendo de qual contaminante está sendo avaliado.

A emissão de poluentes atmosféricos por veículos varia segundo diversos fatores, como (US EPA, 2008):

- tipo de veículo e tamanho (motocicletas, carros, ônibus, caminhões de carga, entre outros);
- idade do veículo e distância acumulada;
- combustível utilizado (diesel, gasolina, entre outros);

- condições do clima no local (por exemplo, temperatura, precipitação, vento);
- condição de manutenção do veículo;
- existência de equipamento de controle de emissão;
- estado de operação (em movimento, andando lentamente, parado, entre outros).

Por outro lado, é possível obter valores médios em relação a alguns fatores com base em dados históricos, como idade média da frota de veículos e estado de manutenção dos mesmos.

Um fator que altera bastante a emissão de poluentes, que é bastante pertinente a esta dissertação, é a variação com o estado de operação do veículo. Como se avalia o impacto causado pelas filas de caminhões, tem-se que considerar a emissão de poluentes provocadas pelo motor em funcionamento, só que com o veículo parado (‘marcha lenta’). Esse procedimento levou a uma busca de fatores de emissão que levassem em consideração esse aspecto, pois, em grande parte da literatura, os fatores de emissão para veículos estão listados em gramas de poluente por quilômetro percorrido. A utilização de tais fatores de emissão para a situação estudada não iria condizer com a realidade, pois a emissão estimada não levaria em conta toda a emissão produzida pelo caminhão enquanto parado.

Tal busca por fatores de emissão condizentes com a situação levou a um estudo da Agência de Proteção Ambiental estadunidense (USEPA, 2008). Tal documento trata da emissão de veículos, considerando-os parados por um período de tempo curto, em gramas de poluente por hora. Tal situação corresponde à situação simulada, uma vez que o caminhão não fica sem se deslocar durantes longos períodos, e sim fazendo pequenos deslocamentos entre pausas significativas.

Para veículos parados por períodos de tempo longos, como em casos em que o motorista do caminhão mantém o motor funcionando em paradas longas para o uso do ar-condicionado, micro-ondas ou simplesmente mantém o motor quente em lugares de clima frio, o órgão indica a utilização de outro documento (USEPA, 2004).

O documento USEPA (2008) traz uma série de considerações assumidas para a estimativa dos fatores de emissão aqui utilizados; são elas:

- temperatura variando de 22°C a 33°C durante o dia;
- conteúdo de enxofre no diesel: 330 ppm;
- programas de inspeção e manutenção ausentes.

Apesar de o documento incluir o fator de emissão para diferentes veículos, como motos, carros, caminhões, entre outros, e dividir os caminhões de carga pesada pela tonelagem, são apresentados aqui apenas os fatores de emissão média para os caminhões de carga pesada movidos a diesel que são os considerados nesta dissertação (Tabela 5.1).

**Tabela 5.1. Fatores de emissão para caminhões de carga pesada movidos a diesel.**

**Fonte: USEPA, 2008.**

| Poluente | Unidade | Fator |
|---|---|---|
| COV | g/hora<br>g/min | 3,455<br>0,058 |
| HT | g/hora<br>g/min | 3,503<br>0,058 |
| CO | g/hora<br>g/min | 25,628<br>0,427 |
| $NO_x$ | g/hora<br>g/min | 33,763<br>0,563 |
| $PM_{2.5}$ | g/hora<br>g/min | 1,100<br>0,018 |
| $PM_{10}$ | g/hora<br>g/min | 1,196<br>0,020 |

Entretanto, a análise das emissões não se limita à estimativa da emissão anual total de cada poluente. A variação da emissão ao longo do dia é uma informação de grande importância em modelos de dispersão de poluentes na atmosfera, uma vez que as condições de dispersão dos poluentes modificam-se, de forma considerável, ao longo do dia.

Antes da estimativa da emissão, é necessária a estimativa da quantidade de horas totais em que os caminhões na fila emitiram em determinado período do dia (intervalos de uma hora).

Contudo tais resultados não podem ser obtidos de forma direta pelo *Output Viewer*. É necessário um tratamento dos resultados da série de tempo dos diferentes *Logs* utilizados. Esse procedimento é necessário, pois, uma vez que o resultado do comando *Log* indicando o tempo gasto por determinado caminhão em determinada fila é estimado e registrado como referente ao momento em que o caminhão saiu da fila, ele não pode ser usado de forma direta na contabilização do tempo de emissão em determinado período.

Por exemplo, no caso em que um caminhão entra na fila às 14:25 h e sai às 17:31 h, o *Log* resultará em 186 minutos. Tal *Log* será registrado no instante 17:31 h com o valor de 186 minutos (ou 3,1 horas). Caso tal valor seja tomado de forma direta, o resultado levará a crer que, durante o período de 17:00 h às 18:00 h, tal caminhão foi responsável por emitir durante 3,1 horas, o que é incorreto. A forma adequada de se considerar tal resultado é que, de 17:00 h às 18:00 h, tal caminhão foi responsável por emitir poluentes durante 31 minutos; de 16:00 h às 17:00 h, por 60 minutos; de 15:00 h às 16:00 h, por 60 minutos; e, finalmente, de 14:00 h às 15:00 h, por 35 minutos.

Esse processo deve ser feito para todo item da série de tempo de cada conjunto de *Logs* relativos a cada uma das filas. A partir dessa consideração, para cada período do dia (períodos de uma hora cada), é somado o total anual de horas em que os

caminhões ficaram parados, emitindo poluentes, mantendo-se a divisão por fila. Ao final, divide-se o resultado encontrado por 365 para que seja obtido o valor diário.

Dessa forma, o resultado encontrado será de "$x$" horas emitindo poluentes em determinado período de tempo dado em horas. O produto desse resultado pelo fator de emissão para determinado poluente indica a massa de poluentes emitida em determinado período do dia. Por exemplo, caso, no período de 16:00 h às 17:00 h, for estimado que o total de tempo gasto emitindo poluentes pelo conjunto de caminhões foi de 12 horas, pela Tabela 5.1, tem-se que, diariamente, a emissão de $NO_x$ no período de 16:00 h às 17:00 h é de $12 \times 33{,}763 = 405{,}156$ gramas.

Com esse processo, é possível estimar a emissão média para cada período do dia.

Como são milhares de valores para serem trabalhados em cada série de tempo, criou-se um código em FORTRAN para realizar tal processo (Anexo A).

Além dos indicadores ambientais, também são apresentados indicadores retirados diretamente do *Output Viewer* referentes às filas de caminhão, como o tamanho médio de cada uma das filas e o tempo médio gasto por cada caminhão em cada uma delas.

## 5.3 Análise de Cenários

Na avaliação ambiental presente no estudo de caso, além da considerada situação atual, diferentes cenários são propostos. O objetivo científico de tais cenários é verificar como as modificações são aplicadas ao modelo e se os resultados condizem com os cenários.

Do ponto de vista do estudo de caso, as alternativas a serem avaliadas visam à redução da fila de caminhões, principalmente a fila de acesso ao terminal. Obter tal melhoria é o principal objetivo do modelo em si. O modelo também deverá ser capaz de indicar qual a melhor alternativa do ponto de vista ambiental.

Os cenários propostos no estudo de caso envolvem modificações na infraestrutura e nas operações do terminal.

A comparação entre os cenários leva em conta, principalmente, o total anual de horas em que os caminhões gastaram nas filas e a variação, ao longo do dia, do tempo total de horas em que os caminhões passaram em filas.

# CAPÍTULO 6 – ESTUDO DE CASO

Neste capítulo, será descrito o estudo de caso conforme utilização da metodologia do estudo discriminada anteriormente. Inicia-se com a descrição do sistema estudado. Prossegue-se com a apresentação dos principais dados secundários e as considerações feitas. Após essa etapa, o processo de modelagem do sistema proposto é descrito. Por fim, são apresentados os diferentes cenários propostos e como as modificações propostas interferem no modelo.

O Anexo B traz todos os dados de entrada do modelo, enquanto que o Anexo C traz o passo-a-passo do processo de modelagem.

As principais informações referentes ao funcionamento do sistema e os dados secundários utilizados são provenientes do já citado Batista (2005) e do estudo de Carvalho e Boscardin (2010).

## 6.1 Descrição do Sistema

O terminal proposto possui duas interfaces onde ocorrem as trocas de carga, uma por terra e uma por mar. A interface terminal-terra acontece por via de duas portarias: uma de entrada de caminhões e uma de saída. Já a interface terminal-mar é feita por 3 diferentes píeres, cada um contabilizando 2 berços, o que resulta em um total de 6 berços de atracação. Acrescenta-se que os fluxos são bidirecionais em ambas as interfaces, uma vez que a carga entra e sai do porto por terra e mar.

É possível observar, na Figura 6.1, o fluxo que representa a chegada da carga a ser embarcada com destino às UMs (verde) e o fluxo que representa a destinação de qualquer tipo de material que retorne das UMs (vermelho).

Como pode ser visto, os caminhões que trazem os materiais a serem enviados às UMs são provenientes de duas diferentes fontes: caminhões provenientes de fornecedores externos ou caminhões provenientes do pátio de tubos. Os caminhões considerados como provenientes de fornecedores externos entram no sistema direto na fila de acesso ao porto. Já os caminhões provenientes do pátio de tubos operam fazendo rotas entre o mesmo e o terminal estudado.

A presença do pátio de tubos é importante devido a limitações na área de armazenagem do terminal. Considerando que o terminal possui uma área de

armazenamento pequena, o material depositado nele deve atender apenas as embarcações a serem carregadas iminentemente. Sendo assim, umas das normas internas do terminal é que a carga armazenada lá não pode ficar mais do que 24 horas aguardando o carregamento. Essa situação leva a um grande e constante tráfego de caminhões entre o terminal e o pátio de tubos, separados por 13 km.

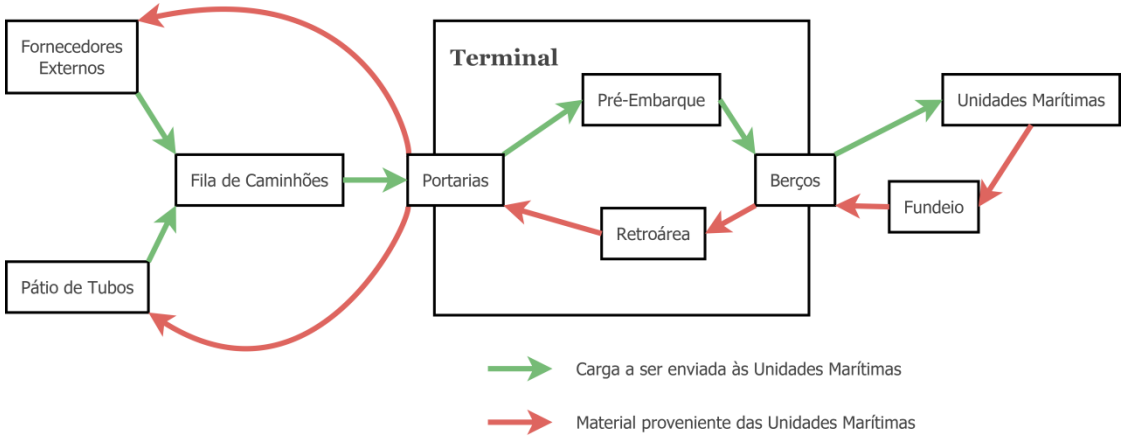



**Figura 6.1. Fluxos de chegada e saída de cargas do terminal estudado.**

Após passar pela fila de caminhões, chega-se até a portaria, onde a carga é vistoriada, e, então, o caminhão desloca-se até a área de pré-embarque. Nessa etapa, a carga aguarda até o momento de ser carregada nos berços de atracação assim que o respectivo navio atracar proveniente da área de fundeio, onde aguardava um berço livre. Uma vez que o navio tenha sido completamente carregado, ele vai em direção às UMs.

Entretanto, antes de carregado, o navio precisa ser descarregado, o que envolve o transporte desse material até a retroárea do porto. Os caminhões que retiram o material da retroárea são os mesmos que levaram a carga até o pré-embarque. Uma vez que o material tenha sido recolhido, o caminhão passa pela portaria de saída e retorna à sua origem.

As cargas são transportadas entre os berços, pré-embarque e retroárea por meio de caminhões internos do porto. Já o processo de carregamento/descarregamento dos materiais é realizado por guindastes nos berços e por empilhadeiras na área de pré-embarque e na retroárea.

Uma característica inerente a terminais de apoio marítimo como o estudado é a diversidade dos materiais operados em relação a outros terminais especializados como o de minério de ferro. As cargas podem ser divididas, no caso, em:

- granéis sólidos, como cimento e bentonita;
- granéis líquidos, como óleo diesel, água, fluidos de perfuração e completação;
- produtos químicos;
- tubos;
- cargas gerais, armazenadas em containers, caixas ou de outras formas, representam diversas cargas, sendo o rancho uma delas;

- cargas pesadas (DMA, na nomenclatura da Petrobras) representam as cargas pesadas ou de grande porte que necessitam, assim, de um processo de carregamento diferenciado.

A Figura 6.2 apresenta a configuração (*layout*) do terminal estudado, incluindo os seus 6 berços e todas as suas áreas de pré-embarque e retroáreas.

**Figura 6.2. Configuração do terminal estudado.**

A Figura 6.3 apresenta, mais detalhadamente, o processo de funcionamento do terminal em relação à movimentação de cargas. Dessa forma, o fluxograma apresentado representa o sistema modelado no ProModel. Também são apresentados os dados e informações principais a serem inseridos no modelo em cada processo. Tais dados e informações são apresentadas no item *a posteriori*.

Pode-se observar que o sistema pode ser dividido em 5 subsistemas que englobam processos importantes. São eles:

*Chegada da Carga:*

Como dito anteriormente, os materiais a serem transportados até as UMs chegam ao terminal por caminhões provenientes do pátio de tubos e provenientes de

fornecedores externos. Assim, pode-se considerar que tais caminhões constituem dois tipos diferentes de acordo com sua origem. Entretanto, todos esses caminhões responsáveis podem ser considerados como caminhões externos ao terminal. Essa última afirmação é importante, pois também existem caminhões que operam exclusivamente dentro do terminal, que podem ser considerados como caminhões internos.

Os caminhões provenientes do pátio de tubos operam em rota fixa entre o terminal e o pátio de forma ininterrupta. Tais caminhões nunca saem do sistema, repetindo sempre o mesmo ciclo. Sendo assim, o número de caminhões desse tipo no sistema é constante.

Já os caminhões provenientes de fornecedores externos operam no sistema de uma forma mais linear. Elas entram no sistema já na fila de caminhões e, após encerrarem suas operações, saem do sistema. O fluxo de entrada de tais caminhões no sistema varia ao longo do dia, sendo reduzido durante a madrugada.

Os caminhões provenientes de ambas as fontes encontram-se na fila de acesso ao terminal. A partir desse ponto, não é feita mais distinção entre as suas origens, considerando-se todos como caminhões externos ao terminal. Os caminhões externos aguardam sua vez de entrar no terminal através da portaria de entrada numa fila do tipo FIFO (*First In First Out* – primeiro que entra, primeiro que sai), que se constitui em um processo de atendimento de acordo com a ordem de chegada, sendo o mais antigo atendido primeiro.

Após chegar à portaria de entrada, que atende um caminhão por vez, é feita uma breve inspeção da documentação do caminhão e da carga transportada. De acordo com a carga transportada, ela é encaminhada ao acesso da área de pré-embarque correspondente. As várias áreas de pré-embarque foram agrupadas em três:

- pré-embarque de granéis (recebe tanto os granéis sólidos quanto os granéis líquidos);
- pré-embarque de tubos; e
- pré-embarque de cargas gerais, químicos e materiais pesados.

Antes de entrar na área de pré-embarque adequada, o caminhão aguarda em uma segunda fila, novamente, seguindo a regra FIFO. Essa fila é resultado de dois fatores importantes:

- a capacidade de armazenamento da respectiva área de pré-embarque não é infinita; logo se pode chegar ao seu limite;
- o número de equipamentos que fazem o descarregamento dos caminhões também não é considerado ilimitado, sendo assim os caminhões podem ter que aguardar tais equipamentos estarem disponíveis.

Quando o caminhão é verificado na portaria de entrada, caso tanto a respectiva área de pré-embarque quanto a sua fila tenham alcançado a capacidade máxima, o caminhão é enviado para fim da fila de acesso ao porto.

Após entrar na área de pré-embarque, o caminhão é descarregado, e, assim, a carga entra no sistema. O material descarregado aguarda até o momento de ser carregado em algum navio e ser enviado rumos às UMs, respeitando o limite de permanência na área de pré-embarque de 24 horas, como citado anteriormente.

Ressalta-se que os granéis que chegam ao terminal por meio de caminhões é apenas uma pequena parcela dos granéis movimentados, uma vez que substâncias como óleo diesel e água, que representam uma enorme parcela dos granéis movimentados, chegam ao terminal por meio de navios.

*Chegada dos Navios:*

Os navios entram no sistema já na área de fundeio, onde aguardam que algum berço de atracação fique vago. A regra adotada para a alocação dos navios é a FIFO, novamente.

A chegada dos navios no sistema acontece de acordo com 15 diferentes distribuições estatísticas que definem o intervalo de chegada para os 15 tipos de navios considerados no estudo. Esses 15 tipos de embarcações referem-se a suas diversas especialidades e funcionalidades. Tal divisão e as distribuições correspondentes foram obtidas em Batista (2005).

Assim que um dos 6 berços estiver livre, a próxima embarcação da fila direciona-se para o mesmo.

Devido a restrições na capacidade da área de pré-embarque de cargas gerais, químicos e materiais pesados, foi inserida uma limitação em que não se pode atracar mais de 4 navios do tipo *supply* ao mesmo tempo.

A situação modelada constitui uma simplificação do estudo citado acima. Para o conhecimento de configuração do sistema de uma forma mais complexa, o leitor pode verificar Batista (2005).

*Descarregamento:*

Após o navio ser atracado, e antes de ser carregado, é descarregado o material que retorna das UMs como resíduos e containers vazios. Tal material é levado até a retroárea por caminhões internos do terminal onde aguarda a sua retirada. A sua retirada é feita pelos caminhões externos

*Carregamento:*

Uma vez que a operação de descarregamento da embarcação tenha terminado, inicia-se o processo de seu carregamento. A quantidade de material carregado de cada tipo depende do tipo da embarcação. O transporte do material das áreas de pré-embarque até os berços é feita por caminhões internos do terminal.

Após a embarcação ser adequadamente carregada, ela se dirige às UMs e, assim, sai do sistema.

*Destinação dos Caminhões:*

Após serem descarregados na área de pré-embarque, os caminhões externos ao terminal têm duas opções. Caso exista algum material na retroárea a ser retirado do terminal, o caminhão dirige-se a ela, onde será carregado e, assim, irá em direção à portaria de saída. Caso a retroárea esteja vazia, o caminhão desloca-se diretamente para a portaria de saída.

Na portaria de saída, é atendido um caminhão por vez, onde são novamente inspecionados e documentados. Após ser liberado, ou o caminhão desloca-se em direção ao pátio de tubos, caso seja proveniente de lá, ou sai do sistema, caso seja proveniente de fornecedores externos.

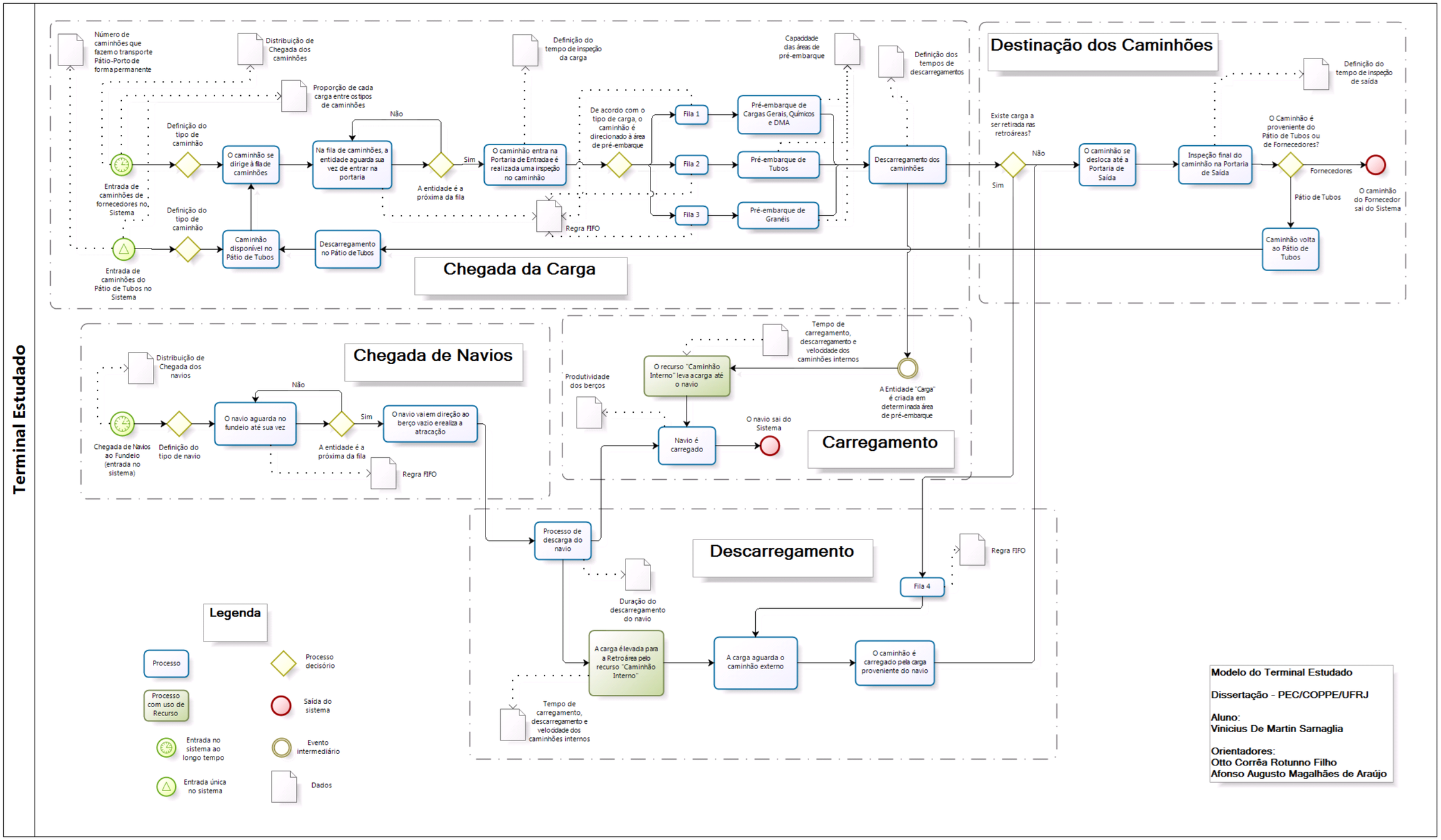



**Figura 6.3. Fluxograma do ciclo da carga no terminal estudado.**

## 6.2 Dados Secundários e Considerações Feitas

Como é possível observar na Figura 6.3, para o funcionamento do sistema, são necessárias uma série de dados e informações complementares ao mesmo. Tais dados ou tem origens em outros estudos ou foram considerações feitas neste estudo. Dessa forma, apresentam-se aqui os principais dados de entrada do modelo.

- Número de berços: 6;
- Total de navios que entram no sistema anualmente: 5076;
- Tipos de embarcações considerados: para simplificação do modelo, exceto em relação às distribuições de chegada das embarcações no sistema e ao tempo de deslocamento até fundeio aos berços, as embarcações foram divididas em 4 tipos ao invés de 15, da seguinte maneira:
    - *supply* - AHTS, PSV, PSV FLUIDO;
    - expressão - SA, SB;
    - expressinho - LH, MS, UT4;
    - outros - GENSUB, GEODE+GEODÉSIA, GFLUI, OUTROS, SB GR, SB OD, TS.
- Distribuição de chegada de navios: para a definição do intervalo entre as chegadas das embarcações, foram utilizadas distribuições estatísticas presentes em Batista (2005) (algumas foram ligeiramente alteradas devido a dúvidas na leitura das fórmulas).

**Tabela 6.1: Distribuições dos intervalos de chegada de navios divididos por tipo.**

**Fonte: adaptado de Batista, 2005**

| Tipo de Embarcação | Código no Modelo | Distribuição Adotada | Fórmula no ProModel |
|---|---|---|---|
| AHTS | 1 | Weibull(0,98;20,18)<br>Valor de forma = 0,98<br>Valor de escala = 201,8 | W(0.98, 20.18) |
| GENSUB | 2 | Beta(1,08;1,36) *610 + 12,55<br>Coef. de forma 1 = 1,08<br>Coef. de forma 2 = 1,36<br>Valor mínimo = 0<br>Valor máximo = 1 | B(1.08, 1.36, 0, 1)*610 +12.55 |
| GEODE+ GEODÉSIA | 3 | Weibull(1,31;360)<br>Valor de forma = 1,31<br>Valor de escala = 360 | W(1.31, 360) |
| GFLUI | 4 | Gaussiana Inversa (250;205)<br>Valor de forma = 250<br>Valor de escala = 205 | IG(250,205) |
| LH | 5 | Expon(36,07) | E(36.07) |

| Tipo de Embarcação | Código no Modelo | Distribuição Adotada | Fórmula no ProModel |
|---|---|---|---|
| | | Média = 36,07 | |
| MS | 6 | Lognormal(159;282)<br>Média = 159<br>Desvio Padrão = 282 | L(159, 282) |
| OUTROS | 7 | Weibull(1,42;800)<br>Valor de forma = 1,42<br>Valor de escala = 800 | W(1.42, 800) |
| PSV | 8 | Beta(0,94;3,22) *44<br>Coef. de forma 1 = 0,94<br>Coef. de forma 2 = 3,22<br>Valor mínimo = 0<br>Valor máximo = 1 | 44 * B(0.94, 3.22, 0, 1) |
| PSV FLUIDO | 9 | Weibull(1,18;45,39)<br>Valor de forma = 1,18<br>Valor de escala = 45,39 | W(1.18, 45.39) |
| SA | 10 | Lognormal(299;376)<br>Média = 299<br>Desvio Padrão = 376 | L(299, 376) |
| SB | 11 | Weibull(1,04;4,94)<br>Valor de forma = 1,04<br>Valor de escala = 4,94 | W(1.04, 4.95) |
| SB GR | 12 | PearsonV(3,80;641)<br>Valor de forma = 3,80<br>Valor de escala = 641 | P5(3.80, 641) |
| SB OD | 13 | Weibull(1,05;82,37)<br>Valor de forma = 1,05<br>Valor de escala = 82,37 | W(1.05, 82.37) |
| TS | 14 | PearsonVI(3,28;3,01;69,49)<br>Coef. de forma 1 = 3,28<br>Coef. de forma 2 = 3,01<br>Valor de escala = 69,49 | P6(3.28, 3.01, 69.49) |
| UT4 | 15 | Weibull(1,15;9,1)<br>Valor de forma = 1,15<br>Valor de escala = 9,1 | W(1.15, 9.1) |

- Capacidade de cada navio segundo o tipo:
  - Material descarregado:
    - *supply* - equivalente a 11 caminhões;
    - expressão - equivalente a 6 caminhões;
    - expressinho - equivalente a 2 caminhões;
    - outros - equivalente a 2 caminhões;
  - Material carregado:
    - *supply* - equivalente a 14 caminhões;
    - expressão - equivalente a 8 caminhões;
    - expressinho - equivalente a 3 caminhões de cargas gerais, químicos e materiais pesados;

        - outros - equivalente a 3 caminhões de cargas gerais, químicos e materiais pesados
- Número de caminhões internos: 13;
- Capacidade de atendimento das portarias de entrada e saída: 1 caminhão por vez;
- 3 áreas de pré-embarque;
    - pré-embarque de tubos: capacidade para armazenar carga de 6 caminhões e descarregar 1 de cada vez;
    - pré-embarque de cargas gerais, químicos e materiais pesados: capacidade para armazenar carga de 36 caminhões e descarregar 3 simultaneamente;
    - pré-embarque de granéis: capacidade para armazenar carga de 6 caminhões e descarregar 1 de cada vez;
- 1 retroárea com capacidade para armazenar carga de 100 caminhões (valor configurado para que a retroárea não seja um fator limitante) e carregar 1 de cada vez;
- Regras do tipo FIFO;
- Regime de operação: ininterrupto;
- Caminhões externos ao porto provenientes de duas (2) fontes:
    - fornecedores externos (taxa de chegada varia ao longo do dia): 64 por dia, sendo 4 transportando tubos, 5 transportando granéis, e 55 transportando cargas gerais, químicos e materiais pesados;
    - pátio de tubos (rotas constantes entre o pátio e terminal ao longo do dia): 17 operando dessa forma, sendo 3 transportando tubos, 1 transportando granéis, e 13 transportando cargas gerais, químicos e materiais pesados;
- Distribuição de chegada ao longo do dia dos caminhões provenientes de fornecedores: considerou-se que a taxa de chegada de caminhões de fornecedores externos é variável ao longo do dia, ou seja, existem alguns períodos do dia em que chegam mais caminhões de fornecedores externos do que em outros. Como curva base para este estudo, utilizou-se a curva presente no estudo de D. Tsitsamis e D. Vlachos referenciado no item 2.4. Entretanto, algumas modificações foram necessárias para se chegar à Figura 6.4:
    - a curva base não apresentava taxa de chegada de caminhões para alguns períodos, pois o porto original não funciona em tais horários; sendo assim, foi feita uma extrapolação com base em linhas de tendência (ajuste exponencial foi o que melhor se ajustou);
    - uma vez extrapolada, a curva foi modificada em unidade de "porcentagem do número de caminhões que chegam naquele período em relação ao número total diário" em vez do "número de caminhões que chegam em determinado período";
    - optou-se por modificar o intervalo de cada período para uma hora em vez de 15 minutos;
    - foi utilizada a mesma curva para todos os tipos de cargas.

