

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA

ALEXANDRE FONT JULIÁ

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO PARA  
DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA INTEGRADO PÁTIO-PORTO  
NA CADEIA DO MINÉRIO DE FERRO

São Paulo  
2010

ALEXANDRE FONT JULIÁ

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO PARA  
DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA INTEGRADO PÁTIO-PORTO  
NA CADEIA DO MINÉRIO DE FERRO

Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo para obtenção do título de Pós-  
Graduação em Engenharia de  
Sistemas Logísticos.

São Paulo  
2010

ALEXANDRE FONT JULIÁ

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO PARA  
DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA INTEGRADO PÁTIO-PORTO  
NA CADEIA DO MINÉRIO DE FERRO

Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo para obtenção do título de Pós-  
Graduação em Engenharia de  
Sistemas Logísticos.

Área de Concentração:  
Engenharia de Produção

Orientador: Prof. Dr. Rui Carlos Botter.

São Paulo  
2010

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**Juliá, Alexandre Font**

**Desenvolvimento de um modelo de simulação para dimensionamento de um sistema integrado pátio-porto na cadeia do minério de ferro / A.F. Juliá. -- São Paulo, 2010.**

**p.**

**Dissertação (Mestrado Interdepartamental em Engenharia de Sistemas Logísticos) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.**

**1. Logística (Administração) 2. Transporte de carga (Dimensionamento; Simulação) I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica II. t.**

Nome: JULIÁ, Alexandre Font.

Título: Desenvolvimento de um modelo de simulação para dimensionamento de um sistema integrado pátio-porto na cadeia do minério de ferro.

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Logísticos.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof Dr. \_\_\_\_\_

Julgamento: \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof Dr. \_\_\_\_\_

Julgamento: \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof Dr. \_\_\_\_\_

Julgamento: \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

Dedico este trabalho aos meus pais, Manoel e Mônica, à minha irmã Renata, e em especial a minha esposa Maria Luiza, pelo grandioso apoio, paciência, carinho e confiança.

## **AGRADECIMENTOS**

A SAMARCO Mineração, por prezar o aperfeiçoamento contínuo de seus recursos humanos e disponibilizar todos os recursos necessários para elaboração deste trabalho.

Agradeço a todos que participaram deste trabalho em todos os momentos de sua elaboração. De forma especial agradeço:

Aos Engenheiros Maury de Souza Junior e Denílson Rodrigues de Araújo por terem propiciado as condições necessárias para o início deste trabalho, confiando-me este desafio. E aos Engenheiros Cláudio Goulart e Francisco Pinheiro por não terem medido esforços em auxiliar na continuidade e desenvolvimento do mesmo.

Ao engenheiro Gabriel Rossoni Silva, pela grande ajuda na elaboração deste trabalho, tendo sido uma das fontes inspiradoras na redação do mesmo. Também pela grande amizade e consideração construída ao longo desta jornada.

Agradeço aos membros da equipe de marketing e vendas, em especial, ao Ricardo Melo, Haroldo Elias, Hélio Cardoso e à equipe de planejamento integrado que ajudaram muito no direcionamento deste trabalho.

Aos amigos Bruno Cezar, Cleto, Glauco, Laherce, Nemer, Otaviano, Plínio, Rafael, Simone, Tatiana, Vinícius e Virgílio pelas contribuições, discussões e suporte técnico de alta qualidade na elaboração deste trabalho.

À Escola politécnica da Universidade de São Paulo, pela oportunidade da realização do curso de mestrado.

Aos professores Dr. Rui Carlos Botter e Dr. Cláudio Barbieri da Cunha, pela orientação, atenção e apoio durante todo o processo de elaboração desta dissertação.