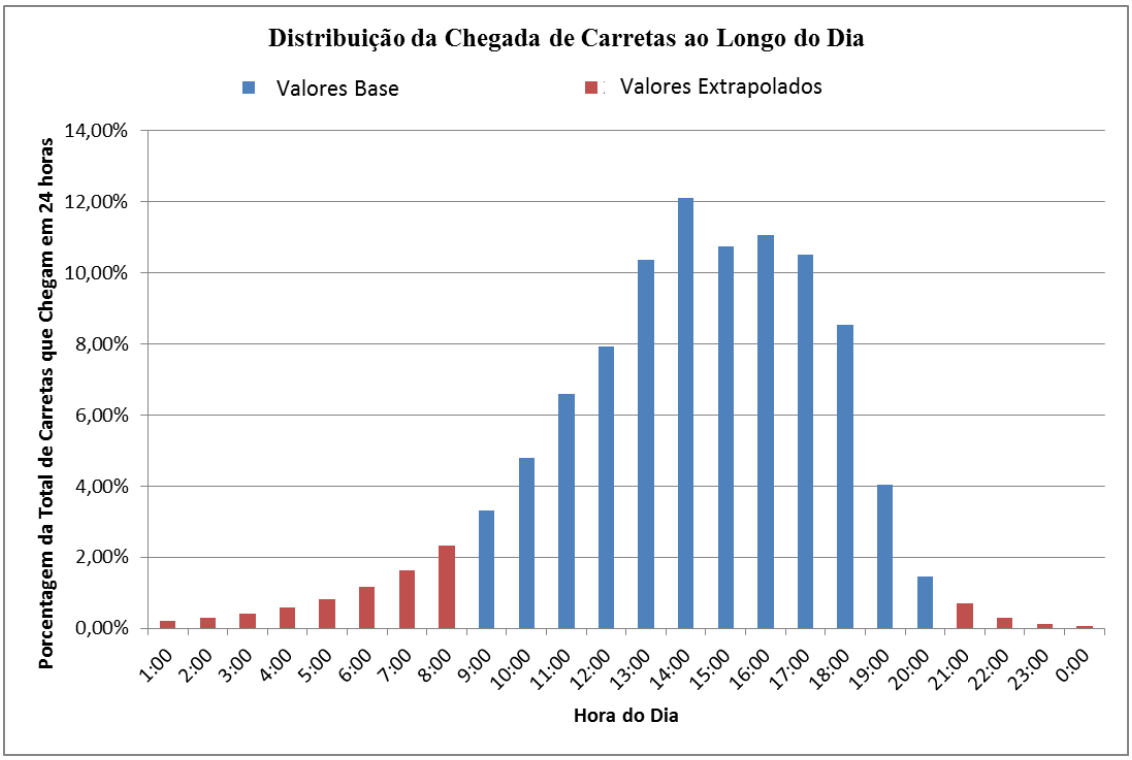



**Figura 6.4. Distribuição da chegada de caminhões de fornecedores externos ao longo do dia.**

## 6.3 Processo de Modelagem

Este item visa a apresentar os elementos do modelo do cenário inicial. Por fim, são destacadas as modificações necessárias para implementação no modelo para que os diferentes cenários fossem estudados.

### 6.3.1 Modelagem da Situação Atual

O modelo construído no ProModel visa levar em consideração apenas os elementos mais relevantes para o cálculo do principal indicador utilizado na estimativa da emissão de poluentes: tempo gasto pelos caminhões na fila. Dessa forma, algumas operações não foram simuladas e outras foram agrupadas, assim como alguns locais do terminal. O escopo do modelo envolve o processo de chegada do caminhão ao terminal e o carregamento de sua carga no navio. Como o volume armazenado nas áreas de pré-embarque e na retroárea (locais onde os caminhões operam) está diretamente ligada ao carregamento dos navios, o processo de chegada e operação dos navios precisou ser modelada.

A construção do modelo inicia-se com o posicionamento dos diversos locais do sistema que representam as regiões onde algum tipo de operação acontece, como: filas, portarias, áreas de pré-embarque, retroáreas, berços, fundeio, entre outras. Após essa etapa, são configuradas as entidades, que são elementos que sofrem algum tipo de operação no sistema, como caminhões, cargas e navios.

Os locais são ligados entre si de acordo com o fluxo de movimentação das entidades no sistema. A criação de um processo implica que alguma entidade está em um local onde pode sofrer alguma operação e irá se locomover para algum outro local ou sairá do sistema.

As entidades comumente deslocam-se por algum tipo de rede que indica o caminho feito, embora a indicação de um deslocamento possa ocorrer sem o seu auxílio. No sistema construído, o arruamento do terminal é representado por uma rede. Em algumas ocasiões, o deslocamento pode ser feito com o auxílio de recursos que realizam operações sob as entidades. As cargas do terminal são deslocadas dentro dele pelo recurso caminhão interno. A Figura 6.5 representa a configuração (*layout*) do terminal no ProModel com os locais (quadrados vermelhos com um símbolo em cruz branco) e a rede arruamento em azul.

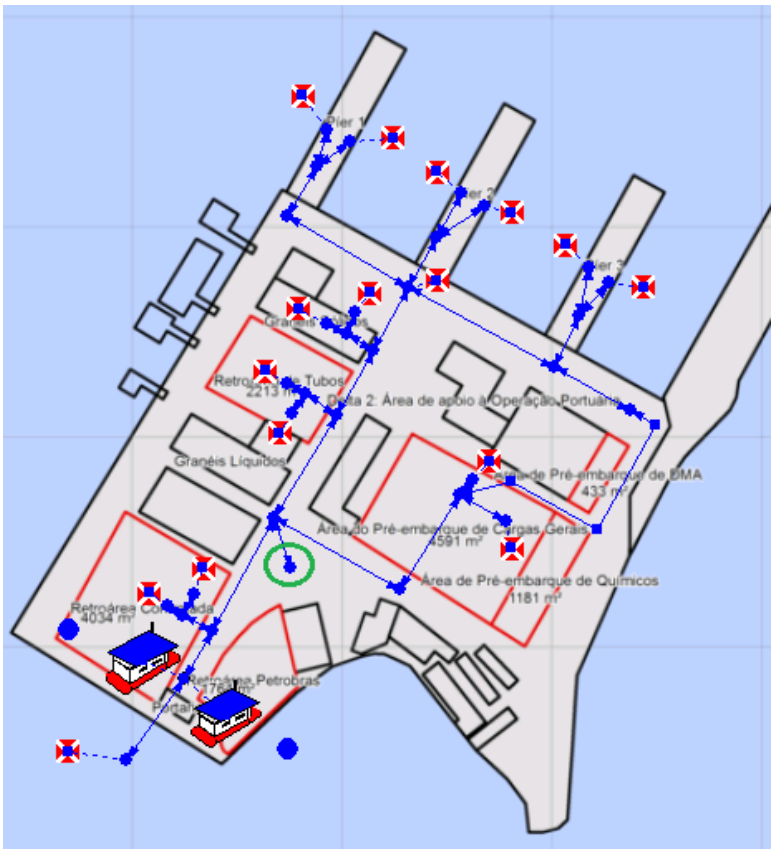



**Figura 6.5. Posicionamento no *layout* da rede que representa o arruamento do terminal estudado**

Como auxílio para a construção do modelo, elementos como variáveis e atributos foram criados. Variáveis, como o próprio nome diz, são parâmetros globais

que podem ter seu valor modificado e servem para controlar ou monitorar o sistema, enquanto que atributos são referentes a locais ou entidades.

A lógica de funcionamento do terminal é bem representada pela construção dos processos no ProModel. Os processos tem início no momento em que alguma entidade entra ou é criada no sistema. Pode-se considerar que o modelo tem dois inícios diferentes: a entrada de navios e a entrada de caminhões no sistema. Todos os outros processos que ocorrem no modelo são decorrentes dessas entradas. As setas pretas da Figura 6.6 representam os diversos processos do sistema.

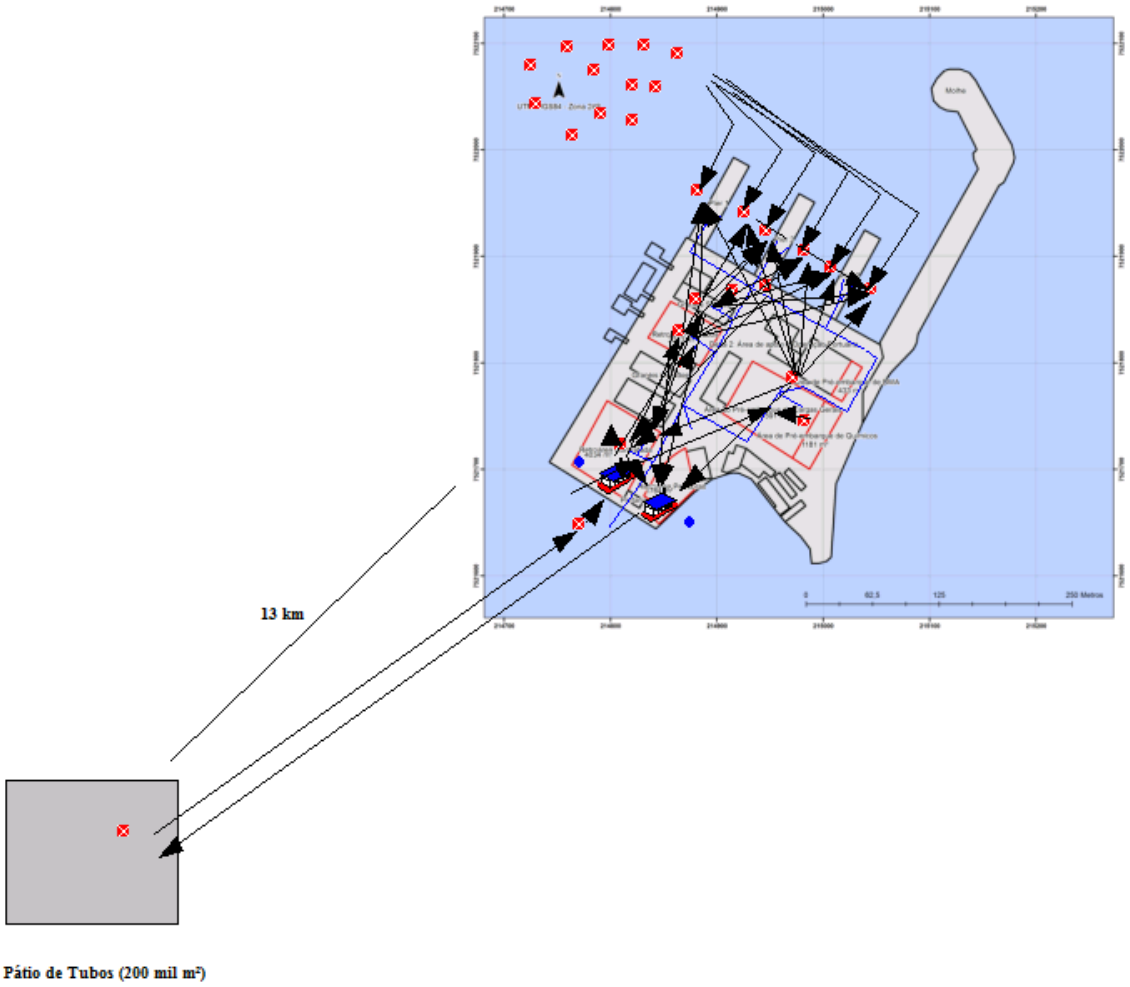



**Figura 6.6. Processos existentes no sistema.**

A entrada de navios no sistema acontece no local denominado fundeio, de acordo com uma distribuição estatística pré-determinada. Tal distribuição é correspondente ao tipo do navio. Os 15 tipos de navios existentes no sistema são representados por um atributo que varia seu valor de acordo com o tipo. Após a entrada, a entidade navio aguarda no local fundeio até a oportunidade de atracar em um dos 6 berços do terminal, representados por 6 diferentes locais.

Após a entidade navio entrar no terminal, o atributo que determina o seu tipo indicará o volume de carga a ser descarregado e carregado. No processo de

descarregamento dos navios, entidades chamadas de “carga descarregada” são criadas em um local que representa uma área de descarga próxima aos berços (apenas um local representa as 6 áreas de descarregamento dos 6 berços). Tais entidades são transportadas através da rede arruamento pelo recurso “caminhão interno” até o local denominado retroárea. Após completar o descarregamento equivalente ao seu respectivo tipo, o navio aguarda o seu carregamento. Novamente, o transporte da entidade carga até os berços é feito pelo recurso caminhão interno. Após terminar sua operação, a entidade navio sai do sistema.

A entrada da entidade caminhão no sistema é feita de em dois locais diferentes. No local “pátio de tubos”, a entrada no sistema acontece só uma vez, já que as entidades que têm origem lá não saem do sistema. Por outro lado, os caminhões considerados como oriundos de fornecedores externos entram no sistema durante todo o tempo de simulação, segundo uma distribuição estatística que determina o horário do dia em que chegará uma maior quantidade de caminhões, sendo que a quantidade que chega por dia é constante. Ao contrário dos caminhões provenientes do pátio de tubos, eles entram no sistema diretamente no local “fila de caminhões”, que representa a fila de acesso ao terminal.

Os caminhões, independente da origem, são representados pela mesma entidade, entretanto possuem um atributo que define sua origem e um atributo que define o tipo de carga transportada. Todos os caminhões aguardam, na fila de caminhões, a oportunidade de ingressar no terminal através do local “portaria de entrada”. É, nessa fila, que os caminhões gastam a maior parte do tempo, uma vez que, independente da carga, ele passará por ela. O tempo gasto por cada caminhão é medido por meio de funções do ProModel que registram o tempo de entrada e o tempo de saída da fila, conforme metodologia introduzida no item 5.2.

Da fila de caminhões, a entidade caminhão desloca-se até a portaria de entrada, onde, de acordo com o seu atributo, que indica o tipo de carga transportada, é encaminhada a uma das áreas de pré-embarque. A partir desse momento, todo o deslocamento feito pelos caminhões é feito seguindo a rede arruamento. A entidade caminhão pode ser enviada para três diferentes locais que representam filas de acesso às áreas de pré-embarque do terminal. No total, as áreas de pré-embarque são representadas por três locais, sendo que um é utilizado para a carga de granéis, um para tubos e um para cargas gerais, químicos e materiais pesados. O modelo impõe algumas regras para que a entidade saia de uma fila e entre em algum local que represente uma área de pré-embarque. Por meio de funções do sistema, o primeiro caminhão da fila deve aguardar até que a área de pré-embarque respectiva a sua carga tenha algum espaço vago para receber a carga. Além disso, outras funções determinam a quantidade de entidades caminhão na área de pré-embarque de destino. Caso tal quantidade seja maior que o limite estabelecido, o primeiro caminhão da fila aguarda uma mudança na situação. Novamente, funções do sistema medem o tempo gasto em cada uma das filas.

Uma vez que a entidade caminhão esteja no local que representa a área de pré-embarque pertinente, ela aguarda certo tempo para que o descarregamento seja simulado, e cria uma nova entidade no sistema. A entidade nova representa a carga que será enviada aos navios e a mesma possui a tipologia conforme o atributo da entidade caminhão que a criou. A entidade carga aguarda no local até que seja requisitada pela entidade navio no local berço. Como dito anteriormente, esse deslocamento é realizado pelo recurso caminhão interno. Vale ressaltar que, ao criar a entidade carga, a entidade caminhão continua existindo, mas possui um destino diferente do que a criada.

A entidade caminhão utiliza funções do sistema para verificar se o local retroárea está vazio ou possui algo a ser retirado. Caso esteja vazio, a entidade caminhão desloca-se até o local "portaria de saída". Caso contrário, é deslocada até o local que representa a fila de acesso a retroárea. O processo em tal fila é semelhante ao processo explicado acima para os acessos às áreas de pré-embarque, incluindo a medição do tempo. A operação da entidade caminhão no local retroárea resume-se a se unir à entidade carga descarregada, introduzida acima. A partir desse momento, passa a existir apenas a entidade caminhão com a entidade carga descarregada anexada. Feito isso, o caminhão desloca-se ao local portaria de saída.

A partir da portaria de saída, caso o atributo do caminhão indique que ele é proveniente de fornecedores externos, a entidade sai do sistema. Caso contrário, é enviada para voltar ao local pátio de tubos e assim completar sua rota. Ao chegar ao local pátio de tubos, a entidade caminhão não sai do sistema; ela se dissocia da entidade carga descarregada e desloca-se novamente ao local fila de caminhões, iniciando uma nova rota. Já a entidade carga descarregada sai do sistema.

A entidade "tempo" tem a função apenas de zerar algumas variáveis ao entrar no sistema no fim do período de aquecimento do modelo.

A Tabela 6.2 apresenta todos os elementos contidos no modelo.

**Tabela 6.2: Elementos do modelo.**

| Tipo de elemento | Elemento |
|---|---|
| Local | Portaria de Entrada |
| | Portaria de Saída |
| | Pátio de Tubos |
| | Fila de caminhões no Acesso ao Terminal |
| | Área de Fundeio dos Navios |
| | Berço de Atracação 1 |
| | Berço de Atracação 2 |
| | Berço de Atracação 3 |
| | Berço de Atracação 4 |
| | Berço de Atracação 5 |
| | Berço de Atracação 6 |
| | Área de Pré-Embarque de Tubos |
| | Área de Pré-Embarque de Cargas Gerais, Químicos e DMA |

| Tipo de elemento | Elemento |
|---|---|
| | Área de Pré-Embarque de Granéis Líquidos e Sólidos |
| | Área de Descarga dos Navios |
| | Retroáreas |
| | Fila no Acesso à Área de Pré-Embarque de Tubos |
| | Fila no Acesso à Área de Pré-Embarque de Cargas Gerais, Químicos e DMA |
| | Fila no Acesso à Área de Pré-Embarque de Granéis Líquidos e Sólidos |
| | Fila no Acesso às Retroáreas |
| Rede | Arruamento |
| Entidade | Caminhão Externo |
| | Navio |
| | Carga |
| | Carga Descarregada |
| | Tempo |
| Recurso | Caminhões Internos |
| Atributo | Tipo de Navio |
| | Origem do Caminhão |
| | Tipologia da Carga |
| | Tipo da Carga Transportada pelo Caminhão |
| | Registro do Tempo de Entrada e de Saída do Caminhão na Fila |

### 6.3.2 Modelagem dos Cenários

Neste item, são apresentadas as modificações necessárias no modelo inicial para que o mesmo passe a representar as intervenções propostas.

#### 6.3.2.1 Cenário 1

O Cenário 1 representa a hipótese de que os caminhões provenientes de fornecedores externos chegam, de forma constante ao longo do dia, através de um sistema de agendamento de horários, por exemplo. Ou seja, toma-se o total de caminhões provenientes de fornecedores externos que chegam ao terminal diariamente dividido pelo respectivo tipo de carga. Após essa etapa, estima-se o intervalo de chegada de cada tipo de caminhão:

$$IntervalodeChegada_i = \frac{24\ horas}{NúmerodeCarretas_i queChegamDiariamente} \quad \textbf{(6.1)}$$

onde $i$ representa o tipo de carga transportada.

Dessa forma, o processo de entrada é alterado. Embora os caminhões provenientes do pátio de tubos tenham seu comportamento inalterado, o intervalo de chegada de caminhões externos torna-se um valor constante de acordo com o seu tipo de carga:

- tubos - 6 horas;
- cargas gerais, químicos e DMA - 0,436 horas;
- granéis - 4,8 horas.

#### 6.3.2.2 Cenário 2

O Cenário 2 representa uma mudança estrutural nas áreas de pré-embarque e portarias do terminal. A capacidade de atendimento das portarias foi duplicada, assim possibilitando o atendimento de dois caminhões de forma simultânea. Já as áreas de pré-embarque tiveram sua capacidade aumentada em aproximadamente 20%.

Sendo assim, mudanças nos locais foram necessárias. As capacidades da portaria de entrada e da portaria de saída foram modificadas para 2, enquanto que as áreas de pré-embarque tiveram suas capacidades modificadas para:

- tubos - 7;
- cargas gerais, químicos e DMA - 44;
- granéis - 7.

As filas também tiveram seus tamanhos modificados, resultando em:

- fila de Tubos - 7;
- fila de cargas gerais, químicos e DMA - 10;
- fila de granéis - 7.

Por fim, considerou-se que, na área de pré-embarque de cargas gerais, químicos e DMA, é possível fazer a descarga de 5 caminhões de forma simultânea em relação a 3 na situação atual do terminal.

## 6.4 Determinação de Configurações da Simulação

Neste item, é aplicada a metodologia proposta nos itens 5.1.2 e 5.1.3, que remete à determinação do período de simulação, tempo de aquecimento do modelo e número de replicações do mesmo.

Todos os itens avaliados aqui são referentes à situação atual. Entretanto, consideraram-se os resultados válidos para a aplicação em todos os cenários.

### 6.4.1 Determinação da Extensão do Período de Aquecimento e Período de Simulação

A Figura 6.8 apresenta a variação do número de navios na área de fundeio (média semanal) ao longo do tempo. É possível observar que, nos 5 anos simulados, os resultados não se modificam de forma considerável ano após ano. Esse teste é importante para checar se o modelo não apresenta uma tendência de crescimento ou decrescimento irreal.

Dessa forma, optou-se por escolher um tempo de simulação de um ano, pois se acredita que a simulação de períodos maiores levaria a um gasto computacional não justificável. O fato de alguns picos no tamanho da fila de navios aparecerem após o primeiro ano de simulação não é ignorado, apenas não são considerados muito superiores aos registrados no primeiro ano. De toda forma, o estudo de tais picos é melhor analisado via diferentes replicações do modelo, utilizando-se diferentes valores iniciais da semente responsável pela definição dos números aleatórios usados no modelo (assunto melhor discutido no item 5.1.3).

Tem-se, ainda, o fato de que diversos IDOS - indicadores de desempenho operacionais (item 4.2.2) - são caracterizados pela massa de determinado poluente emitido anualmente. Dessa forma, a simulação do sistema por um ano torna a análise de tais indicadores mais intuitiva.

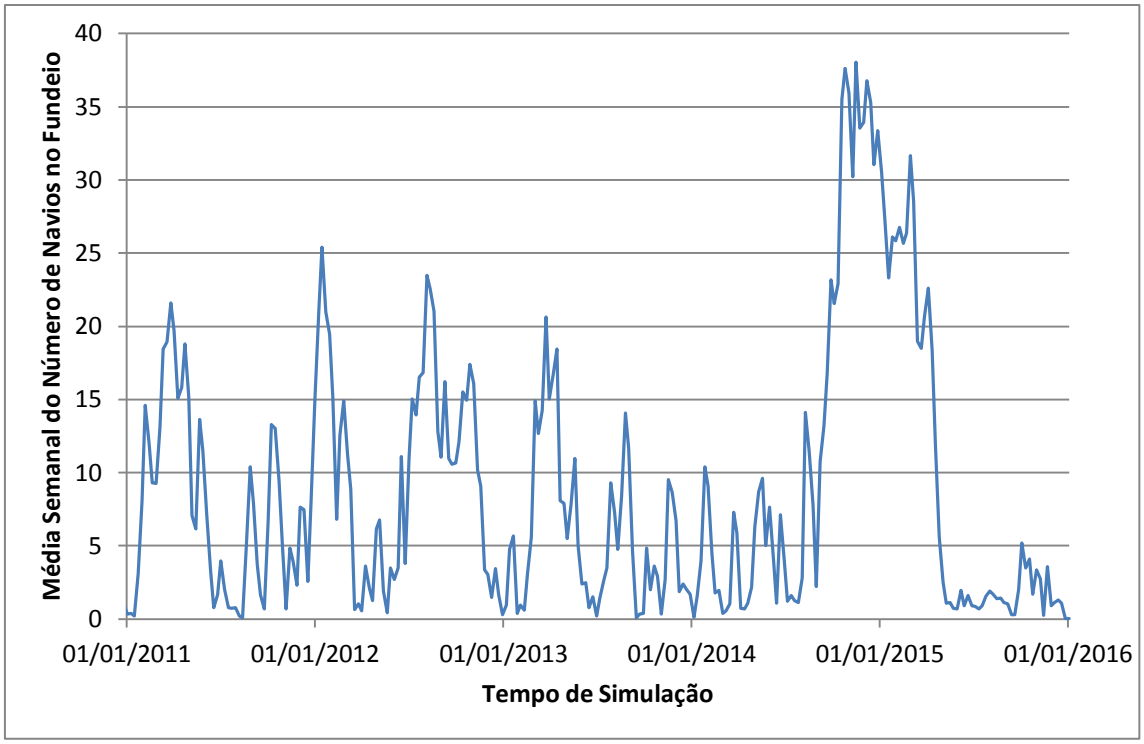



**Figura 6.7. Média semanal do número de navios no fundeio em relação ao tempo de simulação em um modelo na fase de testes.**

A Figura 6.8 apresenta a variação do número de navios na área de fundeio (média horária) ao longo do tempo. É possível observar o efeito da condição inicial na simulação do sistema, observando-se que a fila de navios no fundeio inicia-se vazia e cresce durante o período inicial. Esse crescimento elevado pode ser explicado pelo fato de que a simulação inicia-se com a as áreas de armazenamento vazias; dessa forma, em certos momentos, pode ocorrer de o navio estar ancorado à espera de cargas ainda inexistentes, o que eleva o seu tempo de permanência no terminal, e, por conseguinte aumenta o tamanho da fila de navios.

Pode-se observar que, após um pouco mais de um mês simulado, o modelo começa a apresentar um padrão de comportamento semelhante ao resto da simulação. Dessa forma, o tempo de aquecimento de um mês apresenta-se adequado. Adotando-se uma margem de segurança, ele será considerado de quatro meses.

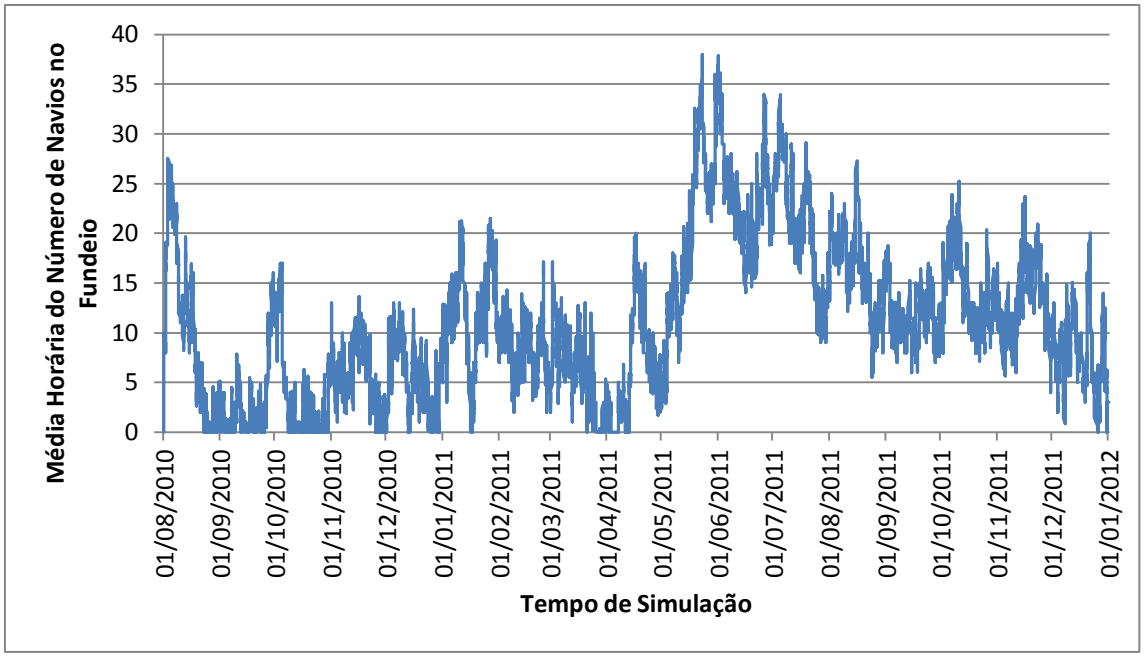



**Figura 6.8. Média horária do número de navios no fundeio em relação ao tempo de simulação em um modelo na fase de testes.**

### 6.4.2 Determinação do Número de Replicações

A Tabela 6.3 indica os resultados de 10 replicações do modelo ainda na fase de testes.

**Tabela 6.3. Resultados das simulações-piloto.**

| Replicação | Média Anual de Número de Navios Atracados |
|---|---|
| 1 | 8,296214 |
| 2 | 12,05567 |
| 3 | 5,294246 |
| 4 | 7,726254 |
| 5 | 10,89872 |
| 6 | 10,21222 |
| 7 | 5,812155 |
| 8 | 17,9464 |
| 9 | 5,824079 |
| 10 | 14,2511 |

Considerou-se um nível de confiança de 95% $(100(1-\alpha))$ e uma precisão desejada nos resultados de 2 $(e_0^*)$ navios.

Prosseguindo, é feita a estimativa do $e_0$. Ela se inicia com a estimativa da distribuição t de *student* conforme a precisão desejada e o grau de liberdade. Como o número de replicações foi igual a 10, tem-se o grau de liberdade como 9. Como o nível de confiança desejado foi igual a 95%, tem-se $\alpha = 0{,}05$. Com isso:

$$t_{n-1,\alpha/2} = 2{,}26216 \tag{6.2}$$

O desvio-padrão da amostra é obtido via equação abaixo:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n-1}} \cong 4{,}09886 \tag{6.3}$$

Aplicando-se os valores encontrados, tem-se:

$$e_0 = t_{n-1,\alpha/2}\frac{S_x}{\sqrt{n}} = 2{,}26216\frac{4{,}09886}{\sqrt{10}} \cong 2{,}93215 \tag{6.4}$$

Como o $e_0$ encontrado foi superior a 2, conclui-se que é necessário um número maior de replicações para se chegar ao nível de confiabilidade desejado. O número de replicações necessárias para se chegar ao objetivo é obtido via a seguinte equação:

$$n^* = \left[n\left(\frac{e_0}{e_0^*}\right)^2\right] = \left[10\left(\frac{2{,}93215}{2}\right)^2\right] \cong 21{,}49369 \tag{6.5}$$

Dessa forma, tem-se que, para o nível de confiabilidade esperado, são necessárias aproximadamente **22** replicações para o modelo.

Realizadas as 22 replicações, a metodologia foi aplicada novamente para se confirmar se a precisão encontrada foi a desejada.

**Tabela 6.4. Resultados das simulações considerando-se a situação atual.**

| Replicação | Média Anual de Número de Navios Atracados |
|---|---|
| 1 | 7,455535936 |
| 2 | 10,88756092 |
| 3 | 6,604308553 |
| 4 | 13,31837246 |
| 5 | 8,05523869 |
| 6 | 12,15591298 |
| 7 | 5,891229546 |
| 8 | 21,33775466 |
| 9 | 8,488923835 |
| 10 | 2,74805588 |

| Replicação | Média Anual de Número de Navios Atracados |
|---|---|
| 11 | 3,223880603 |
| 12 | 8,663981288 |
| 13 | 7,64422463 |
| 14 | 4,621887644 |
| 15 | 10,99590398 |
| 16 | 6,322229565 |
| 17 | 16,52283116 |
| 18 | 7,398923544 |
| 19 | 10,25419195 |
| 20 | 5,901754667 |
| 21 | 3,932938327 |
| 22 | 9,388848967 |

Considerando-se agora um grau de liberdade de 21, tem-se:

$$t_{n-1,\alpha/2} = 2{,}07961 \tag{6.6}$$

O desvio-padrão obtido é:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n-1}} \cong 4{,}37783 \tag{6.7}$$

Aplicando-se os valores encontrados, tem-se:

$$e_0 = t_{n-1,\alpha/2}\frac{S_x}{\sqrt{n}} = 2{,}07961\frac{4{,}37783}{\sqrt{22}} \cong 1{,}94103 \tag{6.8}$$

Como o $e_0$ encontrado foi inferior a 2, considera-se que as 22 replicações foram suficientes.

# CAPÍTULO 7 – ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, os resultados do estudo de caso proposto no Capítulo 6 são apresentados e discutidos. Inicialmente, são feitas considerações sobre a situação atual, e, em seguida, compara-se tal situação com diferentes cenários.

Os resultados das simulações são apresentados levando-se em conta variáveis relacionadas à operação e relacionadas à emissão de poluentes na atmosfera. As variáveis relacionadas à operação são:

- tempo médio de espera em cada fila de caminhões;
- tamanho médio de cada fila de caminhões;
- tamanho máximo da fila de acesso;
- tamanho médio da fila de navios;
- tamanho máximo da fila de navios;
- taxa de ocupação dos berços;
- número de navios ingressos;
- horas gastas nas filas anualmente;
- número de horas que os caminhões ficaram emitindo poluentes de acordo com o período do dia.

Já em relação às emissões, as variáveis foram:

- emissão anual de cada poluente;
- emissão horária de acordo com o período do dia.

Ressalta-se que as variáveis que envolvem o tempo gasto na fila estão diretamente relacionadas à estimativa das emissões.

Os resultados são oriundos da média das 22 replicações preconizadas no item 5.1.3, e, em sua maioria, são obtidos facilmente a partir do código computacional *Output Viewer* que acompanha o pacote do ProModel. Um maior esforço é necessário para a estimativa horária, já que os dados necessitam de um pós-tratamento (item 5.1.4).

Alguns indicadores, como o número de navios que entram no sistema, são avaliados apenas na situação atual do sistema, pois são utilizados na validação do modelo e não são alterados nos cenários.

## 7.1 Situação Atual

A estimativa de indicadores operacionais é importante na validação e verificação do modelo construído. O primeiro indicador avaliado é o número médio de navios na fila. Compara-se tal resultado com os dados reais contidos em Batista (2005). O resultado não necessita, obrigatoriamente, ser próximo aos dados reais, uma vez que o processo de chegada e carregamento dos navios não foi detalhado em profundidade como em Batista (2005). Entretanto, um valor na mesma ordem de grandeza mostra que o terminal fictício estudado apresenta semelhanças a um terminal real, o que contribui na validação do modelo. As avaliações do tamanho máximo da fila de navios no fundeio e o número de navios totais e de cada tipo que entram no sistema seguem os mesmos preceitos.

Como pode ser visto na Tabela 7.1, os resultados encontrados em relação ao tamanho da fila de são bem próximos aos valores do terminal representativo em que este estudo se baseou.

**Tabela 7.1. Tamanho médio e máximo da fila de navios (Situação Atual).**

| Fonte dos resultados | Tamanho médio da fila de navios | | Tamanho máximo da fila de navios | |
|---|---|---|---|---|
| | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão |
| Dados reais | 9,42 | 4,49 | 30 | - |
| Simulação da Situação Atual | 8,72 | 4,38 | 32,82 | 8,36 |

O processo descrito no item 5.1.3 foi aplicado aos resultados do modelo para o indicador referente ao número médio de navios na fila, e foi confirmado que 22 replicações são suficientes para a precisão desejada.

A Tabela 7.2 representa indicadores do número entradas de navios no sistema por tipo e no total. Como pode ser visto, os erros encontrados para tais indicadores não ultrapassam 20%.

**Tabela 7.2. Entrada de navios no sistema (Situação Atual).**

| Entrada de navios no sistema | Dados reais | Simulação da Situação Atual | | Erro (%) |
|---|---|---|---|---|
| | | Média | Desvio Padrão | |
| AHTS | 430 | 436,55 | 21,51 | -1,52 |
| GENSUB | 27 | 31,32 | 4,22 | -15,99 |

| Entrada de navios no sistema | Dados reais | Simulação da Situação Atual | | Erro (%) |
|---|---|---|---|---|
| | | Média | Desvio Padrão | |
| GEODE+GEODÉSIA | 26 | 25,14 | 4,26 | 3,32 |
| GFLUI | 43 | 45,18 | 4,55 | -5,07 |
| LH | 243 | 239,82 | 12,05 | 1,31 |
| MS | 61 | 53,09 | 15,14 | 12,97 |
| OUTROS | 14 | 11,23 | 1,77 | 19,81 |
| PSV | 915 | 883,36 | 17,97 | 3,46 |
| PSV FLUIDO | 203 | 204,00 | 12,78 | -0,49 |
| SA | 35 | 28,64 | 7,38 | 18,18 |
| SB | 1823 | 1788,95 | 50,11 | 1,87 |
| SB GR | 39 | 39,68 | 2,80 | -1,75 |
| SB OD | 107 | 110,64 | 10,75 | -3,40 |
| TS | 80 | 76,59 | 10,89 | 4,26 |
| UT4 | 1030 | 1006,86 | 28,29 | 2,25 |
| Total de navios | 5076 | 4981,05 | 35,95 | 1,87 |

A taxa de ocupação dos berços é, em média, de 83,85%, o que pode ser considerada alta. A taxa de ocupação de cada berço pode ser vista na Tabela 7.3.

**Tabela 7.3. Taxa de ocupação dos berços (Situação Atual).**

| Berço | Taxa de Ocupação Média | Desvio Padrão |
|---|---|---|
| Berço1 | 86,84 | 1,39 |
| Berço 2 | 86,07 | 1,91 |
| Berço 3 | 85,07 | 2,44 |
| Berço 4 | 83,67 | 2,91 |
| Berço 5 | 81,88 | 3,36 |
| Berço 6 | 79,55 | 4,40 |

Apresentam-se, aqui, os indicadores relacionados às filas de caminhões em relação ao terminal. Infelizmente, tais resultados não podem ser validados devido à ausência de dados reais na literatura. Mesmo assim, foi realizada uma verificação dos resultados para conferir se estão condizentes com o esperado e em uma ordem de grandeza adequada (Tabela 7.4).

**Tabela 7.4. Indicadores relacionados às filas de caminhões (Situação Atual).**

| Indicador | Média | Desvio Padrão |
|---|---|---|
| Tamanho máximo da fila de acesso ao terminal | 66,09 | 10,26 |
| Tamanho médio da fila de acesso ao terminal | 5,02 | 1,05 |
| Tamanho médio da fila de acesso à área de pré-embarque de tubos | 0,75 | 0,06 |
| Tamanho médio da fila de acesso à área de pré-embarque de cargas gerais, químicos e DMA | 2,44 | 0,27 |
| Tamanho médio da fila de acesso à área de pré-embarque de granéis | 0,41 | 0,18 |
| Tamanho médio da fila de acesso à retroárea | 0,97 | 0,04 |
| Tempo médio gasto por cada caminhão na fila de acesso ao terminal (horas) | 0,78 | 0,14 |
| Tempo médio gasto por cada caminhão na fila de acesso à área de pré-embarque de tubos (horas) | 1,35 | 0,13 |
| Tempo médio gasto por cada caminhão na fila de acesso à área de pré-embarque de cargas gerais, químicos e DMA (horas) | 0,60 | 0,07 |
| Tempo médio gasto por cada caminhão na fila de acesso à área de pré-embarque de granéis (horas) | 1,18 | 0,55 |
| Tempo médio gasto por cada caminhão na fila de acesso à retroárea (horas) | 0,27 | 0,01 |

A estimativa do número de horas totais em que os caminhões ficaram parados em cada fila não é dada automaticamente pelo produto da média de tempo gasto com o número de ocorrências. Essa ocorrência acontece pelo fato de que, nas filas de acesso às áreas de pré-embarque e retroárea, algumas vezes, o caminhão pode esperar na fila por períodos longuíssimos devido à lotação do local de destino. Como o deslocamento do caminhão nessas filas não é do tipo “anda e pára”, já que uma movimentação na fila pode demorar horas e horas, não é factível o caminhão ficar com o motor funcionando em marcha-lenta por todo esse período. Dessa forma, considerou-se que, nas filas de acesso às áreas de pré-embarque, após uma espera de 5 horas, o motor é desligado; já na fila da retroárea, esse tempo é de 8 horas.

Longos períodos de motor funcionando em marcha-lenta são factíveis em algumas situações, como em regiões de clima frio, onde é necessário manter o aquecedor ligado. Entretanto, essa abordagem não foi considerada neste estudo.

Como dito no item 5.1.4, tais horas são convertidas em emissão de poluentes de acordo com fatores de emissão presentes na literatura. O resultado das emissões anuais pode ser visto na Tabela 7.5.

**Tabela 7.5. Emissão anual dos poluentes avaliados (Situação Atual).**

| Local / Indicador | Horas emitindo anualmente | | Emissão de CO (ton.) | | Emissão de COV (ton.) | | Emissão de NOx (ton.) | | Emissão de HT (ton.) | | Emissão de $MP_{2,5}$(ton.) | | Emissão de $MP_{10}$(ton.) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão |
| Fila de acesso ao terminal | 44027,049 | 9221,670 | 1128,325 | 236,333 | 152,113 | 31,861 | 1486,485 | 311,351 | 154,227 | 32,304 | 48,430 | 10,144 | 52,656 | 11,029 |
| Fila de acesso à área de pré-embarque de tubos | 5257,263 | 195,297 | 134,733 | 5,005 | 18,164 | 0,675 | 177,501 | 6,594 | 18,416 | 0,684 | 5,783 | 0,215 | 6,288 | 0,234 |
| Fila de acesso à área de pré-embarque de cargas gerais, químicos e DMA | 20514,126 | 2044,827 | 525,736 | 52,405 | 70,876 | 7,065 | 692,618 | 69,039 | 71,861 | 7,163 | 22,566 | 2,249 | 24,535 | 2,446 |
| Fila de acesso à área de pré-embarque de granéis | 1867,489 | 649,448 | 47,860 | 16,644 | 6,452 | 2,244 | 63,052 | 21,927 | 6,542 | 2,275 | 2,054 | 0,714 | 2,234 | 0,777 |
| Fila de acesso à retroárea | 8486,199 | 368,493 | 217,484 | 9,444 | 29,320 | 1,273 | 286,520 | 12,441 | 29,727 | 1,291 | 9,335 | 0,405 | 10,149 | 0,441 |
| Total emitido | 80152,126 | 11386,225 | 2054,139 | 291,806 | 276,926 | 39,339 | 2706,176 | 384,433 | 280,773 | 39,886 | 88,167 | 12,525 | 95,862 | 13,618 |

Além da emissão anual, é de grande valia analisar como varia a emissão de poluentes na atmosfera ao longo do dia, pois as condições meteorológicas variam durante o dia. Sendo assim, a possibilidade de estimar tal variação constitui uma ferramenta de grande interesse em caso de uma modelagem de dispersão de poluentes na atmosfera.

É apresentada tal variação entre a Figura 7.1 e Figura 7.5, sendo que representam, respectivamente, a variação no acesso ao terminal, no acesso à área de pré-embarque de tubos, acesso à área de pré-embarque de cargas gerais, químicos e DMA, acesso à área de pré-embarque de, por fim, acesso à retroárea.

É perceptível uma grande variação ao longo do dia, motivada pela irregularidade na chegada de caminhões ao longo do dia. É possível observar que a fila de acesso ao terminal (Figura 7.1) é a que apresenta a maior susceptibilidade à variação ao longo do dia da chegada de caminhões, possivelmente, por ser a primeira fila em que os caminhões entram.

Também é possível observar que o efeito do fechamento das portarias nos acessos ao terminal (Figura 7.1) e à retroárea (Figura 7.5), como no fechamento das 07:00h às 07:30h, geram um aumento de emissão de tais períodos.

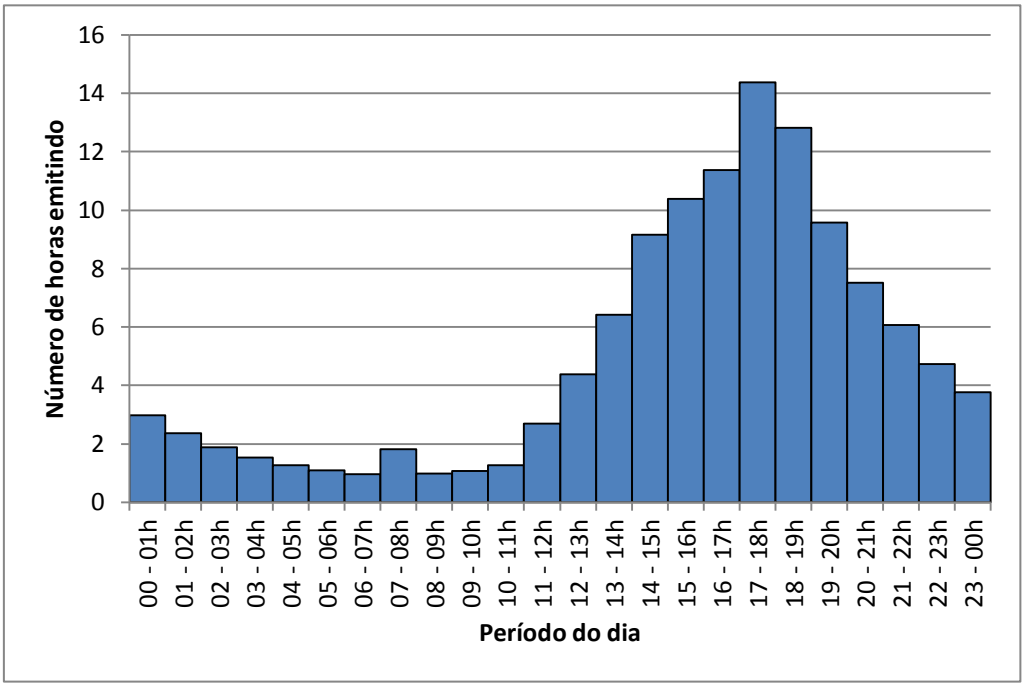



**Figura 7.1. Variação ao longo do dia (média anual) do total de horas em que os caminhões estiveram emitindo na fila de acesso ao terminal (Situação Atual).**

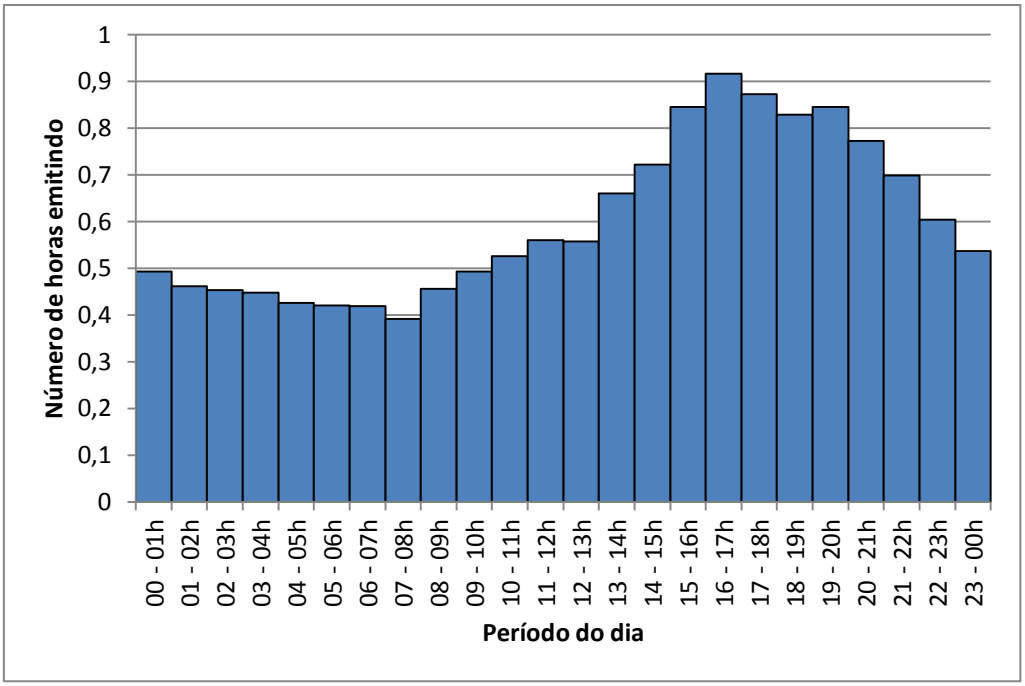



**Figura 7.2. Variação ao longo do dia (média anual) do total de horas em que os caminhões estiveram emitindo na fila de acesso à área de pré-embarque de tubos (Situação Atual).**

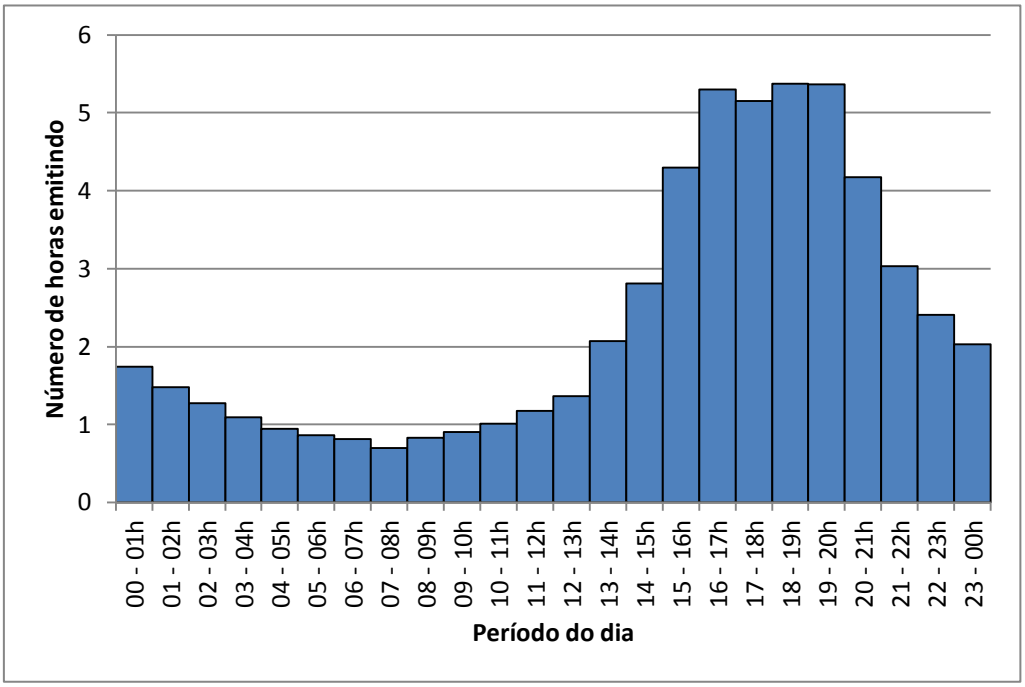



**Figura 7.3. Variação ao longo do dia (média anual) do total de horas em que os caminhões estiveram emitindo na fila de acesso à área de pré-embarque de cargas gerais, químicos e DMA (Situação Atual).**

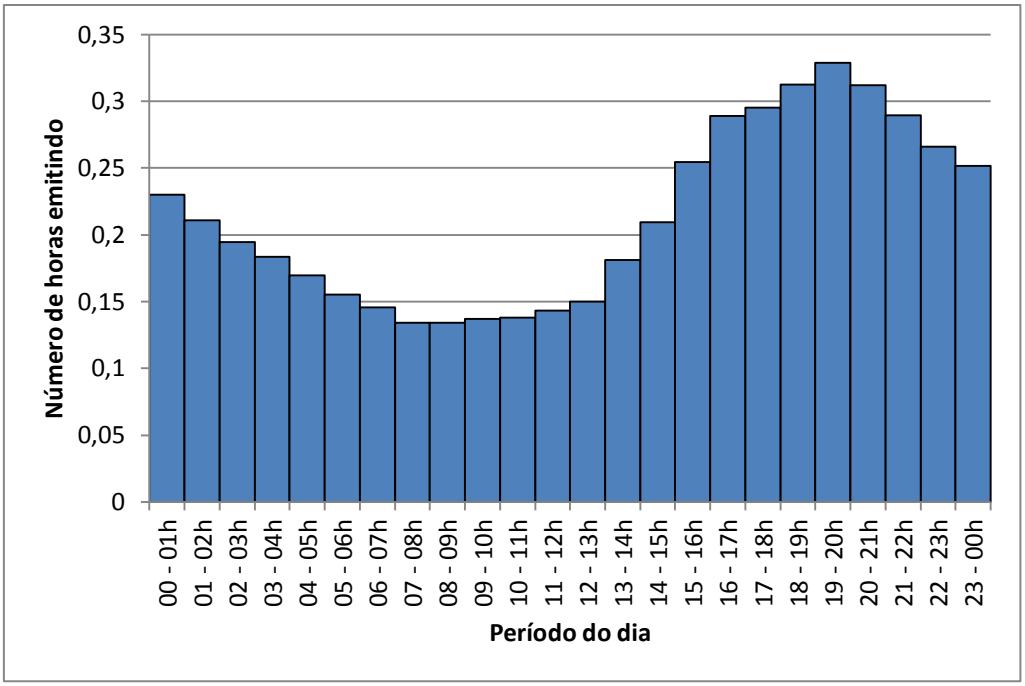



**Figura 7.4. Variação ao longo do dia (média anual) do total de horas em que os caminhões estiveram emitindo na fila de acesso à área de pré-embarque de granéis (Situação Atual).**

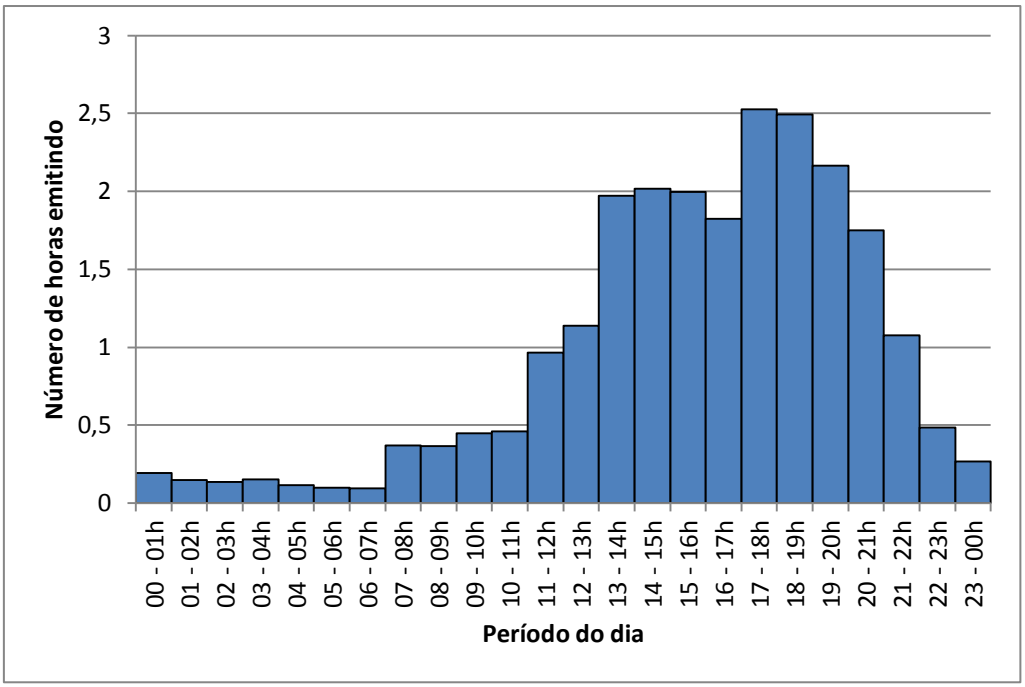



**Figura 7.5. Variação ao longo do dia (média anual) do total de horas em que os caminhões estiveram emitindo na fila de acesso à retroárea (Situação Atual).**

A Figura 7.6 mostra o total de horas (somando-se todas as filas) em que os caminhões operaram com o motor funcionando em marcha-lenta ao longo do dia junto à curva de chegada de caminhões provenientes de fornecedores externos ao longo do dia.

O pico de horas gastas na fila acompanha o pico da chegada de caminhões ao longo do dia com certo atraso.

É possível observar que, após a taxa de chegada de caminhões provenientes de fornecedores externos diminuir, demora certo tempo para que o sistema absorva o pico de chegada.

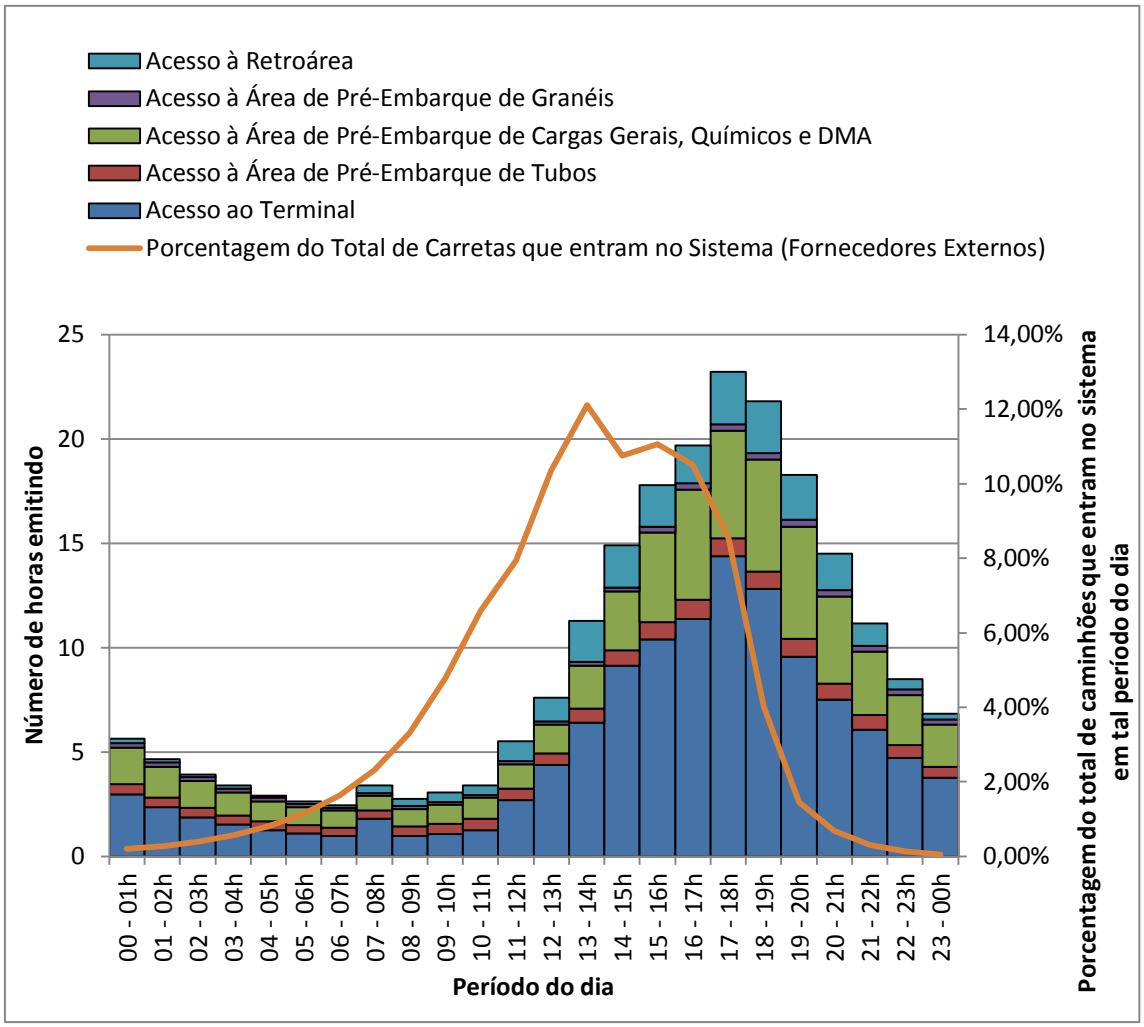



**Figura 7.6. Variação ao longo do dia (média anual) do total de horas em que os caminhões estiveram emitindo nas diferentes filas do terminal (Situação Atual).**

A Figura 7.7 indica a participação de cada fila em relação ao total. É possível observar que a fila de acesso ao terminal representa mais de 50% da emissão praticamente ao longo de todo dia, principalmente, nos horários de maior emissão. Essa situação confirma que as modificações propostas devem, prioritariamente, reduzir o tempo gasto em tal fila.

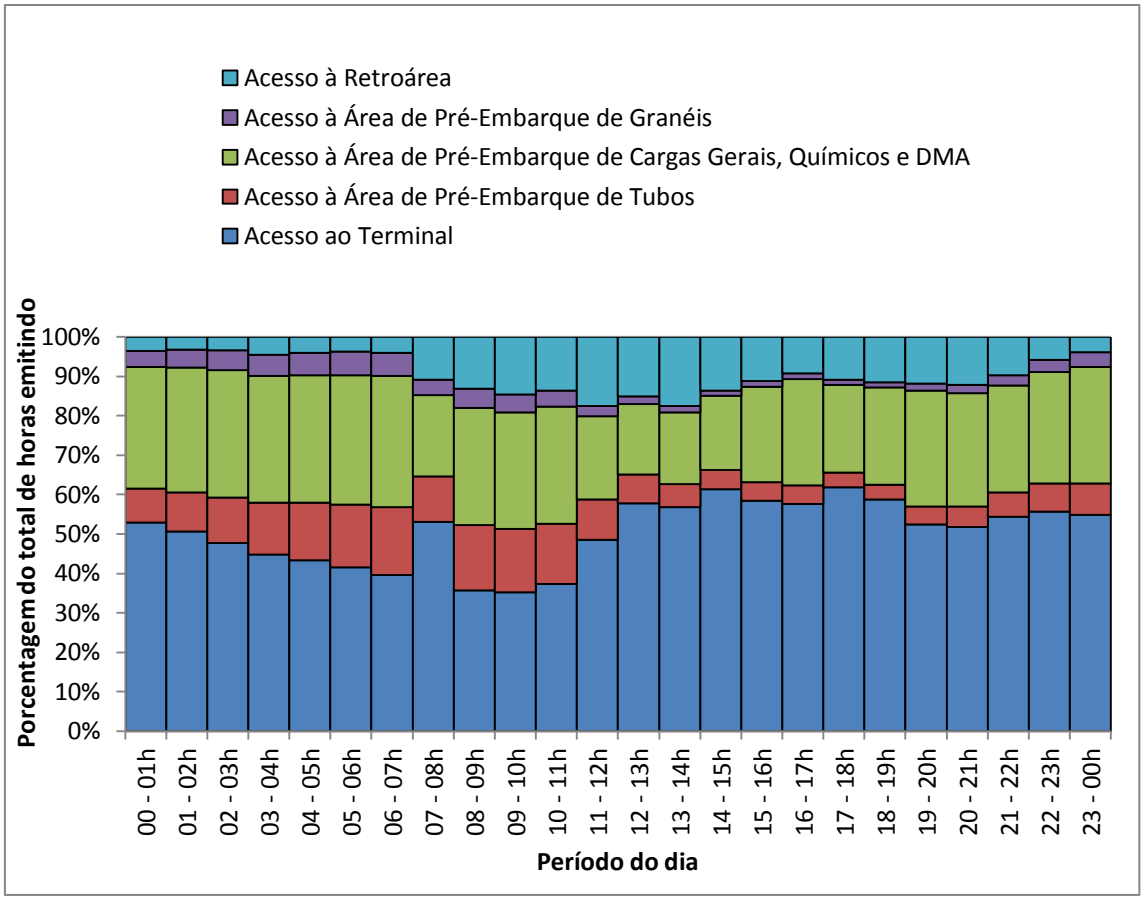



**Figura 7.7. Participação de cada fila no total de horas em que os caminhões estiveram emitindo (Situação Atual).**

Por fim, a Tabela 7.6 apresenta a variação da emissão total ao longo do dia para os poluentes analisados.

**Tabela 7.6. Emissão ao longo do dia provocada pela soma de todas as filas (Situação Atual).**

| Hora | Horas emitindo | Emissão de CO (kg) | Emissão de COV (kg) | Emissão de NOx (kg) | Emissão de HT (kg) | Emissão de $MP_{2,5}$ (kg) | Emissão de $MP_{10}$ (kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 00 - 01h | 5,634 | 144,397 | 19,467 | 190,233 | 19,737 | 6,198 | 6,739 |
| 01 - 02h | 4,651 | 119,201 | 16,070 | 157,038 | 16,293 | 5,116 | 5,563 |
| 02 - 03h | 3,935 | 100,850 | 13,596 | 132,862 | 13,785 | 4,329 | 4,706 |
| 03 - 04h | 3,400 | 87,125 | 11,746 | 114,780 | 11,909 | 3,740 | 4,066 |
| 04 - 05h | 2,925 | 74,960 | 10,106 | 98,755 | 10,246 | 3,217 | 3,498 |
| 05 - 06h | 2,625 | 67,272 | 9,069 | 88,626 | 9,195 | 2,887 | 3,139 |
| 06 - 07h | 2,437 | 62,452 | 8,419 | 82,276 | 8,536 | 2,681 | 2,914 |
| 07 - 08h | 3,402 | 87,190 | 11,754 | 114,866 | 11,918 | 3,742 | 4,069 |
| 08 - 09h | 2,771 | 71,008 | 9,573 | 93,548 | 9,706 | 3,048 | 3,314 |
| 09 - 10h | 3,058 | 78,369 | 10,565 | 103,246 | 10,712 | 3,364 | 3,657 |
| 10 - 11h | 3,407 | 87,314 | 11,771 | 115,029 | 11,935 | 3,748 | 4,075 |
| 11 - 12h | 5,530 | 141,731 | 19,107 | 186,721 | 19,373 | 6,083 | 6,614 |
| 12 - 13h | 7,594 | 194,609 | 26,236 | 256,383 | 26,600 | 8,353 | 9,082 |

| Hora | Horas emitindo | Emissão de CO (kg) | Emissão de COV (kg) | Emissão de NOx (kg) | Emissão de HT (kg) | Emissão de $MP_{2,5}$ (kg) | Emissão de $MP_{10}$ (kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 13 - 14h | 11,293 | 289,425 | 39,018 | 381,296 | 39,560 | 12,423 | 13,507 |
| 14 - 15h | 14,909 | 382,092 | 51,511 | 503,378 | 52,227 | 16,400 | 17,831 |
| 15 - 16h | 17,778 | 455,612 | 61,423 | 600,236 | 62,276 | 19,556 | 21,262 |
| 16 - 17h | 19,698 | 504,831 | 68,058 | 665,077 | 69,004 | 21,668 | 23,559 |
| 17 - 18h | 23,222 | 595,124 | 80,231 | 784,032 | 81,345 | 25,544 | 27,773 |
| 18 - 19h | 21,819 | 559,177 | 75,385 | 736,675 | 76,432 | 24,001 | 26,096 |
| 19 - 20h | 18,282 | 468,524 | 63,163 | 617,246 | 64,041 | 20,110 | 21,865 |
| 20 - 21h | 14,520 | 372,121 | 50,167 | 490,242 | 50,864 | 15,972 | 17,366 |
| 21 - 22h | 11,173 | 286,335 | 38,602 | 377,226 | 39,138 | 12,290 | 13,363 |
| 22 - 23h | 8,479 | 217,304 | 29,296 | 286,282 | 29,703 | 9,327 | 10,141 |
| 23 - 00h | 6,842 | 175,334 | 23,637 | 230,990 | 23,966 | 7,526 | 8,182 |

## 7.2 Análise dos Cenários

Neste momento, é feita uma comparação entre os diferentes cenários propostos e a situação atual do terminal.

Como dito anteriormente, o Cenário 1 retrata uma política de agendamento de chegada que resultaria numa taxa de chegada constante de caminhões dos fornecedores externos ao longo do dia.

Já o Cenário 2 retrata melhorias na infraestrutura do terminal, tais sejam: aumento de cerca de 20% nas áreas de pré-embarque, aumento na capacidade das portarias para atendimento de dois caminhões de forma simultânea, aumento do tamanho limite das filas de acesso às áreas de pré-embarque em 2 caminhões, aumento do atendimento simultâneo de 3 para 5 caminhões no desembarque de cargas na área de pré-embarque de cargas gerais, químicos e DMA.

A análise tem início com uma comparação entre resultados operacionais. Além de mostrar o ganho ou perca operacional, tal comparação visa a verificar se os resultados encontrados nos cenários são próximos ao esperado. Essa verificação é importante, uma vez que, apesar de os resultados encontrados nos cenários não poderem ser validados com base em dados presentes na bibliografia, a ordem de grandeza dos mesmos não deve ser muito distante da situação atual.

O primeiro item a ser abordado é o tamanho médio e máximo da fila de navios no fundeio. Como pode ser visto na Tabela 7.7, ambos os indicadores avaliados tiveram seus valores reduzidos devido às mudanças propostas, sendo que o Cenário 1 apresentou uma maior redução.

**Tabela 7.7. Comparação do tamanho médio e máximo da fila de navios.**

| Fonte dos resultados | Tamanho médio da fila de navios | | Tamanho máximo da fila de navios | |
|---|---|---|---|---|
| | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão |
| Dados reais | 9,42 | 4,49 | 30 | - |
| Simulação da Situação Atual | 8,72 | 4,38 | 32,82 | 8,36 |
| Cenário 1 | 5,03 | 2,43 | 26,41 | 6,40 |
| Cenário 2 | 7,20 | 5,13 | 33,09 | 12,16 |

A Tabela 7.8 apresenta uma comparação referente à taxa de ocupação dos berços. Novamente, ambos os cenários de modificações implicaram uma redução na taxa de ocupação, sendo que o Cenário 1 levou a uma maior redução.

**Tabela 7.8. Comparação entre a taxa de ocupação média dos berços.**

| Cenário | Taxa de Ocupação Média (%) |
|---|---|
| Simulação da Situação Atual | 83,85 |
| Cenário 1 | 80,95 |
| Cenário 2 | 82,12 |

A Tabela 7.9 apresenta uma comparação entre os cenários em relação aos diversos indicadores relacionados às filas presentes no terminal.

Como pode ser visto, os indicadores referentes à fila de acesso ao terminal sustentam que as modificações presentes no Cenário 2 foram mais eficientes na redução de tal fila.

Em relação às filas de acesso às áreas de pré-embarque, as modificações do Cenário 1 levaram a um levíssimo aumento das mesmas. Já as modificações do Cenário 2 levaram a um aumento considerável das filas referentes à área de pré-embarque de tubos e de granéis, sendo que a fila de acesso à área de pré-embarque de cargas gerais, químicos e DMA apresentou uma redução em seu tamanho.

Já em relação à fila de acesso à retroárea, os indicadores mostram que, no Cenário 1, houve uma grande redução. Já no Cenário 2, tal fila apresentou o mesmo comportamento da situação atual.

**Tabela 7.9. Comparação dos indicadores relacionados às filas de caminhões.**

| Indicador | Situação Atual | | Cenário 1 | | Cenário 2 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Média** | **Desvio Padrão** | **Média** | **Desvio Padrão** | **Média** | **Desvio Padrão** |
| Tamanho máximo da fila de acesso ao terminal | 66,09 | 10,26 | 58,86 | 12,06 | 49,18 | 8,64 |
| Tamanho médio da fila de acesso ao terminal | 5,02 | 1,05 | 3,82 | 0,93 | 1,67 | 0,48 |
| Tamanho médio da fila de acesso à área de pré-embarque de tubos | 0,75 | 0,06 | 0,86 | 0,07 | 1,05 | 0,09 |
| Tamanho médio da fila de acesso à área de pré-embarque de cargas gerais, químicos e DMA | 2,44 | 0,27 | 2,48 | 0,35 | 1,67 | 0,35 |
| Tamanho médio da fila de acesso à área de pré-embarque de granéis | 0,41 | 0,18 | 0,49 | 0,19 | 0,64 | 0,20 |
| Tamanho médio da fila de acesso à retroárea | 0,97 | 0,04 | 0,45 | 0,03 | 0,88 | 0,02 |
| Tempo médio gasto por cada caminhão na fila de acesso ao terminal (horas) | 0,78 | 0,14 | 0,56 | 0,12 | 0,24 | 0,06 |
| Tempo médio gasto por cada caminhão na fila de acesso à área de pré-embarque de tubos (horas) | 1,35 | 0,13 | 1,55 | 0,15 | 1,89 | 0,19 |
| Tempo médio gasto por cada caminhão na fila de acesso à área de pré-embarque de cargas gerais, químicos e DMA (horas) | 0,60 | 0,07 | 0,60 | 0,09 | 0,41 | 0,09 |
| Tempo médio gasto por cada caminhão na fila de acesso à área de pré-embarque de granéis (horas) | 1,18 | 0,55 | 1,41 | 0,60 | 1,85 | 0,61 |
| Tempo médio gasto por cada caminhão na fila de acesso à retroárea (horas) | 0,27 | 0,01 | 0,13 | 0,01 | 0,25 | 0,01 |

A Figura 7.8 e a Figura 7.9 referem-se, respectivamente, à variação da emissão ao longo do dia e à participação de cada fila na emissão total do Cenário 1.

Como pode ser visto, a mudança no processo de chegada de caminhões proposta no Cenário 1 levaram à emissão se comportar de forma mais linear durante o dia, como esperado. A emissão proveniente da fila de acesso ao terminal continua a ter importância predominante, representando cerca de 50% da emissão total ao longo de todo o dia.

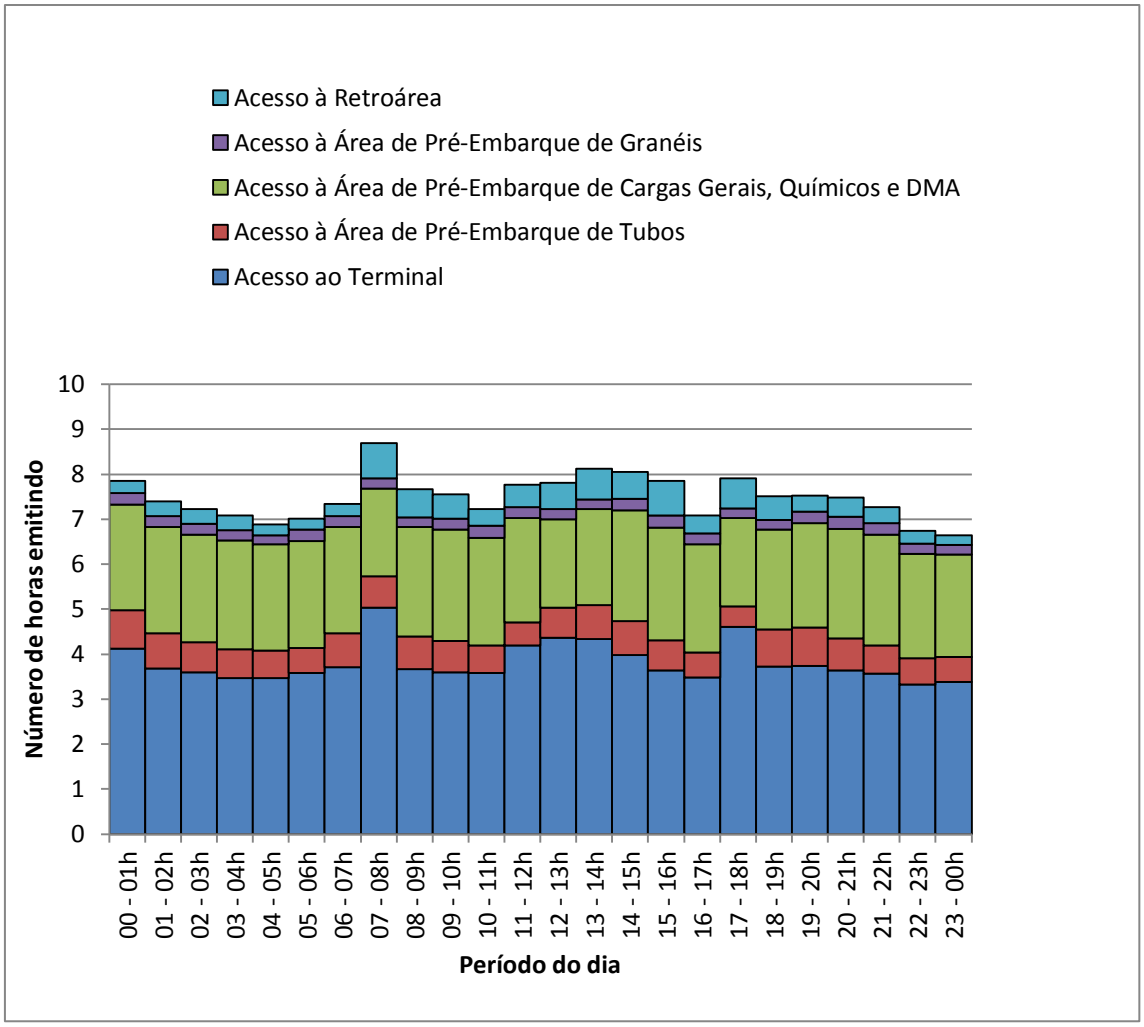



**Figura 7.8. Variação ao longo do dia (média anual) do total de horas em que os caminhões estiveram emitindo nas diferentes filas do terminal (Cenário 1).**

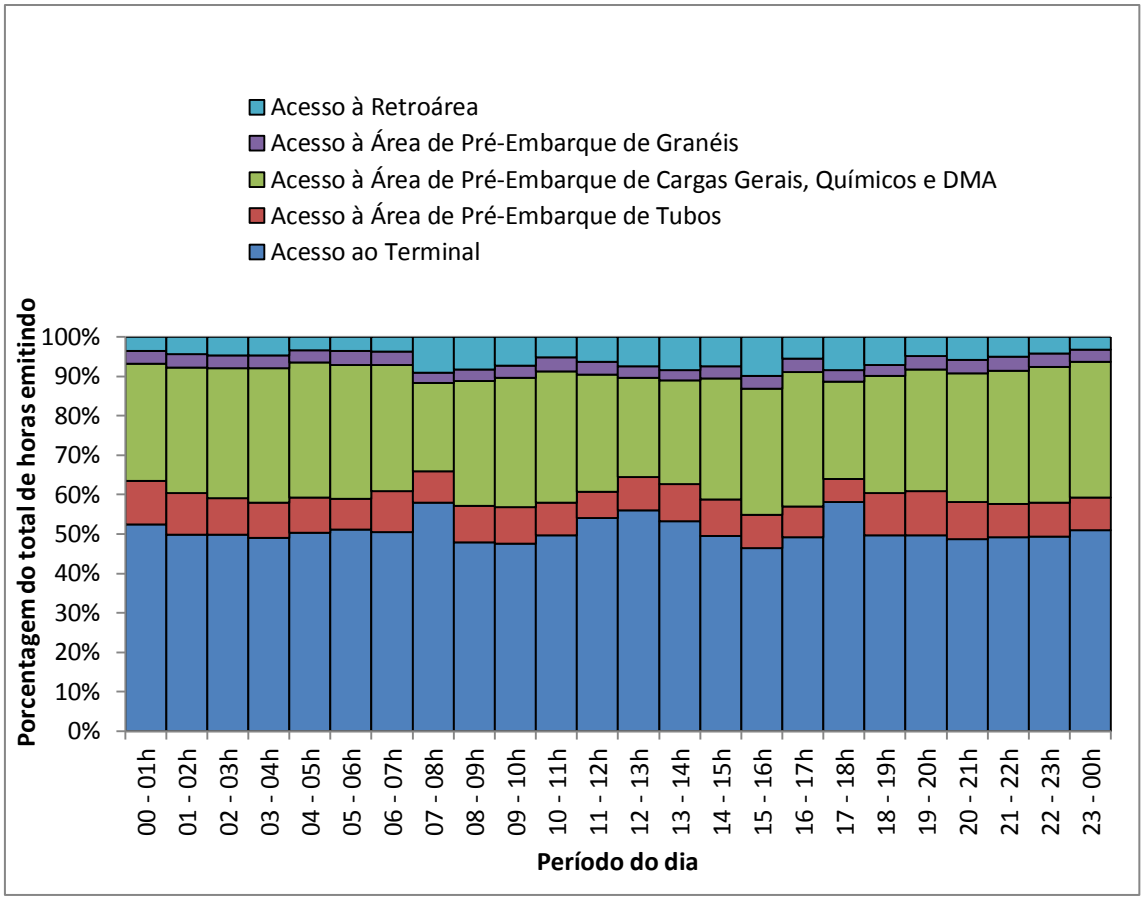



**Figura 7.9. Participação de cada fila no total de horas em que os caminhões estiveram emitindo (Cenário 1).**

A Figura 7.10 e a Figura 7.11 referem-se, respectivamente, à variação da emissão ao longo do dia e à participação de cada fila na emissão total do Cenário 2.

O comportamento do valor total da emissão ao longo do dia no Cenário 2 é semelhante ao da situação atual. Tal fato é motivado pela manutenção do processo de chegada de cargas de fornecedores externos variável ao longo do dia.

Entretanto, é possível observar que a participação da emissão da fila de acesso ao terminal na emissão total diminui. Essa configuração deve-se ao fato de que a emissão da fila de acesso ao terminal diminui consideravelmente em relação à situação atual, enquanto as emissões de outras filas ou se mantém constantes ou variam ligeiramente. Dessa forma, é possível concluir que a mudança na infraestrutura que mais surtiu efeito está relacionada ao aumento do número de portarias do terminal. Já o aumento nas áreas de pré-embarque não resultou em grandes melhorias, exceto na redução da emissão consequente da fila de acesso à área de pré-embarque de cargas gerais, químicos e DMA.

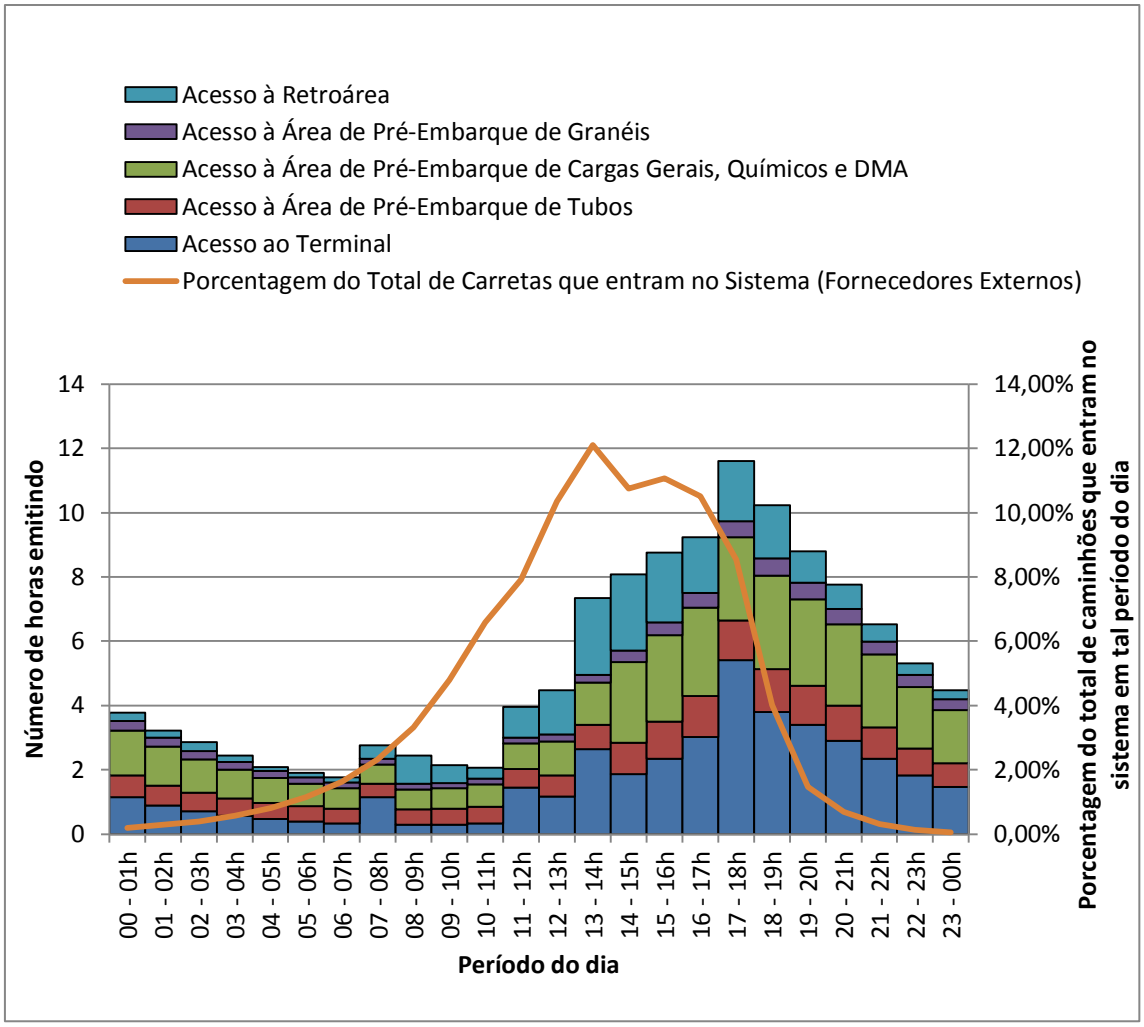



**Figura 7.10. Variação ao longo do dia (média anual) do total de horas em que os caminhões estiveram emitindo nas diferentes filas do terminal (Cenário 2).**

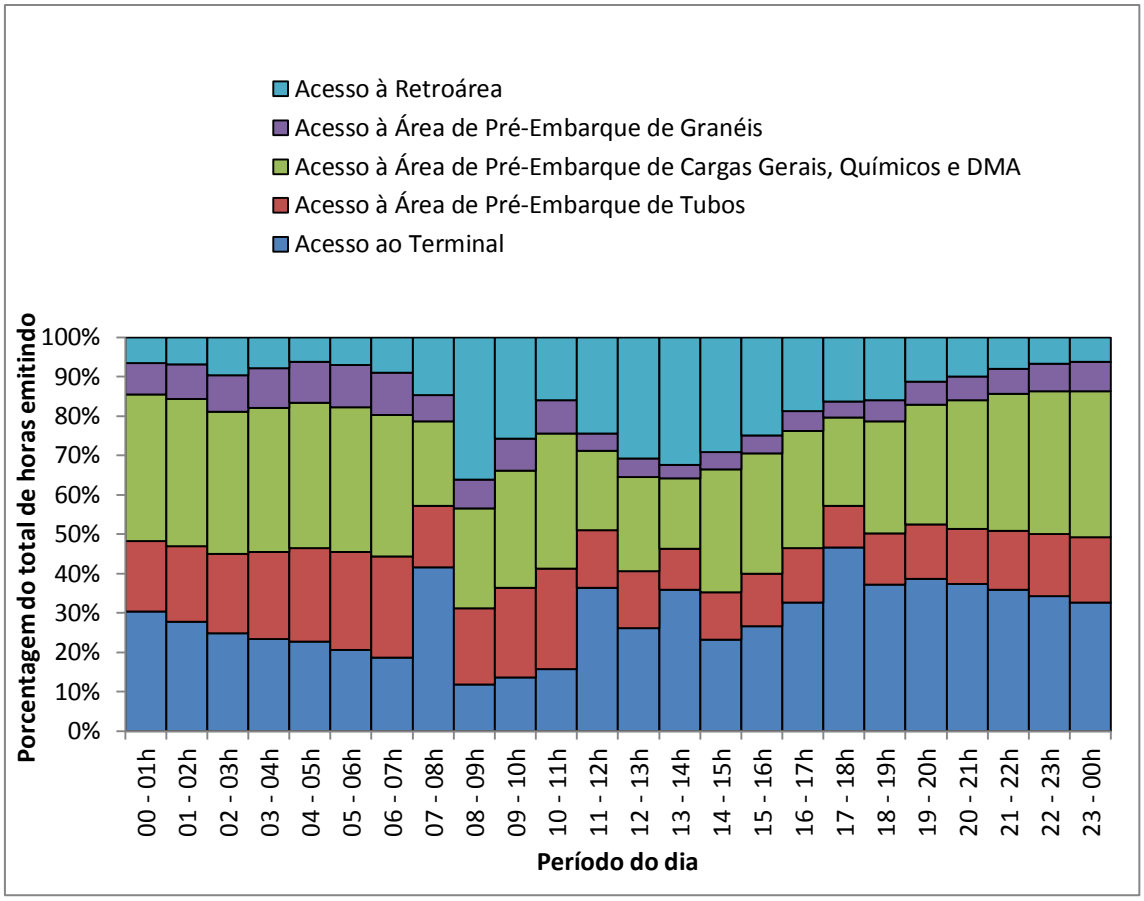



**Figura 7.11. Participação de cada fila no total de horas em que os caminhões estiveram emitindo (Cenário 2).**

A Figura 7.12 apresenta a variação diária do total da emissão de poluentes na atmosfera por caminhões operando em marcha-lenta nas filas do terminal para os diferentes cenários (em unidades de horas emitindo).

Como é possível observar, as modificações realizadas no Cenário 1 foram capazes de suavizar o pico de emissão e, praticamente, tornar a emissão constante durante todo o dia.

Já no Cenário 2, é possível observar uma redução considerável nos horários de pico. Entretanto, no período entre 00:00 h e 12:00 h, a redução foi inferior. Esse resultado mostra que as melhorias na infraestrutura foram eficientes na redução das emissões nos períodos de pico.

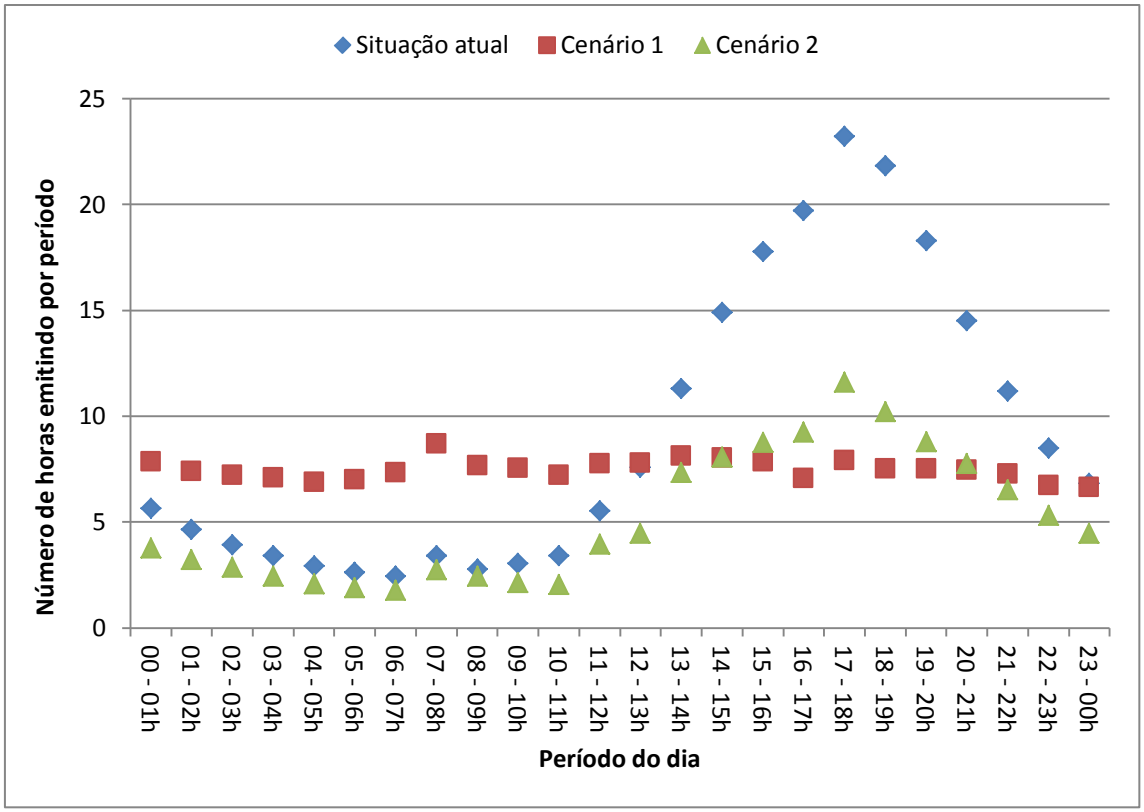



**Figura 7.12. Comparação entre os cenários da emissão ao longo do dia considerando-se a soma de todas as filas.**

Além de avaliar a média da emissão ao longo do dia, é de grande importância avaliar os seus valores totais. A Tabela 7.10 apresenta a quantidade de horas em que os caminhões passaram em filas operando em marcha-lenta ao longo de um ano para os diferentes cenários. Além disso, a redução na emissão obtida em cada cenário é apresentada.

Como é possível observar, as melhorias propostas no Cenário 2 foram mais eficientes na redução da emissão de poluentes na atmosfera provenientes das fontes avaliadas.

É interessante observar que, apesar dos melhores resultados obtidos em relação ao atendimento dos navios, o Cenário 1 não obteve o mesmo sucesso que o Cenário 2 em reduzir as emissões.

**Tabela 7.10: Comparação entre cenários do número de horas totais em que os caminhões operam em marcha lenta nas filas durante um ano.**

| Cenário | Horas Emitindo Anualmente | | Redução (%) |
|---|---|---|---|
| | Média | Desvio Padrão | |
| Situação Atual | 80152,13 | 11386,23 | - |
| Cenário 1 | 65650,52 | 11799,81 | 18,10 |
| Cenário 2 | 45276,81 | 7474,33 | 43,51 |

A Tabela 7.11 e a Tabela 7.12 apresentam a emissão anual de todos os poluentes avaliados para cada fila e o total para o Cenário 1 e Cenário 2, respectivamente.

Já a Tabela 7.13 e a Tabela 7.14 apresentam a variação diária da emissão de todas as filas combinadas para cada poluente avaliado para o Cenário 1 e Cenário 2, respectivamente.

Apesar de tais tabelas não acrescentarem grandes informações ao tema proposto, a sua inclusão é de grande importância para a sua utilização em estudos futuros.

**Tabela 7.11. Emissão anual dos poluentes avaliados (Cenário 1).**

| Local / Indicador | Horas emitindo anualmente | | Emissão de CO (ton.) | | Emissão de COV (ton.) | | Emissão de NOx (ton.) | | Emissão de HT (ton.) | | Emissão de $MP_{2,5}$(ton.) | | Emissão de $MP_{10}$(ton.) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Média** | **Desvio Padrão** | **Média** | **Desvio Padrão** | **Média** | **Desvio Padrão** | **Média** | **Desvio Padrão** | **Média** | **Desvio Padrão** | **Média** | **Desvio Padrão** | **Média** | **Desvio Padrão** |
| Fila de acesso ao Terminal | 33460,684 | 8129,872 | 857,530 | 208,352 | 115,607 | 28,089 | 1129,733 | 274,489 | 117,213 | 28,479 | 36,807 | 8,943 | 40,019 | 9,723 |
| Fila de acesso à Área de Pré-Embarque de Tubos | 5871,981 | 277,703 | 150,487 | 7,117 | 20,288 | 0,959 | 198,256 | 9,376 | 20,570 | 0,973 | 6,459 | 0,305 | 7,023 | 0,332 |
| Fila de acesso à Área de Pré-Embarque de Cargas Gerais, Químicos e DMA | 20316,856 | 2776,600 | 520,680 | 71,159 | 70,195 | 9,593 | 685,958 | 93,746 | 71,170 | 9,726 | 22,349 | 3,054 | 24,299 | 3,321 |
| Fila de acesso à Área de Pré-Embarque de Granéis | 2088,330 | 682,340 | 53,520 | 17,487 | 7,215 | 2,357 | 70,508 | 23,038 | 7,315 | 2,390 | 2,297 | 0,751 | 2,498 | 0,816 |
| Fila de acesso à Retroárea | 3912,672 | 269,541 | 100,274 | 6,908 | 13,518 | 0,931 | 132,104 | 9,101 | 13,706 | 0,944 | 4,304 | 0,296 | 4,680 | 0,322 |
| Total emitido | 65650,523 | 11799,810 | 1682,492 | 302,406 | 226,823 | 40,768 | 2216,559 | 398,397 | 229,974 | 41,335 | 72,216 | 12,980 | 78,518 | 14,113 |

**Tabela 7.12. Emissão anual dos poluentes avaliados (Cenário 2).**

| Local / Indicador | Horas emitindo anualmente | | Emissão de CO (ton.) | | Emissão de COV (ton.) | | Emissão de NOx (ton.) | | Emissão de HT (ton.) | | Emissão de $MP_{2,5}$(ton.) | | Emissão de $MP_{10}$(ton.) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão |
| Fila de acesso ao Terminal | 14671,759 | 4242,502 | 376,008 | 108,727 | 50,691 | 14,658 | 495,363 | 143,240 | 51,395 | 14,861 | 16,139 | 4,667 | 17,547 | 5,074 |
| Fila de acesso à Área de Pré-Embarque de Tubos | 6777,310 | 242,648 | 173,689 | 6,219 | 23,416 | 0,838 | 228,822 | 8,193 | 23,741 | 0,850 | 7,455 | 0,267 | 8,106 | 0,290 |
| Fila de acesso à Área de Pré-Embarque de Cargas Gerais, Químicos e DMA | 13463,057 | 2653,111 | 345,031 | 67,994 | 46,515 | 9,166 | 454,553 | 89,577 | 47,161 | 9,294 | 14,809 | 2,918 | 16,102 | 3,173 |
| Fila de acesso à Área de Pré-Embarque de Granéis | 2699,284 | 625,217 | 69,177 | 16,023 | 9,326 | 2,160 | 91,136 | 21,109 | 9,456 | 2,190 | 2,969 | 0,688 | 3,228 | 0,748 |
| Fila de acesso à Retroárea | 7665,396 | 208,917 | 196,449 | 5,354 | 26,484 | 0,722 | 258,807 | 7,054 | 26,852 | 0,732 | 8,432 | 0,230 | 9,168 | 0,250 |
| Total emitido | 45276,805 | 7474,325 | 1160,354 | 191,552 | 156,431 | 25,824 | 1528,681 | 252,356 | 158,605 | 26,183 | 49,804 | 8,222 | 54,151 | 8,939 |

**Tabela 7.13. Emissão ao longo do dia provocada pela soma de todas as filas (Cenário 1).**

| Hora | Horas emitindo | Emissão de CO (kg) | Emissão de COV (kg) | Emissão de NOx (kg) | Emissão de HT (kg) | Emissão de $MP_{2,5}$ (kg) | Emissão de $MP_{10}$ (kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 00 - 01h | 7,855 | 201,295 | 27,137 | 265,191 | 27,514 | 8,640 | 9,394 |
| 01 - 02h | 7,395 | 189,516 | 25,549 | 249,674 | 25,904 | 8,134 | 8,844 |
| 02 - 03h | 7,225 | 185,169 | 24,963 | 243,946 | 25,310 | 7,948 | 8,641 |
| 03 - 04h | 7,089 | 181,670 | 24,492 | 239,336 | 24,832 | 7,798 | 8,478 |
| 04 - 05h | 6,881 | 176,337 | 23,773 | 232,310 | 24,103 | 7,569 | 8,229 |
| 05 - 06h | 7,011 | 179,688 | 24,224 | 236,726 | 24,561 | 7,713 | 8,386 |
| 06 - 07h | 7,344 | 188,202 | 25,372 | 247,942 | 25,725 | 8,078 | 8,783 |
| 07 - 08h | 8,696 | 222,862 | 30,045 | 293,604 | 30,462 | 9,566 | 10,400 |
| 08 - 09h | 7,672 | 196,615 | 26,506 | 259,025 | 26,875 | 8,439 | 9,176 |
| 09 - 10h | 7,556 | 193,639 | 26,105 | 255,106 | 26,468 | 8,311 | 9,037 |
| 10 - 11h | 7,218 | 184,986 | 24,939 | 243,705 | 25,285 | 7,940 | 8,633 |
| 11 - 12h | 7,763 | 198,951 | 26,821 | 262,104 | 27,194 | 8,539 | 9,285 |
| 12 - 13h | 7,802 | 199,937 | 26,954 | 263,402 | 27,329 | 8,582 | 9,331 |
| 13 - 14h | 8,126 | 208,255 | 28,076 | 274,360 | 28,466 | 8,939 | 9,719 |
| 14 - 15h | 8,050 | 206,310 | 27,813 | 271,798 | 28,200 | 8,855 | 9,628 |
| 15 - 16h | 7,852 | 201,223 | 27,128 | 265,096 | 27,504 | 8,637 | 9,391 |
| 16 - 17h | 7,078 | 181,392 | 24,454 | 238,970 | 24,794 | 7,786 | 8,465 |
| 17 - 18h | 7,911 | 202,754 | 27,334 | 267,113 | 27,714 | 8,703 | 9,462 |
| 18 - 19h | 7,514 | 192,575 | 25,962 | 253,703 | 26,322 | 8,266 | 8,987 |
| 19 - 20h | 7,529 | 192,954 | 26,013 | 254,203 | 26,374 | 8,282 | 9,005 |
| 20 - 21h | 7,477 | 191,625 | 25,834 | 252,452 | 26,193 | 8,225 | 8,943 |
| 21 - 22h | 7,268 | 186,258 | 25,110 | 245,381 | 25,459 | 7,995 | 8,692 |
| 22 - 23h | 6,742 | 172,781 | 23,293 | 227,626 | 23,617 | 7,416 | 8,063 |
| 23 - 00h | 6,642 | 170,231 | 22,949 | 224,267 | 23,268 | 7,307 | 7,944 |

**Tabela 7.14. Emissão ao longo do dia provocada pela soma de todas as filas (Cenário 2).**

| Hora | Horas emitindo | Emissão de CO (kg) | Emissão de COV (kg) | Emissão de NOx (kg) | Emissão de HT (kg) | Emissão de $MP_{2,5}$ (kg) | Emissão de $MP_{10}$ (kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 00 - 01h | 3,774 | 96,709 | 13,038 | 127,407 | 13,219 | 4,151 | 4,513 |
| 01 - 02h | 3,217 | 82,447 | 11,115 | 108,617 | 11,269 | 3,539 | 3,848 |
| 02 - 03h | 2,859 | 73,281 | 9,879 | 96,542 | 10,016 | 3,145 | 3,420 |
| 03 - 04h | 2,447 | 62,699 | 8,453 | 82,601 | 8,570 | 2,691 | 2,926 |
| 04 - 05h | 2,085 | 53,426 | 7,203 | 70,385 | 7,303 | 2,293 | 2,493 |
| 05 - 06h | 1,909 | 48,934 | 6,597 | 64,467 | 6,689 | 2,100 | 2,284 |
| 06 - 07h | 1,770 | 45,372 | 6,117 | 59,774 | 6,202 | 1,947 | 2,117 |
| 07 - 08h | 2,755 | 70,604 | 9,518 | 93,015 | 9,651 | 3,030 | 3,295 |
| 08 - 09h | 2,446 | 62,677 | 8,450 | 82,572 | 8,567 | 2,690 | 2,925 |
| 09 - 10h | 2,145 | 54,962 | 7,410 | 72,408 | 7,513 | 2,359 | 2,565 |
| 10 - 11h | 2,062 | 52,833 | 7,123 | 69,603 | 7,221 | 2,268 | 2,466 |
| 11 - 12h | 3,965 | 101,620 | 13,700 | 133,877 | 13,890 | 4,362 | 4,742 |
| 12 - 13h | 4,475 | 114,673 | 15,459 | 151,073 | 15,674 | 4,922 | 5,352 |
| 13 - 14h | 7,336 | 188,013 | 25,347 | 247,693 | 25,699 | 8,070 | 8,774 |
| 14 - 15h | 8,073 | 206,885 | 27,891 | 272,556 | 28,278 | 8,880 | 9,655 |
| 15 - 16h | 8,766 | 224,650 | 30,286 | 295,960 | 30,707 | 9,642 | 10,484 |
| 16 - 17h | 9,237 | 236,715 | 31,912 | 311,855 | 32,356 | 10,160 | 11,047 |
| 17 - 18h | 11,615 | 297,664 | 40,129 | 392,150 | 40,687 | 12,776 | 13,891 |
| 18 - 19h | 10,227 | 262,088 | 35,333 | 345,281 | 35,824 | 11,249 | 12,231 |
| 19 - 20h | 8,806 | 225,678 | 30,424 | 297,315 | 30,847 | 9,687 | 10,532 |
| 20 - 21h | 7,768 | 199,073 | 26,838 | 262,264 | 27,211 | 8,545 | 9,290 |
| 21 - 22h | 6,522 | 167,156 | 22,535 | 220,216 | 22,848 | 7,175 | 7,801 |
| 22 - 23h | 5,312 | 136,134 | 18,353 | 179,347 | 18,608 | 5,843 | 6,353 |
| 23 - 00h | 4,478 | 114,759 | 15,471 | 151,187 | 15,686 | 4,926 | 5,356 |

# CAPÍTULO 8 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

## 8.1 Conclusões

A emissão de poluentes por veículos pesados é, de fato, relevante; consequentemente, a sua investigação em filas de veículos operando em marcha lenta também o é. Tendo a simulação computacional de eventos discretos como uma ferramenta de grande aplicação e reconhecimento para subsidiar indicadores de terminais portuários, tem-se, nesta dissertação, a possibilidade de abordar a interface dos dois temas.

A busca por estudos semelhantes mostrou que a aplicação de simulação computacional de eventos discretos em sistemas portuários para a obtenção de indicadores ambientais ainda é pouco explorada. Em sistemas não portuários, pelo que foi pesquisado na literatura, tal aplicação também apresenta lacunas em termos de sua exploração.

Foram encontrados três artigos internacionais, que trazem ótimas ideias e conceitos relacionados à aplicação supracitada. Tais artigos foram discutidos nesta dissertação e serviram como base para o enfoque metodológico concebido e empregado no desenvolvimento desta pesquisa, permitindo atingir os objetivos propostos mediante o estudo de caso adotado. Além disso, mesmo sem utilizar dados reais em grande parte do sistema, foi possível construir um modelo consistente e sensível às mudanças operadas.

As modificações necessárias no modelo, para que pudessem ser obtidos dados que, após trabalhados, resultassem em indicadores ambientais, foram bem simples e fáceis de serem implementadas. Dessa forma, conclui-se que, em modelos de sistemas portuários, já construídos, as adaptações necessárias para aplicação da metodologia contida nesta dissertação seriam mínimas e pouco trabalhosas. Ressalta-se, assim, que terminais portuários, em que já existam modelos de simulação computacional de eventos discretos aplicados, são excelentes oportunidades para que a metodologia aqui apresentada seja implementada, e, por conseguinte, indicadores ambientais sejam estimados.

Apesar das configurações do modelo serem simples, como dito no parágrafo anterior, muito esforço foi gasto na conversão dos resultados obtidos em indicadores ambientais. Esse esforço pode ser consideravelmente menor de acordo com os indicadores desejados. Caso a emissão anual de poluentes na atmosfera seja informação

suficiente, o trabalho será mínimo face ao esforço necessário para se obter a variação da emissão ao longo do dia.

Outros fatores que interferem no tempo gasto para a obtenção dos indicadores ambientais são a complexidade do sistema e o número de replicações necessárias. A complexidade do sistema influencia, pois, em sistemas simples, com um pequeno número de filas, por exemplo, o esforço no tratamento dos resultados seria menor. O número de replicações também influencia, pois, quanto maior o número de replicações necessárias ao modelo, maior será a quantidade de dados a serem trabalhados. O estudo de caso feito pode ser considerado complexo, já que 5 filas foram analisadas e com um número de replicações considerável (22 replicações), o que levou a um grande tempo investido no tratamento dos resultados.

Destaca-se, ainda, o fato de que os fatores de emissão foram de difícil obtenção. Essa dificuldade deve-se à unidade necessária para o uso na metodologia proposta. Grande parte dos fatores de emissão para a estimativa de poluentes de veículos tem, como base, a distância percorrida, como os disponíveis pelo PROCONVE. Entretanto, não faz sentido utilizar tais fatores na situação concebida, pois a distância percorrida não é o alvo da avaliação, e sim o tempo gasto parado nas filas. Fatores de emissão adequados à situação foram obtidos apenas na Agência de Proteção Ambiental estadunidense. Dessa forma, lamenta-se o fato de que, provavelmente, os fatores de emissão não sejam os mais indicados, dada as diferenças entre a frota e combustível utilizados no Brasil e nos Estados Unidos.

O fato de que foi possível ter a emissão ao longo do dia constitui uma grande vantagem na aplicação da simulação de eventos discretos para a obtenção de indicadores ambientais. A estimativa da emissão atmosférica ao longo do dia é de grande utilidade em modelos de dispersão atmosférica, uma vez que as condições de dispersão modificam-se consideravelmente ao longo do dia.

Concluiu-se, complementarmente, que o código computacional adquirido foi condizente com a complexidade do modelo construído e atendeu às expectativas. Houve alguns fatores limitantes, mas que puderam ser superados. Tais limites acabaram se tornando pontos de aprendizado, pois diferentes saídas eram analisadas.

Quanto aos resultados obtidos no estudo de caso, pode-se observar que o modelo atendeu às expectativas, e seu funcionamento foi condizente com o esperado. Os dados existentes para a validação foram comparados. Pela grande proximidade entre dados reais e dados estimados pelo modelo construído, julgou-se adequada a validação do modelo. Adicionalmente, foi realizada uma verificação de todo o modelo, que se mostrou condizente com o esperado.

As modificações propostas no Cenário 1, em relação ao processo de chegada de caminhões de fornecedores externos, resultaram em uma redução tanto nas filas de caminhões quanto na fila de navios. As modificações propostas na infraestrutura mediante o Cenário 2 levaram, por sua vez, a melhorias tanto nas filas de caminhões

quanto na fila de navios. Todavia a redução na fila de navios proporcionada pelo Cenário 1 foi superior à redução proporcionada pelo Cenário 2 frente à situação atual. Em relação à fila de acesso ao terminal, a redução proporcionada pelo Cenário 2 foi consideravelmente superior à redução proporcionada pelo Cenário 1. As melhorias do Cenário 2 não foram suficientes para reduzir as filas no interior do terminal. Pode concluir que a melhoria, em tal cenário, que mais gerou efeito foi o aumento do número de portarias.

O Cenário 1 levou a uma redução na emissão de poluentes na atmosfera por caminhões parados em filas de 18,10% enquanto que o Cenário 2 levou a uma redução de 43,51%.

O poluente mais emitido no cenário da situação atual foi o $NO_x$, com uma emissão anual de cerca de 2.706 toneladas. Uma vez que os fatores de emissão são idênticos, o mesmo poluente foi o mais emitido nos Cenários 1 e 2.

Os resultados mostram, ainda, para a situação atual e para o Cenário 2, picos na emissão durante certos períodos do dia devido à irregularidade de chegada de caminhões. O mesmo não foi observado no Cenário 1, pois essa configuração trata justamente da regularização de tal chegada.

Por fim, conclui-se que a metodologia utilizada foi satisfatória para cumprir os objetivos estabelecidos no início desta dissertação. A questão da utilização de simulação de eventos discretos para a obtenção de indicadores ambientais pode ser considerado como uma possibilidade real. O êxito desta alternativa justifica ainda mais a utilização de tal ferramenta em terminais portuários, uma vez que novas possibilidades são inseridas. Por outro lado, especula-se que, em alguns casos, apenas a avaliação ambiental não justifique o esforço de criação do modelo, pois, possivelmente, essa atividade poderá ser feita de outras maneiras menos onerosas.

## 8.2 Recomendações

O presente estudo avança em um tema ainda pouco explorado; dessa forma, várias recomendações de estudos futuros podem ser feitas, tais como:

- explorar outros impactos ambientais, tais como a emissão de ruídos;
- aplicar metodologia semelhante em diferentes áreas, não se limitando à área portuária;
- utilizar as emissões obtidas nesta dissertação em modelos de dispersão atmosférica;
- explorar melhor a questão da chegada de caminhões ao terminal, transformando-a em dependente da chegada de navios;

- aprimorar o modelo quanto à questão do transporte da carga entre os berços e retroárea e entre os berços e as áreas de pré-embarque;
- incluir outras variáveis no estudo como o custo financeiro das alterações sugeridas nos cenários;
- obter fatores de emissão que se encaixem melhor à frota nacional;
- incluir cenários que abranjam outros modais, como o modal ferroviário;
- incluir a emissão atmosférica dos navios na análise;
- obter dados que descrevam melhor o processo de chegada de carga ao terminal, tais como: número de caminhões que chegam ao terminal durante o dia; variação na taxa de chegada de tais caminhões ao longo do dia; tipologia da carga transportada; origem de tais caminhões; tempo médio gasto na fila de acesso ao terminal; tamanho médio da fila de acesso ao terminal.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


ABEAM, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE APOIO MARÍTIMO. Seminário Naval Offshore: Evolução do Programa de Modernização da Frota. **Site da ABEAM**, Dezembro 2012. Disponivel em: <http://www.abeam.org.br/upload/ABEAM%20NOVEMBRO%202012%20(vers_o%204).ppt>. Acesso em: 17 Dezembro 2013.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT ISO 14031 - Gestão Ambiental; Avaliação de Desempenho Ambiental; Diretrizes**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 38 p.

ALMAZ, O. A.; ALTIOK, T. Simulation modeling of the vessel traffic in Delaware River: Impact of deepening on port performance. **Elsevier**, Piscataway, 3 Janeiro 2012. 146-165.

ANTAQ, AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS -. **O Porto Verde - Modelo Ambiental Portuário**. ANTAQ. Brasília, p. 111. 2011.

ANTAQ, AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS -. **Panorama da Navegação Marítima e de Apoio - 2011**. ANTAQ. Brasília, p. 38. 2012.

ANTAQ, AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS -. **Anuário Estatístico Aquaviário 2012**. ANTAQ. Brasília. 2013.

ASSIS, L. F. **Modelos de Previsão e Análise de Fretes para Mercado de Embarcações Offshore**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ/Programa de Engenharia Oceânica, 2000. 360 p. Tese de Doutorado.

BATEMAN, R. E. et al. **Simulação de Sistemas - Aprimorando Processos de Logística, Serviços e Manufatura**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. 200 p.

BATISTA, B. C. D. **Análise das Operações com Embarcações de Apoio Offshore na Bacia de Campos - RJ**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia Oceânica, 2005. 103 p. Dissertação de Mestrado.

BNDES, BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO. **A Retomada da Indústria Naval Brasileira**. BNDES. Brasília, p. 26. 2012.

BRADSHER, K. Trucks at heart of China's diesel problems. **Sítio do The New York Times**, 2007. Disponivel em:

<http://www.nytimes.com/2007/12/07/world/asia/07iht-china.4.8638653.html?pagewanted=all&_r=0>. Acesso em: 17 Dezembro 2013.

BRITO, T. B. **Modelagem e Simulação de um Terminal Regulador de Contêineres**. XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Salvador: [s.n.]. 2009. p. 13 p.

BRITO, T. B.; BOTTER, R. C.; SILVA, R. C. D. S. Concepção de um Terminal Regulador de Contêineres como Elemento Impulsionador da Intermodalidade na Região do Porto de Santos. **Revista ADM.MADE**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 3, p. 23-39, Setembro/Dezembro 2009.

CAMELO, G. R. et al. **Teoria das Filas e da Simulação Aplicada ao Embarque de Minério de Ferro e Manganês no Terminal Marítimo de Ponta da Madeira**. XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. São Carlos: [s.n.]. 2010.

CAMPOS, A. C. IPCC Reitera que Ação Humana é Causa do Aquecimento Global. **Sítio da Revista Exame - Agência Brasil**, 2013. Disponivel em: <http://exame.abril.com.br/meio-ambiente-e-energia/sustentabilidade/noticias/ipcc-reitera-que-acao-humana-e-causa-do-aquecimento-global>. Acesso em: 17 Dezembro 2013.

CARVALHO, M. A.; BOSCARDIN, M. M. **Logística de Operações Portuárias – Modelo de Sequenciamento para o Porto de Imbetiba**. Rio de Janeiro: Escola Politécnica/UFRJ, 2010. Projeto de Graduação.

DA SILVA, C. T. **Simulação de Processos Industriais Como Ferramenta de Apoio à Gestão de Estaleiros**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia Oceânica, 2010. 149 p. Dissertação de Mestrado.

DA SILVA, L. C. Informe-se sobre: Modelagem e Simulação. **AGAIS - Armazenagem de Grãos Agroindústria e Simulação (UFES)**, 2002. Disponivel em: <http://www.agais.com/index.php?pg=main_simp>. Acesso em: 27 Março 2012.

DE ANDRADE, E. L. **Introdução à Pesquisa Operacional - Métodos e Modelos Para Análise de Decisões**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

DE MELLO, B. A. **Apostila de Modelagem e Simulação de Sistemas**. URI - Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. Santo Ângelo, p. 69. 2001.

DE OLIVEIRA, J. B. **Simulação Computacional:** Análise de um Sistema de Manufatura em Fase de Desenvolvimento. Itajubá: Universidade Federal de Engenharia de Itajubá, 2007. 155 p. Dissertação de Mestrado.

DE VALOIS, N. A. L. **Proposição do Uso de Indicadores Ambientais na Avaliação de Desempenho de Portos Brasileiros**. Recife: UFPE/CTG, 2009. 135 p. Dissertação de Mestrado.

DURAN, M. P. **Identification and Selection of Environmental Performance Indicators (EPIs) for Use In the Management of European Seaports**. Cardiff: Cardiff University/School of Earth and Ocean Sciences, 2012. 231 p. Dissertação de Mestrado.

EPE, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2020**. EPE. Brasília, p. 80. 2011.

ESCAP, ECONOMICAND SOCIAL COMMISION FOR ASIAANDTHE PACIFIC -. **Assessment of the Environmental Impact of Port Development:** a Guidebook for EIA of Port Development. Nova Iórque: ONU, 1992.

FERREIRA, M. A. M. Análise de Desempenho de Sistemas Portuários Usando Simulação Matemática e Estatística. **Revista Produção On Line**, Florianópolis, v. 7, n. 3, Novembro 2007.

FIESP, FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO; CIESP, CENTRO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Cartilha - Indicadores de Desempenho Ambiental da Indústria**. FIESP; CIESP. São Paulo, p. 28. 2004.

G1 - SÃO PAULO. Estudo aponta que poluição mata mais que o trânsito em São Paulo. **Sítio do G1 da Globo**, 2013. Disponivel em: <http://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2013/09/estudo-aponta-que-poluicao-mata-mais-que-o-transito-em-sao-paulo.html>. Acesso em: 17 Dezembro 2013.

GOULARTI FILHO, A. Melhoramentos, reaparelhamentos e modernização dos portos brasileiros: a longa e constante espera. **Economia e Sociedade**, Campinas, v. 16, n. 3 (31), p. 455-489, Dezembro 2007.

IPCC, PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Headline Statements from the Summary for Policymakers**. IPCC. Berna, p. 2. 2013.

IPEA, INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA -. **Portos Brasileiros: Diagnóstico, Políticas e Perspectivas**. IPEA. Brasil, p. 59. 2010.

KITZMANN, D.; ASMUS, M. Gestão Ambiental Portuária: Desafios e Possibilidades. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, n. 40 (6), p. 1041-1060, 2006.

LEAL NETO, A. D. C. **A Expansão do Terminal de Contêineres de Sepetiba:** Uma Aplicação da Dinâmica de Sistemas e Considerações Ambientais. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ/Planejamento Energético, 2000. 150 p. Dissertação de Mestrado.

LEOPOLD, L. B. et al. A Procedure to Evaluation Environmental Impact. **Geological Survey Circular**, Washington, n. 645, 1971. 16 p.

LOPES, H. D. S. **Modelagem e Simulação Como Ferramentas ao Diagnóstico de Sistemas:** Estudo Aplicado ao Transporte de Minério de Ferro na Hidrovia do Araguaia-Tocantins. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2008. 129 p. Dissertação de Mestrado.

MIYAGI, P. E. **Introdução à Simulação Discreta**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 31. 2004.

MORAIS, A. C. **Análise da Operacionalidade do Terminal de Produtos Siderúrgicos do Porto de Praia Mole:** Comparativo de Resultados da Teoria de Filas e Simulação Computacional. Vitória: UFES - Departamento de Engenharia de Produção, 2001. 76 p. Monografia de Especialização.

NETO, L. R. D. C. **Modelagem e Simulação da Cadeia Produtiva do Minério de Ferro**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 191 p. Dissertação de Mestrado.

OMS, ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide - Summary of risk assessment**. OMS. Geneva, Suíça. 2005.

PEREIRA, I. C. **Proposta de Sistematização da Simulação para Fabricação em Lotes**. Itajubá: Universidade Federal de Engenharia de Itajubá, 2000. 134 p. Dissertação de Mestrado.

PINHO, B. et al. **Metodologias e Ferramentas para Simulação de Processos**. Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 110. 2009.

PROMODEL CORPORATION. **Passos Para um Projeto de Simulação**. ProModel Corporation. Estados Unidos da América, p. 30. 2011. Traduzido pela Belge Consultoria do guia do usuário do ProModel.

RIBEIRO, K. S.; KOBAYASHI, S. Transport and its infrastructure. In: IPCC, P. I. D. M. C. **Climate Change 2007:** Working Group III: Mitigation of Climate Change. Nova Iorque e Cambridge: Cambridge University Press, 2007. Cap. 5, p. 323-386.

SAANEN, Y.; JOHNSON, D.; DEWAAL, A. How Simulation Modeling Can Support Environmental Initiatives at Container Terminals. **Port Technology International**, Londres, n. 45, p. 66-69.

SAKURADA, N.; MIYAKE, D. I. **Estudo comparativo de softwares de simulação de eventos discretos aplicados na modelagem de um exemplo de Loja de Serviços**. XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Ouro Preto: [s.n.]. 2003. p. 8.

SALIBY, E. et al. **Modelo de Simulação de Operações Portuárias**. ILOS - Instituto de Logística e Supply Chain. Rio de Janeiro, p. 3. 1998.

SILVEIRA, M. M. D. **Introdução ao Apoio Marítimo**. 1ª. ed. Niterói: Edição do Autor, 2013.

SÍTIO DA ANTAQ. **Institucional - ANTAQ**. Disponivel em: <http://www.antaq.gov.br/Portal/Institucional.asp>. Acesso em: 17 dez. 2013.

SÍTIO DA ANTAQ. **Meio Ambiente - Competências**. Disponivel em: <http://www.antaq.gov.br/portal/MeioAmbiente_Competencias.asp>. Acesso em: 17 Dezembro 2013.

SÍTIO DA BELGE CONSULTORIA. **Belge Consultoria**. Disponivel em: <http://www.belge.com.br/promodel.php>. Acesso em: 17 Dezembro 2013.

SÍTIO DA SECRETARIA DE PORTOS - SEP. **Secretaria de Portos - Secretaria de Portos - SEP**. Disponivel em: <http://www.portosdobrasil.gov.br/acessoainformacao/institucional/sep/>. Acesso em: 17 Dezembro 2013.

STARCREST CONSULTING GROUP, LLC. **The Port of Los Angeles Inventory of Air Emissions for Calendar Year 2005**. Port of Los Angeles. Poulsbo, p. 276. 2007.

TSITSAMIS, D.; VLACHOS, D. **Truck Operations Planning at a Container Terminal**. 1st Olympus International Conferenceon Supply Chains. Katerini: [s.n.]. 2010. p. 11.

US EPA, AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL ESTADUNIDENSE. **AP-42 - Compilation of Air Pollutant Emission Factors**. 5. ed. Carolina do Norte: US EPA, v. I, 1995.

US EPA, AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL ESTADUNIDENSE. **Guidance for Quantifying and Using Long Duration Truck Idling Emission Reductions inState Implementation Plans and Transportation Conformity**. US EPA. EUA, p. 33. 2004.

US EPA, AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL ESTADUNIDENSE. **Idling Vehicle Emissions for Passenger Cars, Light-Duty Trucks, and Heavy-Duty Trucks**. US EPA. EUA, p. 6. 2008.

VAN DUIN, J. H. R.; VAN DER HEIJDEN, R. E. C. M. Towards governance on noise between municipality and terminal operator by the use of simulation modelling. **Journal of Computational Science**, v. 3, n. 4, p. 226-227, 2012.

WANKE, P. F.; SILVEIRA, R. ; DE BARROS, F. G. **Introdução ao Planejamento da Infraestrutura e Operações Portuárias:** Aplicações de Pesquisa Operacional. 1. ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2009. 88 p.

WONG, E. As Pollution Worsens in China, Solutions Succumb to Infighting. **Sítio do The New York Times**, 2013. Disponivel em: <http://www.nytimes.com/2013/03/22/world/asia/as-chinas-environmental-woes-worsen-infighting-emerges-as-biggest-obstacle.html>. Acesso em: 17 Dezembro 2013.

# ANEXOS

# ANEXO A

Código em linguagem FORTRAN para adequação dos dados de saída das simulações.

```
! Programa para estimativas de emissão diária a partir de diferentes
!replicações
! Autor: Vinicius De Martin Sarnaglia

program Formatar_Hora

! Declaração de Variáveis
implicit none

double precision y(100000), w(48), k(48), totalw(22), totalk(22),
m(100000), resultados(22,24)

! Código configurado para 22 replicações. O valor 22 deve mudar
!conforme a necessidade.

! Tempo na fila limite de 24 horas. Após isso, o código deve ser
ligeiramente modificado.

Integer i, j, h, x(100000), totalz(22), Limite, rep

! Onde:
! i, j, k --> representam contadores;
! rep --> número de replicações do modelo;
! Limite --> representa o número de ocorrências no arquivo de entrada;
! x --> representa o horário em que detertinado evento ocorreu no
!arquivo de entrada;
! y --> representa o valor do respectivo evento no arquivo de entrada;
! w --> representa o valor total dos eventos em determinada hora do
!dia;
! totalz --> representa o número total de eventos;
! totalw --> representa o valor total dos eventos;
! totalk --> representa a média dos valores das ocorrências.


! Leitura dos dados de entrada e configuração das variáveis

open (1,file='entrada.txt')
open (2,file='saida.txt')

read(1,*) rep

do h=1,rep

    do j=1,48

          w(j)=0
```

```
    end do

    totalw(h)=0
    totalz(h)=0
    totalk(h)=0

    read(1,*) Limite

    do i=1,Limite

        read(1,*) x(i), m(i), y(i)

!Trecho abaixo usado apenas para filas nas áreas de pré-embarque

!       if (y(i).gt.5) then
!           y(i)=5
!       end if

!Trecho abaixo usado apenas para fila da retroárea.

!       if (y(i).gt.8) then
!           y(i)=8
!       end if

    end do

! Estimativa dos valores

! Código preparado para períodos de até 8 horas na fila. Limite pode
!ser extendido com o desenvolvimento da lógica de forma direta.

    do i=1,Limite

        do j=25,48

            if (x(i).eq.j) then

                totalz(h)=totalz(h)+1
                totalw(h)=totalw(h)+y(i)

                if ((y(i)*60).gt.m(i)) then

                    w(j)=w(j)+(m(i)/60)

                    if (((y(i)*60)-m(i)).le.60) then

                        w(j-1)=w(j-1)+((y(i)*60)-m(i))/60

                  else if ((((y(i)*60)-m(i)).gt.60).and.(((y(i)*60)- &
m(i)).le.120)) then

                        w(j-1)=w(j-1)+1

                        w(j-2)=w(j-2)+((y(i)*60)-m(i))/60-1

                    else if ((((y(i)*60)- &
m(i)).gt.120).and.(((y(i)*60)-m(i)).le.180)) then

                        w(j-1)=w(j-1)+1

                        w(j-2)=w(j-2)+1
```

```
                        w(j-3)=w(j-3)+((y(i)*60)-m(i))/60-2

                    else if ((((y(i)*60)- &
m(i)).gt.180).and.(((y(i)*60)-m(i)).le.240)) then

                        w(j-1)=w(j-1)+1

                        w(j-2)=w(j-2)+1

                        w(j-3)=w(j-3)+1

                        w(j-4)=w(j-4)+((y(i)*60)-m(i))/60-3

                    else if ((((y(i)*60)- &
m(i)).gt.240).and.(((y(i)*60)-m(i)).le.300)) then

                        w(j-1)=w(j-1)+1

                        w(j-2)=w(j-2)+1

                        w(j-3)=w(j-3)+1

                        w(j-4)=w(j-4)+1

                        w(j-5)=w(j-5)+((y(i)*60)-m(i))/60-4

                    else if ((((y(i)*60)- &
m(i)).gt.300).and.(((y(i)*60)-m(i)).le.360)) then

                        w(j-1)=w(j-1)+1

                        w(j-2)=w(j-2)+1

                        w(j-3)=w(j-3)+1

                        w(j-4)=w(j-4)+1

                        w(j-5)=w(j-5)+1

                        w(j-6)=w(j-6)+((y(i)*60)-m(i))/60-5

                    else if ((((y(i)*60)- &
m(i)).gt.360).and.(((y(i)*60)-m(i)).le.420)) then

                        w(j-1)=w(j-1)+1

                        w(j-2)=w(j-2)+1

                        w(j-3)=w(j-3)+1

                        w(j-4)=w(j-4)+1

                        w(j-5)=w(j-5)+1

                        w(j-6)=w(j-6)+1

                        w(j-7)=w(j-7)+((y(i)*60)-m(i))/60-6

                    else if ((((y(i)*60)- &
m(i)).gt.420).and.(((y(i)*60)-m(i)).le.480)) then
```

```
                        w(j-1)=w(j-1)+1
                        w(j-2)=w(j-2)+1
                        w(j-3)=w(j-3)+1
                        w(j-4)=w(j-4)+1
                        w(j-5)=w(j-5)+1
                        w(j-6)=w(j-6)+1
                        w(j-7)=w(j-7)+1
                        w(j-8)=w(j-8)+((y(i)*60)-m(i))/60-7
                     end if
                else
                    w(j)=w(j)+y(i)
                end if
            end if
        end do
    end do
    do j=1,24
    w(j)=w(j)+w(j+24)
    end do

    do j=1,24
    resultados(h,j)=w(j)/365
    end do

! Impressão dos resultados
write(2,*) "Replicação", h
totalk(h)=totalw(h)/totalz(h)

write(2,*) "média anual de horas emitindo"
        write(2,*) totalk(h)
write(2,*) "Total de horas emitindo em um ano dividido por hora:"
        do j=1,24
        write(2,*) j, w(j)
```

```
        end do
write(2,*) "Total de horas emitindo em um ano:"
        write(2,*) totalw(h)
write(2,*) "Horas emitindo dividida por períodos do dia (média &
anual):"
        do j=1,24
        write(2,*) j, w(j)/365
        end do
end do
write(2,*) "Resultados gerais:"
write(2,*) "média anual de horas emitindo"
    do h=1,rep
        write(2,*) h, totalk(h)
    end do
write(2,*) "Total de horas emitindo em um ano:"
    do h=1,rep
        write(2,*) h,  totalw(h)
    end do
write(2,*) "Horas emitindo dividida por períodos do dia (média &
anual):"
do j=1,24
! Impressão configurada para 22 replicações
    write(2,10) resultados(1,j), resultados(2,j), resultados(3,j), &
resultados(4,j), resultados(5,j), resultados(6,j), &
      resultados(7,j), resultados(8,j), resultados(9,j), &
resultados(10,j), resultados(11,j), resultados(12,j), &
      resultados(13,j), resultados(14,j), resultados(15,j), &
resultados(16,j), resultados(17,j), resultados(18,j), &
      resultados(19,j), resultados(20,j), resultados(21,j), &
resultados(22,j)
end do
10 format(22(F8.4,1X))
close (1)
close (2)
      end
```

# ANEXO B

Para o funcionamento do sistema, é necessária uma série de dados e informações complementares. Tais dados têm origens em outros estudos ou foram considerações feitas nesta pesquisa. Dessa forma, os dados utilizados serão divididos e apresentados de forma semelhante ao item 6.1, incluindo-se as suas respectivas fontes.

*Dados Gerais:*

- Velocidade dos caminhões dentro do terminal: 82 metros por minuto;
- Número de caminhões internos ao terminal (Carvalho e Boscardin, 2010): 13.
- Funcionamento das portarias (Carvalho e Boscardin, 2010): 24 horas por dia, exceto nos períodos:
    - 07:00 h - 07:30 h;
    - 11:30 h - 12:00 h;
    - 13:20 h - 13:40 h;
    - 17:00 h -17:30 h.

*Chegada da Carga:*

- Número de caminhões que fazem o transporte entre o pátio de tubos e o terminal de forma permanente: 17 (Carvalho e Boscardin, 2010);
- Tempo de deslocamento entre o pátio de tubos e o terminal (13 km) (Saliby *et. al.*, 1998): 2 horas;
- Número de caminhões em relação a cada tipo de carga que fazem o transporte entre o pátio de tubos e o terminal de forma permanente:
    - tubos: 3
    - cargas gerais, químicos e materiais pesados: 13
    - granéis: 1
- Número de caminhões que chegam por dia de fornecedores externos em relação ao tipo de carga transportada:
    - tubos: 4
    - cargas gerais, químicos e materiais pesados: 55
    - granéis: 5.
- Distribuição de chegada ao longo do dia dos caminhões provenientes de fornecedores: considerou-se que taxa de chegada de caminhões de fornecedores

externos é variável ao longo do dia, ou seja, existem alguns períodos do dia em que chegam mais caminhões de fornecedores externos do que em outros; como curva base para este estudo, utilizou-se a curva presente em Tsitsamis e Vlachos (2010); entretanto algumas modificações foram necessárias para se chegar à Figura B.1:

- a curva base não apresentava taxa de chegada de caminhões para alguns períodos pois o porto original não funciona em tais horários; sendo assim, foi feita uma extrapolação com base em linhas de tendência (ajuste exponencial foi o que melhor se ajustou);
- uma vez extrapolada, a curva foi modificada em unidade de "porcentagem do número de caminhões que chegam naquele período em relação ao número total diário" em vez de "número de caminhões que chegam em determinado período";
- optou-se por modificar o intervalo de cada período para uma hora em vez de 15 minutos;
- foi utilizada a mesma curva para todos os tipos de cargas.

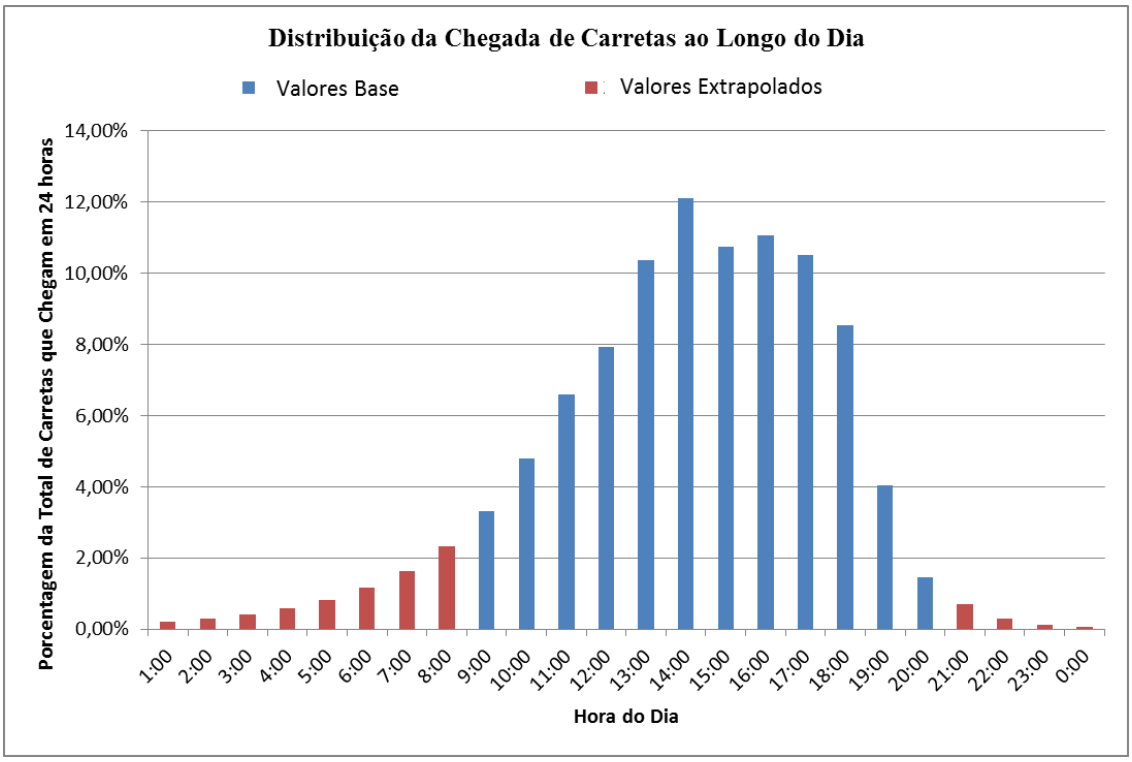



**Figura B.1. Distribuição da chegada de caminhões de Fornecedores Externos ao longo do dia.**

- Regra da entrada de caminhões no terminal: FIFO;
- Número de caminhões atendidos simultaneamente na Portaria de Entrada: 1 caminhão;
- Tempo de inspeção da carga e documentação na portaria de entrada: 5 minutos;
- Regra na entrada de caminhões nas áreas de pré-embarque: FIFO;
- Número máximo de caminhões nas filas de acesso às áreas de pré-embarque:
  - pré-embarque de tubos: 5 caminhões;

    - pré-embarque de cargas gerais, químicos e materiais pesados: 8 caminhões.
    - pré-embarque de granéis: 5 caminhões;
- Número de caminhões externos ao terminal sendo descarregadas simultaneamente nas áreas de pré-embarque:
    - pré-embarque de tubos: 1 caminhão;
    - pré-embarque de cargas gerais, químicos e materiais pesados: 3 caminhões.
    - pré-embarque de granéis: 1 caminhão;
- Tempo gasto na verificação e descarregamento da carga (minutos):
    - pré-embarque de tubos: distribuição log-normal com média 21 e desvio padrão igual a 2;
    - pré-embarque de cargas gerais, químicos e materiais pesados: distribuição log-normal com média 19 e desvio padrão igual a 2;
    - pré-embarque de granéis: distribuição log-normal com média 19 e desvio padrão igual a 2.
- Capacidade de cada área de pré-embarque: segundo Carvalho e Boscardin (2010), as áreas de pré-embarque têm capacidade igual ao armazenado por 3 embarcações, capacidade essa que será mostrada posteriormente:
    - pré-embarque de granéis: carga equivalente a 6 caminhões;
    - pré-embarque de tubos: carga equivalente a 6 caminhões;
    - pré-embarque de cargas gerais, químicos e materiais pesados: carga equivalente a 36 caminhões.

*Chegada dos Navios:*

- Distribuição de chegada de navios: para a definição do intervalo entre as chegadas das embarcações, foram utilizadas distribuições estatísticas presentes em Batista (2005) (algumas foram ligeiramente alteradas devido a dúvidas na leitura das fórmulas).

**Tabela B.1. Distribuições dos intervalos de chegada de navios divididos por tipo.**

**Fonte: adaptado de Batista, 2005**

| Tipo de Embarcação | Código no Modelo | Distribuição Adotada | Fórmula no ProModel |
|---|---|---|---|
| AHTS | 1 | Weibull(0,98;20,18)<br>Valor de forma = 0,98<br>Valor de escala = 201,8 | W(0.98, 20.18) |
| GENSUB | 2 | Beta(1,08;1,36) *610 + 12,55<br>Coef. de forma 1 = 1,08<br>Coef. de forma 2 = 1,36<br>Valor mínimo = 0<br>Valor máximo = 1 | B(1.08, 1.36, 0, 1)*610 +12.55 |

| Tipo de Embarcação | Código no Modelo | Distribuição Adotada | Fórmula no ProModel |
|---|---|---|---|
| GEODE+ GEODÉSIA | 3 | Weibull(1,31;360)<br>Valor de forma = 1,31<br>Valor de escala = 360 | W(1.31, 360) |
| GFLUI | 4 | Gaussiana Inversa (250;205)<br>Valor de forma = 250<br>Valor de escala = 205 | IG(250,205) |
| LH | 5 | Expon(36,07)<br>Média = 36,07 | E(36.07) |
| MS | 6 | Lognormal(159;282)<br>Média = 159<br>Desvio Padrão = 282 | L(159, 282) |
| OUTROS | 7 | Weibull(1,42;800)<br>Valor de forma = 1,42<br>Valor de escala = 800 | W(1.42, 800) |
| PSV | 8 | Beta(0,94;3,22) *44<br>Coef. de forma 1 = 0,94<br>Coef. de forma 2 = 3,22<br>Valor mínimo = 0<br>Valor máximo = 1 | 44 * B(0.94, 3.22, 0, 1) |
| PSV FLUIDO | 9 | Weibull(1,18;45,39)<br>Valor de forma = 1,18<br>Valor de escala = 45,39 | W(1.18, 45.39) |
| SA | 10 | Lognormal(299;376)<br>Média = 299<br>Desvio Padrão = 376 | L(299, 376) |
| SB | 11 | Weibull(1,04;4,94)<br>Valor de forma = 1,04<br>Valor de escala = 4,94 | W(1.04, 4.95) |
| SB GR | 12 | PearsonV(3,80;641)<br>Valor de forma = 3,80<br>Valor de escala = 641 | P5(3.80, 641) |
| SB OD | 13 | Weibull(1,05;82,37)<br>Valor de forma = 1,05<br>Valor de escala = 82,37 | W(1.05, 82.37) |
| TS | 14 | PearsonVI(3,28;3,01;69,49)<br>Coef. de forma 1 = 3,28<br>Coef. de forma 2 = 3,01<br>Valor de escala = 69,49 | P6(3.28, 3.01, 69.49) |
| UT4 | 15 | Weibull(1,15;9,1)<br>Valor de forma = 1,15<br>Valor de escala = 9,1 | W(1.15, 9.1) |

- Tempo de deslocamento da área de fundeio até os berços (Batista, 2005):

**Tabela B. 2. Tempo de deslocamento da área de fundeio até os berços por tipo de embarcação**

**Fonte: Batista, 2005**

| Tipo de Embarcação | Tempo (horas) |
|---|---|
| AHTS | 1,285739 |
| GENSUB | 1,3432 |
| GEODE+GEODÉSIA | 0,763077 |
| GFLUI | 1,36125 |
| LH | 0,886408 |
| MS | 1,089655 |
| OUTROS | 1,426429 |
| PSV | 1,083074 |
| PSV FLUIDO | 1,262234 |
| SA | 1,001212 |
| SB | 1,051088 |
| SB GR | 1,044865 |
| SB OD | 0,976413 |
| TS | 1,093846 |
| UT4 | 0,72279 |

- Tipos de embarcações considerados: para simplificação do modelo, exceto em relação às distribuições de chegada das embarcações no sistema e ao tempo de deslocamento do fundeio aos berços, as embarcações foram divididas em 4 tipos em vez de 15, da seguinte maneira:
    - *Supply*: AHTS, PSV, PSV FLUIDO;
    - Expressão: SA, SB;
    - Expressinho: LH, MS, UT4;
    - Outros: GENSUB, GEODE+GEODÉSIA, GFLUI, OUTROS, SB GR, SB OD, TS.
- Regra de alocação de navios: regra FIFO; entretanto considerou-se uma limitação discutida anteriormente, em que não é possível atracar mais de 4 navios do tipo *supply* ao mesmo tempo; dessa forma, é possível que um navio desse tipo dê passagem para outros, mesmo sendo o próximo da fila a ser alocado;

*Descarregamento:*

- Volume de material descarregado por embarcação (adaptado de Carvalho e Boscardin, 2010):
    - *Supply*: equivalente a 11 caminhões;
    - Expressão: equivalente a 6 caminhões;
    - Expressinho: equivalente a 2 caminhões;

    - Outros: equivalente a 2 caminhões.
- Tempo gasto na transferência da carga da embarcação para o caminhão interno do terminal (Carvalho e Boscardin, 2010): 24 minutos;
- Tempo de descarregamento da carga recebida dos navios nas retroáreas (minutos): distribuição log-normal com média 20 e desvio padrão igual a 2;
- Regra dos caminhões externos ao terminal na entrada das retroáreas: FIFO;
- Capacidade da retroárea: carga de 100 caminhões (valor configurado para que a retroárea não seja um fator limitante);
- Número de caminhões que podem ser carregados simultaneamente na retroárea: 1.
- Tempo de carregamento dos caminhões externos ao terminal com a carga recebida dos navios (minutos): distribuição normal com média 16 e desvio padrão igual a 2.

*Carregamento:*

- Tempo gasto no carregamento do caminhão interno do terminal (minutos):
    - pré-embarque de tubos: distribuição log-normal com média 13 e desvio padrão igual a 2;
    - pré-embarque de cargas gerais, químicos e materiais pesados: distribuição log-normal com média 12 e desvio padrão igual a 2;
- Tempo gasto para mover a carga de cada caminhão para a embarcação (minutos):
    - pré-embarque de tubos: distribuição log-normal com média 26 e desvio padrão igual a 2;
    - pré-embarque de cargas gerais, químicos e materiais pesados: distribuição log-normal com média 27 e desvio padrão igual a 2;
- Volume de carga em cada em cada embarcação (adaptado de Carvalho e Boscardin, 2010):
    - *Supply*: equivalente a 14 caminhões (sendo 2 de tubos e 12 de cargas gerais, químicos e materiais pesados);
    - Expressão: equivalente a 8 caminhões (sendo 2 de tubos e 12 de cargas gerais, químicos e materiais pesados);
    - Expressinho: equivalente a 3 caminhões de cargas gerais, químicos e materiais pesados;
    - Outros: equivalente a 3 caminhões de cargas gerais, químicos e materiais pesados além de um tempo de espera entre 5 e 10 horas para a realização de operações que não sejam relacionadas ao transporte de cargas.
- Ressalta-se, ainda, que granéis não são transportados até os navios por caminhões e, sim, por dutos, processo esse que ocorre simultaneamente ao carregamento de outros tipos de carga. Dessa forma, esse processo não foi modelado, considerando-se, apenas, que navios do tipo *supply* retiram o

equivalente a dois caminhões de granéis do volume armazenado no que se refere a granéis que entram no sistema via caminhões (cimento, fluido de perfuração, entre outros).

*Destinação dos Caminhões:*

- Tempo gasto para inspeção dos caminhões na portaria de saída: 5 minutos;
- Tempo gasto pelos caminhões no pátio de tubos: 60 minutos.

# ANEXO C

Abaixo, segue o passo-a-passo do processo de modelagem da situação atual do modelo.

## C.1. Informações Gerais do Modelo

O primeiro passo é a configuração das informações gerais do modelo (Figura C.1). Aqui definiu-se que as unidades padrões do modelo serão horas para unidade de tempo e metros para unidade de distância. Também foi definido o título do modelo e a biblioteca gráfica utilizada. Foi utilizada um biblioteca gráfica que acompanha o ProModel; dessa forma, não foi necessária a criação de uma.

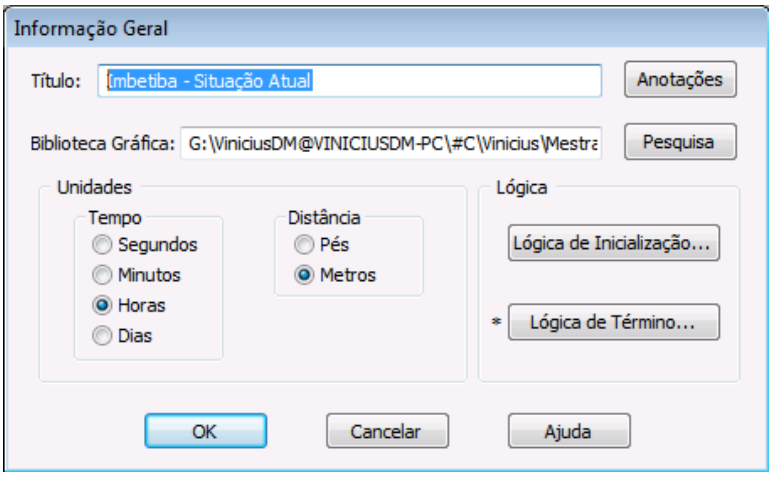



**Figura C.1. Inserção da informações gerais do modelo.**

## C.2. Inserção do *Layout*

O segundo passo no processo de modelagem foi a inserção do *layout* como uma imagem de fundo do modelo. A imagem foi construída com base em imagens aéreas e configurações (layouts) do porto de Imbetiba.

O uso de imagens aéreas associado a um código computacional de geoprocessamento possibilitou a construção de uma imagem georreferenciada e com feições de seus elementos proporcionais entre si (Figura C.2).

Como pode ser visto com grande destaque na Figura C.2, foi incluída uma grade com as coordenadas em um espaçamento de 100 m, o que possibilitou que a escala da figura fosse facilmente ajustada segundo a grade do modelo. Inserir a escala no modelo é de grande ajuda, pois, no momento em que as redes forem construídas, os seus tamanhos serão estimados automaticamente.

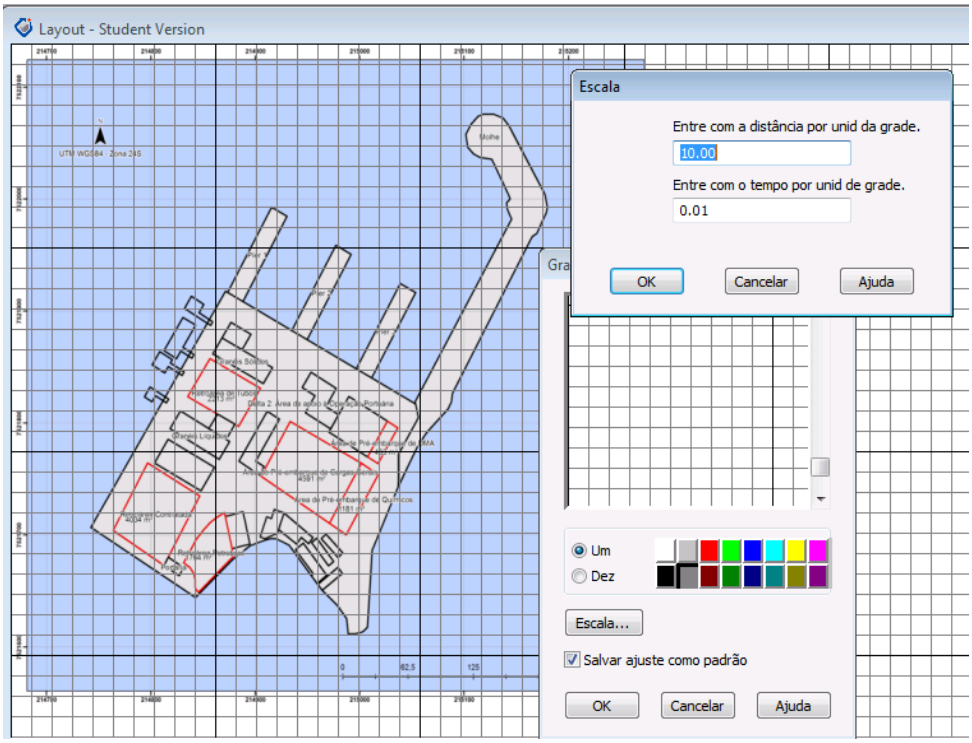



**Figura C.2. Inserção do *layout* do terminal e escala adequada.**

## C.3. Inserção dos Locais no Modelo

Seguindo o conceito do que se denominou de locais, conforme apresentado no item 5.1.1, inicia-se, neste ponto, a correspondente implementação no modelo. A versão do ProModel utilizada traz um limite de 20 locais, e todos eles foram utilizados.

Os locais devem ser inseridos no modelo em consonância com o esboço ou configuração (*layout*) construída. Além de ajudar o processo de modelagem por meio da imagem que é construída ao se inserir os locais, o posicionamento correto dos locais influencia no modelo, uma vez que a distância entre os mesmos é calculada de forma automática, já que se estabeleceu uma escala.

Além do posicionamento correto, os locais devem ser configurados em relação a outros aspectos, como:

- nome;
- capacidade;
- unidades;
- existência de paradas;
- como serão levantados os dados estatísticos;
- regras de decisão quanto às entidades presentes; e
- anotações pertinentes.

Todos os locais no modelo possuem apenas uma unidade; todavia possuem uma capacidade variável. Além disso, todos os locais têm suas informações levantadas em formato de série de tempo. A regra, em todos os locais, para o processo de decisão da ordem da fila, é que o mais velho tem a prioridade. Além disso, não é configurada qualquer parada no funcionamento dos locais. As interrupções no funcionamento das portarias citadas no Anexo B são configuradas pela designação de turno, uma vez que as paradas são realizadas no mesmo horário todos os dias. Os locais utilizados no modelo são apresentados na Tabela C.1.

**Tabela C.1. Lista dos locais utilizados no modelo.**

| Código | Nome | Nome no Modelo | Capacidade | Comentários |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Portaria de Entrada | Portaria_Entrada | 1 | Representa a portaria de entrada do terminal |
| 2 | Portaria de Saída | Portaria_Saida | 1 | Representa a portaria de saída do terminal |
| 3 | Pátio de Tubos | Patio_de_Tubos | Infinita | Área onde grande parte da carga é armazenada |
| 4 | Fila de caminhões no Acesso ao Terminal | Fila_Caminhao | Infinita | |
| 5 | Área de Fundeio dos Navios | Fundeio | Infinita | Área onde os navios aguardam a oportunidade de atracar |
| 6 | Berço de Atracação 1 | Berco_1 | 1 | |
| 7 | Berço de Atracação 2 | Berco_2 | 1 | |
| 8 | Berço de Atracação 3 | Berco_3 | 1 | |
| 9 | Berço de Atracação 4 | Berco_4 | 1 | |
| 10 | Berço de Atracação 5 | Berco_5 | 1 | |
| 11 | Berço de Atracação | Berco_6 | 1 | |

| Código | Nome | Nome no Modelo | Capacidade | Comentários |
|---|---|---|---|---|
| | 6 | | | |
| 12 | Área de Pré-Embarque de Tubos | Pre_Tubos | 7 | Área onde a carga de tubos aguarda para ser carregada |
| 13 | Área de Pré-Embarque de Cargas Gerais, Químicos e DMA | Pre_CG_Quim_DMA | 38 | Área onde as cargas de cargas gerais, químicos e materiais pesados (DMA) aguardam para serem carregadas |
| 14 | Área de Pré-Embarque de Granéis Líquidos e Sólidos | Pre_Graneis | 7 | Área onde a carga de granéis sólidos e líquidos aguarda para serem carregadas |
| 15 | Área de Descarga dos Navios | Descarga_de_Navios | 100 | Representa a área onde toda a carga é descarregada pelos navios antes de ir para as retroáreas |
| 16 | Retroáreas | Retroarea | 100 | Representa todas as retroáreas do sistema |
| 17 | Fila no Acesso à Área de Pré-Embarque de Tubos | Fila_Tubos | 10 | |
| 18 | Fila no Acesso à Área de Pré-Embarque de Cargas Gerais, Químicos e DMA | Fila_CG_Quim_DMA | 10 | |
| 19 | Fila no Acesso à Área de Pré-Embarque de Granéis Líquidos e Sólidos | Fila_Graneis | 10 | |
| 20 | Fila no Acesso às Retroáreas | Fila_Retroarea | 10 | |

De acordo com a coluna “código” da tabela acima, os locais são apresentados em relação ao layout do terminal estudado na Figura C.3. Os dois únicos locais que possuem ícones são a “portaria de entrada” e a “portaria de saída”, que, além da representação gráfica de uma portaria, possuem um círculo ao lado, que varia de cor durante a simulação de acordo com o estado de funcionamento do respectivo local.

Todos os outros locais são representados por um quadrado vermelho com um símbolo x branco. Tal símbolo não aparece durante a simulação, representando somente a posição no *layout* onde o respectivo local estaria.

O fundeio é representado por vários itens apenas para que a animação reproduzida durante a simulação mostre vários navios aguardando na fila quando isso ocorrer. Ainda assim, tais pontos contam apenas como um único local no modelo.

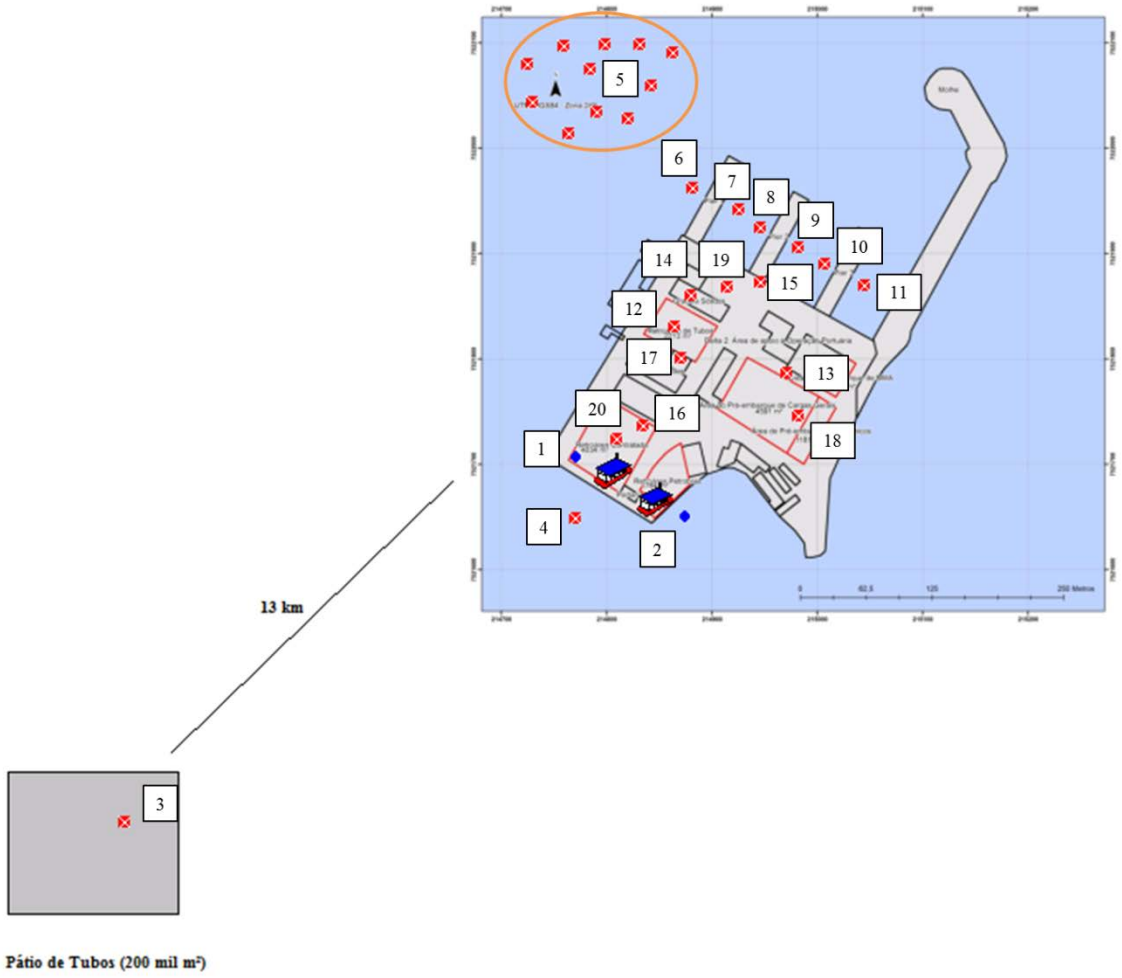



**Figura C.3. Posicionamento dos locais no *layout*.**

## C.4. Inserção das Redes

A única rede utilizada na construção do modelo visa representar o arruamento do terminal por onde os caminhões se locomovem. Ela está representada na Figura C.4 no formato de linhas e pequenos pontos azuis. As linhas azuis representam as ruas (“caminhos” no modelo), enquanto os círculos azuis, chamados de “nós”, representam os cruzamentos entre os caminhos ou pontos de conexão entre os locais e a rede. As “interfaces” entre os locais e a rede são representadas por linhas azuis tracejadas.

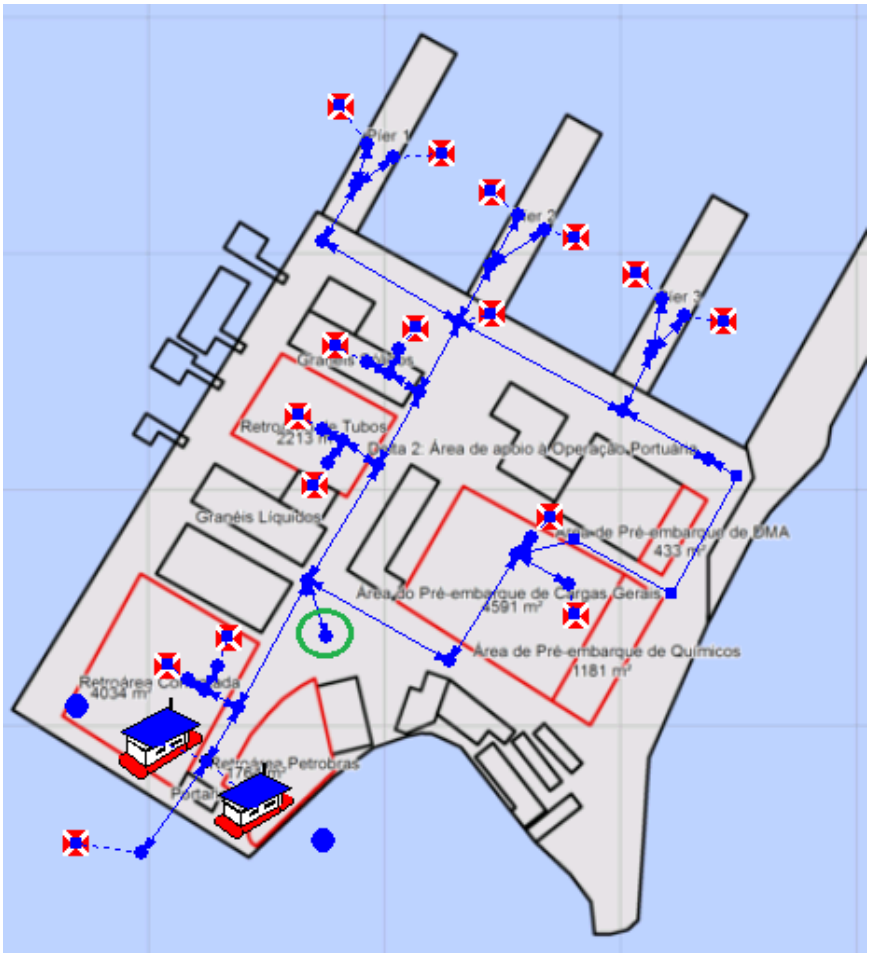



**Figura C.4. Posicionamento no *layout* da rede que representa o arruamento do terminal estudado.**

As extensões das ruas são calculadas automaticamente pelo modelo no momento de sua construção, uma vez que a escala do *layout* foi ajustada (item C.2). A rede foi configurada como “não passante”, o que significa que os caminhões não podem realizar ultrapassagens nas ruas do terminal. Além disso, toda a rede foi considerada “bidirecional”, o que implica que as ruas são de mão dupla. Além disso, é possível estabelecer limites para o número de entidades presentes em determinados nós. Assim, foi possível limitar o número de caminhões na entrada das áreas de pré-embarque, berços, e retroáreas.

O nó em destaque com o círculo verde representa onde os caminhões internos do terminal ficam estacionados quando ociosos.

Os únicos locais que não são conectados ao arruamento do terminal são o pátio de tubos e o fundeio.

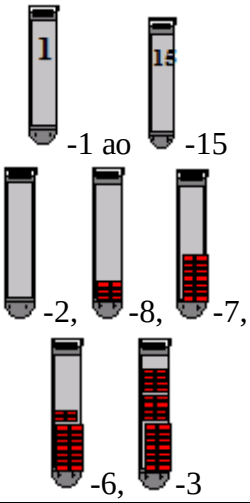
## C.5. Inserção das Entidades no Modelo

A versão do ProModel utilizada comporta o uso de até 8 entidades; entretanto, foi possível a implementação do estudo de caso utilizando-se apenas 5. Essa alternativa foi possível graças à possibilidade de atribuir atributos às entidades; dessa forma, uma mesma entidade pôde ter diversas funcionalidades e variações no modelo de acordo com os atributos dela.

As informações básicas a serem atribuídas às entidades são apenas as suas velocidades de deslocamento, o modo de como dados estatísticos são delas coletados e os seus correspondentes ícones na animação do modelo. Cada entidade pode possuir mais de um ícone que segue determinado código.

As 5 entidades criadas no modelo são apresentas na Tabela C.2.

**Tabela C.2. Entidades utilizadas no modelo.**

| Nome no Modelo | Ícone e Código | Comentários |
|---|---|---|
| Caminhão_Externo | -1<br>-2<br>-3 | Essa entidade representa os caminhões externos ao terminal, e seu código e respectiva cor variam de acordo com a carga |
| Navio |  -1 ao -15<br>-2, -8, -7,<br>-6, -3 | A numeração dos navios de 1 a 15 fazem referência ao tipo de navio que ele, enquanto os outros ícones são utilizados meramente para representar o carregamento do navio na animação |
| Carga | -1<br>-2<br>-3 | Entidade que representa a carga a ser carregada nos navios, e sua cor varia de acordo com tipo do material transportado |
| Carga_Descarregada | -1 | Representa o material descarregado pelos navios |
| Tempo | Sem Ícone | Essa entidade serve apenas para zerar alguns indicadores quando entra no sistema |

A estimativa da velocidade da entidade é importante apenas no caso da entidade caminhão_externo, pois influencia no deslocamento dele dentro do terminal. Apesar da entidade navio também apresentar um deslocamento no modelo, o tempo de

deslocamento é feito com base em dados pretéritos (Batista, 2005) e não com base em sua velocidade. Já para as entidades carga e carga_descarregada se deslocarem, o movimento é feito com base em outras entidades e recursos do modelo. A entidade tempo não se desloca no modelo.

As informações de todas as entidades são levantadas por meio de séries de tempo.

Nos itens abaixo, serão discutidos a questão dos atributos pertinentes às entidades e como funciona a entrada delas no sistema.

## C.6. Atributos das Entidades

O pacote utilizado permite o uso de 5 atributos diferentes; assim, toda essa capacidade foi utilizada no processo de modelagem. Como dito anteriormente, os atributos possuem um papel muito importante no modelo, pois ajudam na diferenciação das entidades.

As informações necessárias aos atributos passam pelo seu nome, referindo-se a uma entidade ou a um local; neste estudo, todos os atributos são relativos a entidades e se é um número inteiro ou real (Tabela C.3).

**Tabela C.3. Atributos utilizados no modelo.**

| Atributo | Entidade | Classificação | Comentários |
|---|---|---|---|
| aTipo_Navio | Navio | Inteiro | Atributo que corresponde ao código do tipo da entidade Navio:<br>AHTS<br>GENSUB<br>GEODE+GEODÉSIA<br>GFLUI<br>LH<br>MS<br>OUTROS<br>PSV<br>PSV FLUIDO<br>SA<br>SB<br>SB GR<br>SB OD<br>TS<br>UT4 |
| aTipo_Caminhão | Caminhão_Externo | Inteiro | Refere-se à procedência da entidade:<br>1 - Procedente do pátio de tubos;<br>2 - Procedente de |

| Atributo | Entidade | Classificação | Comentários |
|---|---|---|---|
| | | | fornecedores externos. |
| aTipo_Carga | Carga | Inteiro | Refere-se ao tipo de carga, e designa sua respectiva cor:<br>1 – tubos<br>2 - cargas gerais, químicos e DMA<br>3 – granéis sólidos e líquidos |
| aTipo_Carga_Caminhão | Caminhão_Externo | Inteiro | Refere-se ao tipo de carga transportada pelo caminhão, e designa sua respectiva cor:<br>1 – tubos<br>2 - cargas gerais, químicos e DMA<br>3 – granéis sólidos e líquidos |
| aTempo_Fila | Caminhão_Externo | Real | Atributo utilizado para medir o tempo de permanência da entidade caminhão_externo em filas |

## C.7. Entrada das Entidades no Sistema

Após serem criadas, deve-se configurar, no ProModel, como funcionam as entradas das entidades no sistema. Cada entidade pode entrar no sistema de várias formas diferentes. Os elementos básicos a serem configurados para cada entidade são:

- local onde a entidade entra no sistema;
- a quantidade em cada entrada;
- quando ocorre a primeira entrada;
- o número de ocorrências;
- a frequência das entradas; e
- possíveis lógicas a serem processadas no momento de entrada.

O processo de entrada no sistema das entidades caminhão_externo, navio e tempo são apresentadas abaixo. As entidades carga e carga_descarregada não entram no sistema, e sim, são criadas dentro do mesmo, como será descrito no item C.10.

*Caminhão_Externo:*

Tal entidade entra no sistema por dois locais diferentes, pátio de tubos e fila de caminhões. Ao entrarem no sistema, cada caminhão recebe um valor referente ao atributo atipo_caminhão. Os caminhões que entram no sistema via pátio de tubos recebem o valor 1, enquanto as que chegam direto na fila de caminhões são provenientes diretamente de fornecedores externos que recebem o valor 2 (Tabela C.3).

Além disso, no momento que entram no sistema, recebem um valor referente ao tipo de carga transportada; assim, o atributo atipo_carga_caminhão recebe um número

de 1 a 3 (Tabela C.3). Além disso, o comando GRAPHIC é utilizado para que a entidade mude o seu ícone (Tabela C.2).

Uma grande diferença entre as chegadas de caminhões de fornecedores externos e de caminhões provenientes do pátio de tubos é que os primeiros entram no sistema ao longo de todo o período de simulação; já os provenientes do pátio de tubos entram no sistema apenas uma vez, no início da simulação. Entretanto, tais caminhões operam em regime de rota entre o terminal e o pátio de tubos, sendo que os provenientes de fornecedores externos saem do sistema após concluírem suas operações.

Os caminhões provenientes dos fornecedores externos têm sua chegada regida pelo gráfico da Figura 6.4, que indica uma variação na taxa de chegada ao longo do dia. Tal variação é utilizada no modelo no formato de um ciclo de chegada intitulado Ciclo_Caminhao_Fornecedores. Esse item foi configurado de acordo com a porcentagem do total diário que entra no sistema durante cada intervalo de uma hora (Tabela C.4).

**Tabela C.4. Porcentagem do total de caminhões de fornecedores externos que entra a cada dia no sistema.**

| Período (em horas) | Porcentagem de Chegadas |
|---|---|
| 00:00 - 01:00 | 0,20% |
| 01:00 - 02:00 | 0,28% |
| 02:00 - 03:00 | 0,40% |
| 03:00 - 04:00 | 0,57% |
| 04:00 - 05:00 | 0,81% |
| 05:00 - 06:00 | 1,15% |
| 06:00 - 07:00 | 1,63% |
| 07:00 - 08:00 | 2,32% |
| 08:00 - 09:00 | 3,32% |
| 09:00 - 10:00 | 4,79% |
| 10:00 - 11:00 | 6,59% |
| 11:00 - 12:00 | 7,93% |
| 12:00 - 13:00 | 10,36% |
| 13:00 - 14:00 | 12,11% |
| 14:00 - 15:00 | 10,76% |
| 15:00 - 16:00 | 11,06% |
| 16:00 - 17:00 | 10,51% |
| 17:00 - 18:00 | 8,54% |
| 18:00 - 19:00 | 4,03% |
| 19:00 - 20:00 | 1,46% |
| 20:00 - 21:00 | 0,69% |
| 21:00 - 22:00 | 0,30% |
| 22:00 - 23:00 | 0,13% |
| 23:00 - 24:00 | 0,06% |

Já os caminhões do pátio de tubos entram no sistema a cada 1 hora no primeiro dia, até que entrem todos os 17 caminhões.

O número de caminhões por tipo de carga foi apresentado no Anexo B.

*Navio:*

A entrada de todos os tipos de navios no sistema ocorre na área de fundeio. Foram configurados 15 tipos de entradas diferentes no modelo, cada uma referente a determinado tipo de navio obedecendo à respectiva distribuição estatística (Anexo B). Não foi configurado um momento exato para que cada tipo de navio entre no sistema, sendo que tal momento é estimado via as distribuições de chegada.

Ao entrar no sistema, a entidade navio recebe um valor para seu atributo atipo_navio, segundo o seu tipo. Nesse momento, o seu ícone altera-se fazendo referência ao seu tipo, utilizando-se, novamente, o comando GRAPHIC.

A possibilidade de se atribuir o tipo de navio à entidade gerou uma grande economia no uso de diferentes tipos de entidades. Caso fosse utilizada uma entidade para cada tipo de navio, a versão do ProModel adquirida não seria capaz de atender a demanda. Exemplos como esse mostram a necessidade de se adaptar o modelo aos recursos disponíveis sem prejuízo de desempenho.

*Tempo:*

A entrada dessa entidade acontece no pátio de tubos, mas esse fato não representa diferença no funcionamento do modelo. A grande questão é que essa entidade entra no modelo exatamente às 0:00 h do primeiro dia de simulação, após o tempo de aquecimento. Ela tem a funcionalidade de zerar uma série de variáveis do modelo no momento em que entra no sistema, tornando a obtenção de dados mais simples. Sendo assim, ela entra apenas uma vez no sistema durante todo o período de simulação.

## C.8. Inserção dos Recursos do Sistema

O único recurso utilizado nesta simulação são os “Caminhões Internos” do terminal (Figura C.5). Em um total de 13, funcionam 24 horas por dia. As configurações desse recurso são:

- velocidade vazio - 82 metros por minuto;
- velocidade cheio - 82 metros por minuto;
- aceleração - 1 m/s²;
- desaceleração - 1 m/s²;

Quando alguma entidade requisitar o uso desse recurso, será escolhido o recurso mais próximo, caso disponível. Assim como, quando o uso de recursos for solicitado, será atendida a entidade com maior tempo de espera.

**Figura C.5. Ícone do recurso Caminhões Internos.**

Além disso, quando os caminhões internos do terminal estiverem ociosos, eles são deslocados para o pátio (destacado na Figura C.5).

## C.9. Inserção de Variáveis

As variáveis globais do sistema têm como principais configurações o fato de serem de números reais ou inteiros e o valor inicial. No sistema estudado, todas as variáveis são iniciadas com o valor zero (0) e são estimadas apenas com números inteiros (Tabela C.5).

**Tabela C.5. Lista de variáveis utilizadas.**

| Nome da Variável | Comentários |
|---|---|
| Navios_carregados | Representa o número de navios que já foram carregados no sistema |
| Navios_na_Fila | Representa o número de navios que estão aguardando no fundeio |
| Navios_ingressos | Representa o número de navios que já entraram no sistema |
| Navios_no_porto | Representa o número de navios que estão atracados no momento |
| Tubos_Ingressos | Quantidade de materiais classificados como tubos que já entraram no sistema |
| Tubos_Carregados | Quantidade de materiais classificados como tubos que já saíram do sistema |
| Tubos_Patio | Quantidade de materiais classificados como tubos que atualmente estão no sistema |
| Graneis_Ingressos | Quantidade de materiais classificados como granéis que já entraram no sistema |
| Graneis_Carregados | Quantidade de materiais classificados como granéis que já saíram do sistema |
| Graneis_Patio | Quantidade de materiais classificados como granéis que atualmente estão no sistema |
| CG_Quim_DMA_Ingressas | Quantidade de materiais classificados como as cargas de cargas gerais ou químicos ou materiais pesados (DMA) que já entraram no sistema |
| CG_Quim_DMA_Carregadas | Quantidade de materiais classificados como as |

| Nome da Variável | Comentários |
|---|---|
| | cargas de cargas gerais ou químicos ou materiais pesados (DMA) que já saíram do sistema |
| CG_Quim_DMA_Patio | Quantidade de materiais classificados como as cargas de cargas gerais ou químicos ou materiais pesados (DMA) que atualmente estão no sistema |
| Materiais_Descarregados_Ingressos | Quantidade de materiais descarregados pelos navios que já entraram no sistema |
| Materiais_Descarregados_Carregados | Quantidade de materiais descarregados pelos navios que já saíram do sistema |
| Materiais_Descarregados_Retroarea | Quantidade de materiais descarregados pelos navios que atualmente estão no sistema |
| Navio_1 | Representa o número de navios do tipo 1 que já entraram no sistema |
| Navio_2 | Representa o número de navios do tipo 2 que já entraram no sistema |
| Navio_3 | Representa o número de navios do tipo 3 que já entraram no sistema |
| Navio_4 | Representa o número de navios do tipo 4 que já entraram no sistema |
| Navio_5 | Representa o número de navios do tipo 5 que já entraram no sistema |
| Navio_6 | Representa o número de navios do tipo 6 que já entraram no sistema |
| Navio_7 | Representa o número de navios do tipo 7 que já entraram no sistema |
| Navio_8 | Representa o número de navios do tipo 8 que já entraram no sistema |
| Navio_9 | Representa o número de navios do tipo 9 que já entraram no sistema |
| Navio_10 | Representa o número de navios do tipo 10 que já entraram no sistema |
| Navio_11 | Representa o número de navios do tipo 11 que já entraram no sistema |
| Navio_12 | Representa o número de navios do tipo 12 que já entraram no sistema |
| Navio_13 | Representa o número de navios do tipo 13 que já entraram no sistema |
| Navio_14 | Representa o número de navios do tipo 14 que já entraram no sistema |
| Navio_15 | Representa o número de navios do tipo 15 que já entraram no sistema |
| Navios_S_Berco | Representa o número de navios do tipo *Supply* que estão atracados no berço |
| Caminhões_Rejeitados_Tubos | Número de caminhões transportando materiais do tipo tubos que voltaram para a fila devido à lotação do terminal |

| Nome da Variável | Comentários |
|---|---|
| Caminhões_Rejeitados_CG_Quim_D | Número de caminhões transportando materiais do tipo cargas gerais ou químicos ou materiais pesados (DMA) que voltaram para a fila devido à lotação do terminal |
| Caminhões_Rejeitados_Granéis | Número de caminhões transportando materiais do tipo granéis que voltaram para a fila devido à lotação do terminal |

Ícones que mostram o valor da respectiva variável podem ser adicionados ao modelo para que sejam exibidos durante a animação (Figura C.6).

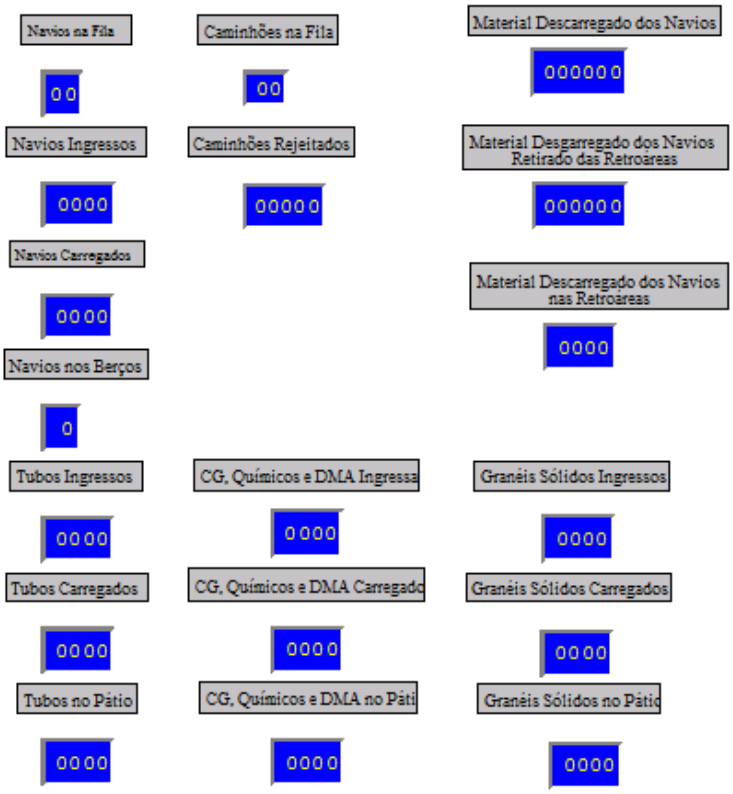



**Figura C.6. Ícones das variáveis adicionadas ao *layout*.**

## C.10. Processos do Sistema

Como orientado no item 5.1.1, o passo seguinte é a construção dos processos que interligam os diversos elementos construídos nos itens acima. Cada processo é determinado por:

- entidade que sofre o processo;
- entidade que sai do processo (no presente estudo, nenhuma das entidades é transformada em outra; assim, a entidade de entrada no processo é sempre a mesma de saída);

- local onde o processo ocorre;
- operação que ocorre no local;
- local para onde a entidade será destinada seguindo diferentes rotas;
- regras de roteamento;
- lógica de roteamento.

Os processos são representados no *layout* por setas que indicam o sentido do deslocamento, e não, necessariamente, a rota exata do deslocamento (Figura C.7), sendo que os processos que implicam saída do sistema não são representados graficamente.

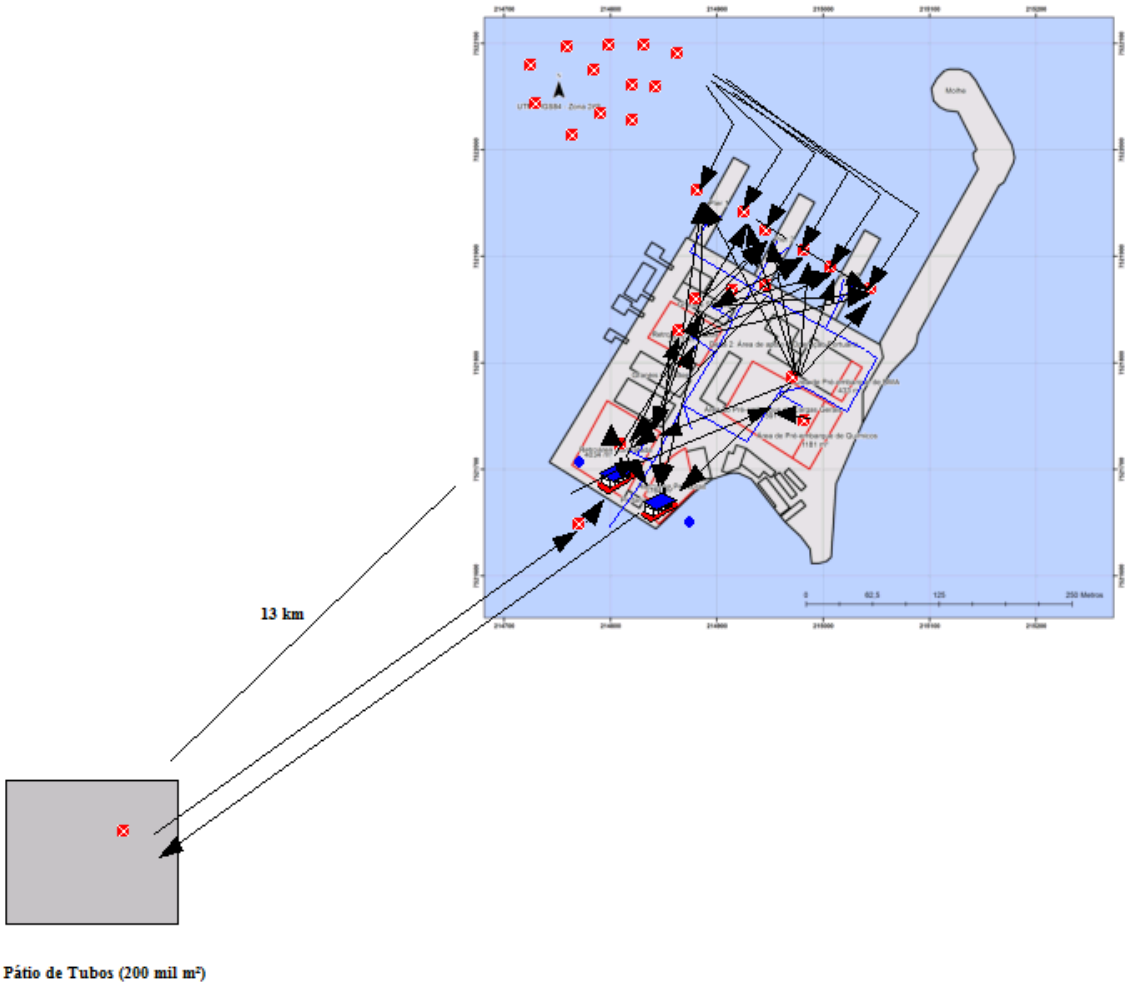



**Figura C.7. Processos existentes no sistema.**

A lista dos processos considerados no sistema é apresentada na Tabela C.6.

**Tabela C.6. Processos do sistema em estudo.**

| Subsistema | Entidade | Local | Operação | Rotas e Regras | Lógica de Movimento |
|---|---|---|---|---|---|
| Chegada de Carga | Caminhão_Externo | Fila_Caminhão | O atributo aTempo_Fila recebe o horário atual na simulação. | Portaria_Entrada.<br><br>A entidade aguarda até a Portaria estar liberada e desloca-se para ela seguindo a regra FIFO. | O LOG "Tempo Fila" mede o tempo transcorrido entre o momento atual da simulação e momento em que o atributo aTempo_Fila teve seu valor definido;<br><br>A entidade move-se pelo arruamento. |
| Chegada de Carga | Caminhão_Externo | Pátio_de_Tubos | A entidade aguarda 30 minutos e descarrega o material retirado da retroárea, caso possua algum. | Fila_Caminhao<br><br>Regra: FIFO | A entidade desloca-se por 120 minutos. |
| Chegada de Carga | Caminhão_Externo | Portaria_Entrada. | A entidade aguarda 5 minutos para fiscalização;<br><br>Caso o caminhão tenha o atributo aTipo_Carga=1, nem a Fila_Tubos e nem a Pré_Tubos estejam cheias, ela segue a rota 1; caso contrário, segue a rota 4;<br><br>Caso o caminhão tenha o atributo aTipo_Carga=1, e nem a Fila_ CG_Quim_DMA e nem a Pré_ CG_Quim_DMA estejam cheias, ela segue a rota 2; caso contrário, segue a rota 4; | Rotas:<br>Fila_Tubos<br>Fila_CG_Quim_DMA<br>Fila_Granéis<br>Fila_Caminhão<br><br>Regra: FIFO | A entidade move-se pelo arruamento. |

| Subsistema | Entidade | Local | Operação | Rotas e Regras | Lógica de Movimento |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Caso o caminhão tenha o atributo aTipo_Carga=1, e a nem a Fila_ Granéis e nem a Pré_Granéis estejam cheias, ela segue a rota 3; caso contrário, segue a rota 4. | | |
| Chegada de Carga | Caminhão_Externo | Fila_Tubos | A entidade aguarda até o momento em que a Pré_Tubos não esteja cheia ou com algum caminhão em operação. | Pre_Tubos;<br><br>Regra: FIFO | A entidade move-se pelo arruamento. |
| Chegada de Carga | Caminhão_Externo | Fila_CG_Quim_ DMA | A entidade aguarda até o momento em que a Pré_CG_Quim_DMA não esteja cheia (ou próxima disso) ou com mais de dois caminhões em operação. | Pre_CG_Quim_DMA;<br><br>Regra: FIFO | A entidade move-se pelo arruamento. |
| Chegada de Carga | Caminhão_Externo | Fila_Graneis | A entidade aguarda até o momento em que a Pré_Granéis não esteja cheia ou com algum caminhão em operação. | Pre_Graneis;<br><br>Regra: FIFO | A entidade move-se pelo arruamento. |
| Chegada de Carga | Caminhão_Externo | Pre_Tubos | A entidade aguarda 19 minutos, 4 referentes a uma conferência da carga e 15 ao processo de descarregamento;<br><br>Caso exista algum material descarregado na retroárea, a entidade segue a rota 1; caso contrário, rota 2. | Rotas:<br>Fila_Retroarea<br>Portaria_Saida<br><br>Regra: FIFO | É criada a entidade Carga no Local Pré_Tubos;<br><br>As variáveis Tubos_Ingressos e Tubos_Pátio são adicionados pelo valor de 1;<br><br>A entidade move-se pelo arruamento |
| Chegada de | Caminhão_Externo | Pre_CG_Quim_ | A entidade aguarda 19 minutos, 4 | Rotas: | É criada a entidade |

| Subsistema | Entidade | Local | Operação | Rotas e Regras | Lógica de Movimento |
|---|---|---|---|---|---|
| Carga | | DMA | referentes a uma conferência da carga e 15 ao processo de descarregamento;<br><br>Caso exista algum material descarregado na retroárea, a entidade segue a rota 1; caso contrário, rota 2. | Fila_Retroarea<br>Portaria_Saida<br><br>Regra: FIFO | Carga no local Pre_CG_Quim_DMA;<br><br>As variáveis CG_Quim_DMA_Ingressas e CG_Quim_DMA_Patio são adicionados pelo valor de 1;<br><br>A entidade move-se pelo arruamento |
| Chegada de Carga | Caminhão_Externo | Pré_Granéis | A entidade aguarda 19 minutos, 4 referentes a uma conferência da carga e 15 ao processo de descarregamento;<br><br>Caso exista algum material descarregado na retroárea, a entidade segue a rota 1, caso contrário, rota 2. | Rotas:<br>Fila_Retroarea<br>Portaria_Saida<br><br>Regra: FIFO | É criada a entidade Carga no local Pré_Granéis;<br><br>As variáveis Granéis_Ingressos e Granéis_Patio são adicionadas pelo valor de 1;<br><br>A entidade move-se pelo arruamento. |
| Chegada dos Navios | Navio | Fundeio | As variáveis Navios_na_Fila e Navios_ingressos são adicionados pelo valor de 1;<br><br>Se o atributo da entidade aTipo_Navio for igual a n, a variável Navio_n é acrescida pelo valor de 1, sendo que n varia de 1 a 15, e o | Berco_1;<br>Berco_2;<br>Berco_3;<br>Berco_4;<br>Berco_5;<br>Berco_6.<br><br>Regra: FIFO e primeiro | A Variável Navios_na_Fila tem seu valor reduzido em 1;<br><br>A entidade desloca-se até o respectivo berço, sendo que o tempo de |

| Subsistema | Entidade | Local | Operação | Rotas e Regras | Lógica de Movimento |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | ícone do navio é modificado de acordo com o seu tipo;<br><br>Caso o atributo aTipo_Navio seja igual a 1, 8 ou 9, o navio é considerado como de *supply*; sendo assim, não pode haver mais de 4 navios atracados desse tipo ao mesmo tempo devido a limitações do terminal. Dessa forma, os navios desse tipo aguardam até a variável Navios_S_Berco ser menor que 4. Uma vez que isso aconteça, o navio é liberado, e Navios_S_Berco é acrescido pelo valor de 1. | berço disponível. | deslocamento é determinado pelo seu atributo aTipo_Navio. |
| Descarregamento/Carregamento | Navio | Berco_1 ou Berco_2 ou Berco_3 ou Berco_4 ou Berco_5 ou Berco_6 | Caso o atributo aTipo_Navio seja igual a 1, 8 ou 9:são criadas 11 entidades Carga_Descarregada (uma a cada 24 minutos) no local Descarga_de_Navios e a variável Materiais_Descarregados_Ingressos é acrescida por igual valor; é requisitado o carregamento de 2 entidades Cargas com aTipo_Carga=1, 12 entidades Cargas com aTipo_Carga=2 e 2 entidades Cargas com aTipo_Carga=3; ao final, a variável Navios_S_Berco tem seu valor reduzido em 1.<br><br>Caso o atributo aTipo_Navio seja igual a 10 ou 11, são criadas 6 | Sai do sistema | |

| Subsistema | Entidade | Local | Operação | Rotas e Regras | Lógica de Movimento |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | entidades Carga_Descarregada (uma a cada 24 minutos) no local Descarga_de_Navios, e a variável Materiais_Descarregados_Ingressos é acrescida por igual valor; é requisitado o carregamento de 1 entidade Cargas com aTipo_Carga=1 e 7 entidades Cargas com aTipo_Carga=2.<br><br>Caso o atributo aTipo_Navio seja igual a 2, 3, 4, 5, 6, 7, 12, 13,14 ou 15 são criadas 2 entidades Carga_Descarregada (uma a cada 24 minutos) no local Descarga_de_Navios, e a variável Materiais_Descarregados_Ingressos é acrescida por igual valor; é requisitado o carregamento de 3 entidades Cargas com aTipo_Carga=2.<br><br>Caso o atributo aTipo_Navio seja igual a 3 ou 12, a entidade será retida 10 horas para realizar atividades especiais;<br>caso o atributo aTipo_Navio seja igual a 4 ou 13, a entidade será retida 5 horas para realizar atividades especiais;<br><br>Ao longo das operações, o ícone da | | |

| Subsistema | Entidade | Local | Operação | Rotas e Regras | Lógica de Movimento |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | entidade muda diversas vezes para retratar o processo de descarregamento e carregamento dos navios;<br><br>Após o fim do carregamento, a variável Navios_no_porto tem seu valor decrescido em 1, e a variável Navios_carregados tem seu valor acrescido em 1. | | |
| Descarregamento | Carga_Descarregada | Descarga_de_Naios | | Retroárea<br><br>Regra: FIFO | A entidade requisita uma unidade do Recurso Caminhao_Interno;<br><br>Aguarda 24 minutos para o carregamento;<br><br>Desloca-se junto ao Caminhao_Interno;<br><br>Aguarda 20 minutos para o descarregamento e libera o Caminhão_Interno;<br><br>Incrementa a variável Materiais_Descarregados_Retro em 1. |
| Descarregamento | Carga_Descarregada | Retroárea | | Retroárea<br><br>Requisita o carregamento a | |

| Subsistema | Entidade | Local | Operação | Rotas e Regras | Lógica de Movimento |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ser feito pela entidade Caminhão_Externo | |
| Descarregamento | Caminhão_Externo | Fila_Retroarea | A entidade aguarda até que o momento em que não tenha qualquer caminhão operando no local de destino. | Retroarea<br><br>Regra: FIFO. | A entidade move-se pelo arruamento |
| Descarregamento | Caminhão_Externo | Retroárea | Uma entidade carga_descarregada é carregada;<br><br>A entidade carregada aguarda 5 minutos;<br><br>A variável Materiais_Descarregados_Retro tem seu valor decrescido em 1 enquanto que a Materiais_Descarregados_Carregados tem seu valor acrescido em 1. | Portaria_Saida<br><br>Regra: FIFO. | A entidade move-se pelo arruamento |
| Descarregamento | Carga_Descarregada | Pátio_de_Tubos | | Sai do sistema. | |
| Carregamento | Carga | Pré_Tubos | A entidade tem seu atributo aTipo_Carga igualado a 1 e tem sem ícone modificado para o respectivo tipo de carga. | Berco_1;<br>Berco_2;<br>Berco_3;<br>Berco_4;<br>Berco_5;<br>Berco_6.<br><br>Regra: a Entidade vai para onde ela é solicitada. | A entidade requisita uma unidade do Recurso Caminhão_Interno;<br><br>Aguarda 12 minutos para o carregamento;<br><br>Decresce a variável Tubos_Patio em 1;<br><br>Desloca-se junto ao |

| Subsistema | Entidade | Local | Operação | Rotas e Regras | Lógica de Movimento |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Caminhão_Interno;<br><br>Aguarda 26 minutos para o descarregamento e libera o Caminhão_Interno;<br><br>Incrementa a variável Tubos_Carregados em 1; |
| Carregamento | Carga | Pré_CG_Quim_ DMA | A entidade tem seu atributo aTipo_Carga igualado a 2 e tem sem ícone modificado para o respectivo tipo de carga. | Berco_1;<br>Berco_2;<br>Berco_3;<br>Berco_4;<br>Berco_5;<br>Berco_6.<br><br>Regra: a Entidade vai para onde ela é solicitada. | A entidade requisita uma unidade do Recurso Caminhão_Interno;<br><br>Aguarda 12 minutos para o carregamento;<br><br>Decresce a variável CG_Quim_DMA_Patio em 1;<br><br>Desloca-se junto ao Caminhão_Interno;<br><br>Aguarda 26 minutos para o descarregamento e libera o Caminhão_Interno;<br><br>Incrementa a variável CG_Quim_DMA_Carr |

| Subsistema | Entidade | Local | Operação | Rotas e Regras | Lógica de Movimento |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | egadas em 1; |
| Carregamento | Carga | Pré_Granéis | A entidade tem seu atributo aTipo_Carga igualado a 3 e tem sem ícone modificado para o respectivo tipo de carga. | Berco_1;<br>Berco_2;<br>Berco_3;<br>Berco_4;<br>Berco_5;<br>Berco_6.<br><br>Regra: a Entidade vai para onde ela é solicitada. | Decresce a variável Granéis_Patio em 1;<br><br>Incrementa a variável Granéis_Carregados em 1; |
| Destinação dos Caminhões | Caminhão_Externo | Portaria_Saida | A Entidade aguarda 5 minutos para inspeção;<br><br>Caso a Entidade seja proveniente do Patio_de_Tubos, ela seguirá a rota 1;<br><br>Caso seja proveniente de um fornecedor externo, ela seguirá a rota 2. | Rotas:<br>Pátio_de_Tubos;<br>Sai do Sistema.<br><br>Regra: FIFO | Desloca-se por 120 minutos, caso vá em direção ao Pátio_de_Tubos. |
| | Tempo | Pátio_de_Tubos | Zera as seguintes variáveis:<br><br>Graneis_Ingressos;<br>CG_Quim_DMA_Ingressas;<br>Tubos_Carregados;<br>Graneis_Carregados;<br>CG_Quim_DMA_Carregadas;<br>Caminhoes_Rejeitados_Tubos;<br>Caminhoes_Rejeitados_CG_Quim_DMA;<br>Caminhoes_Rejeitados_Graneis;<br>Materiais_Descarregados_Ingressos;<br>Materiais_Descarregados_Carregado | Sai do Sistema | |

| Subsistema | Entidade | Local | Operação | Rotas e Regras | Lógica de Movimento |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | s;<br>Navio_1;<br>Navio_2;<br>Navio_3;<br>Navio_4;<br>Navio_5;<br>Navio_6;<br>Navio_7;<br>Navio_8;<br>Navio_9;<br>Navio_10;<br>Navio_11;<br>Navio_12;<br>Navio_13;<br>Navio_14;<br>Navio_15. | | |

## C.11. Configurações de Simulação

Por fim, é configurado o processo de simulação em si. Aqui é inserido, no ProModel, o período de simulação, tempo de aquecimento e número de replicações (Figura C.8).

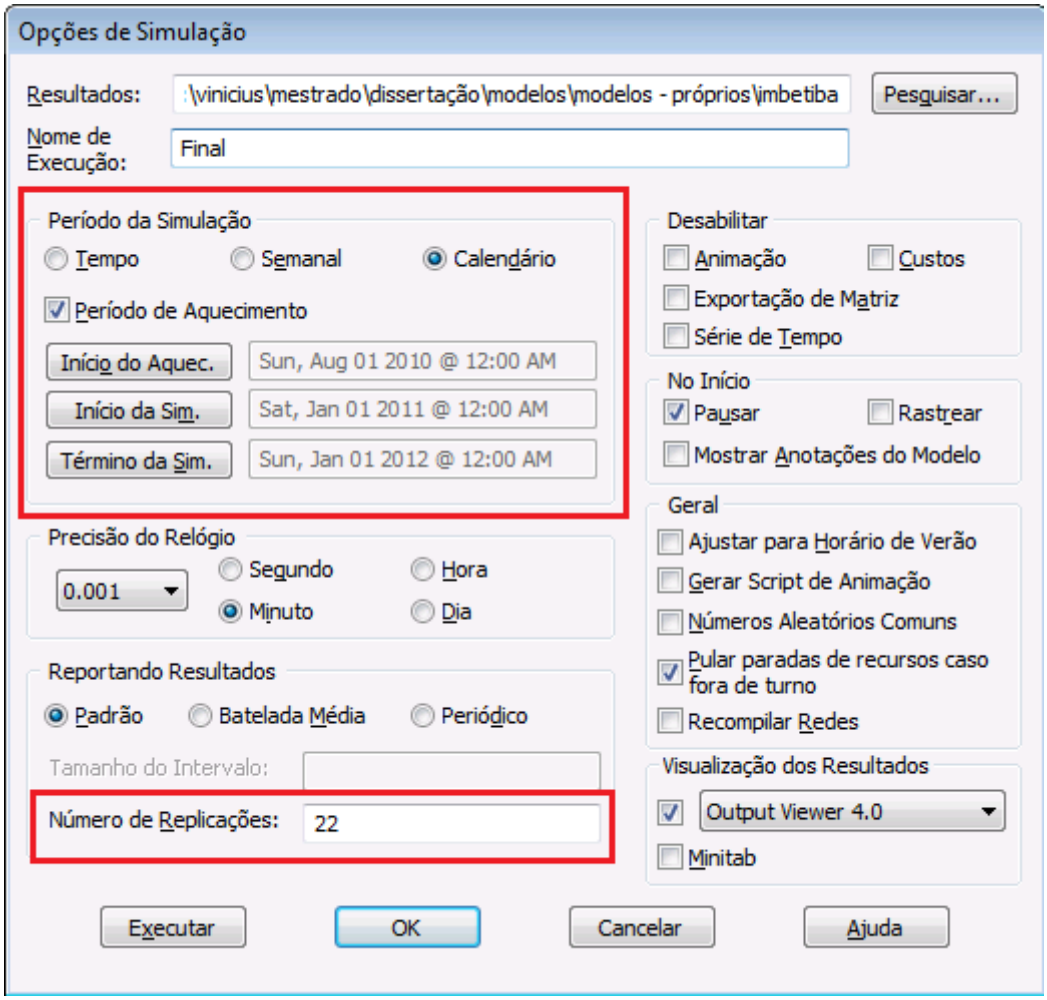



**Figura C.8. Configurações de simulação.**