## **RESUMO**

No presente trabalho é proposto o desenvolvimento de um modelo de simulação para o dimensionamento de um sistema integrado pátio-porto aplicando o modelo em uma empresa do ramo de mineração. É feita uma revisão bibliográfica dos conceitos de simulação, dos elementos que compõem os sistemas de pátio e porto para produtos granéis, e de trabalhos relacionados ao tema. O trabalho apresenta uma análise entre possíveis cenários de expansão do sistema pátio-porto através de métricas definidas e faz uma comparação entre cada cenário proposto.

Palavras-chave: Simulação. Sistema integrado pátio-porto. Mineração.

## **ABSTRACT**

This paper proposes the development of a simulation model for the assessment of an integrated stockyard-port system through the use of the model in a mining company. It is done a bibliographic revision of the simulation concepts, of the elements which set up the stockyard and port systems for bulk cargoes and of studies related to the subject. The paper presents an analysis among possible upgrade scenarios of the stockyard-port system through chosen metrics and does a comparison between each proposed scenario.

Keyword: Simulation. Integrated Stockyard-port system. Mining.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Rotas tradicionais de produção de aço (Araújo 2007).....	20
Figura 2– Passos de um estudo de modelagem e simulação (Fonte: Freitas, 2001)	48
Figura 3– Empilhamento pelo método Cone Shell. ....	57
Figura 4– Empilhamento pelo método Chevrom .....	58
Figura 5– Empilhamento pelo método windrow.....	60
Figura 6– Método de empilhamento Samarco (Fonte: O Autor).....	61
Figura 7– Retomador de lança com roda de caçambas (Flender, 2009) .....	63
Figura 8– Shiploader com bico telescópico no porto de Lianyungang na China .....	67
Figura 9– Pátios de estocagem.....	71
Figura 10– Porto de Ponta ubu (Fonte: Acervo Samarco Mineração).....	77
Figura 11– <i>Shiploader</i> (Fonte: Acervo Samarco Mineração) .....	77
Figura 12– Fluxograma referente à operação dos navios .....	81
Figura 13– Tempos desde a chegada do navio até sua saída do terminal .....	85
Figura 14– Fluxograma referente à operação de carregamento dos navios .....	86
Figura 15 –Operação de empilhamento de pelotas e <i>pellet-screening</i> .....	89
Figura 16 – Fluxograma referente à operação de empilhamento de <i>pellet-feed</i> .....	90
Figura 17 – Fluxograma referente à retirada das pelotas da pilha de emergência....	90
Figura 18 – Médias acumuladas para 300 replicações. ....	121
Figura 19 – Comparação entre os cenários .....	147

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Exportação mundial de minério de ferro por país. (AME 2009) .....	17
Gráfico 2 – Preços de minério de ferro (AME, 2009).....	21
Gráfico 3 – Trajetória de um sistema dinâmico de variável contínua (SDVC) .....	36
Gráfico 4– Trajetória de um sistema dinâmico de eventos discretos (SDED). .....	37
Gráfico 5– Exemplo de um sistema contínuo discretizado.....	38
Gráfico 6 – Curva de distribuição de chegada dos navios em relação ao laydays....	96
Gráfico 7– Proporção de chegada no porto dos navios por tipo de produto. ....	99
Gráfico 8 – Curva de distribuição de tempo de manobra de atracação.....	100
Gráfico 9 – Curva de distribuição de tempo de manobra de desatracação.....	101
Gráfico 10 – Navios que tiveram condições meteorológicas adversas .....	102
Gráfico 11 – Distribuição de tempo parado por mau-tempo.....	102
Gráfico 12 – Probabilidade de um navio aguardar maré para desatracação .....	103
Gráfico 13 – Distribuição de tempo aguardando maré para desatracação .....	103
Gráfico 14 – Curva de distribuição do tempo entre atracação e liberação do navio	104
Gráfico 15 –Tempo entre liberação e início do carregamento.....	105
Gráfico 16 – Disponibilidade da linha de carregamento .....	106
Gráfico 17 – distribuição do tempo intrínseco .....	107
Gráfico 18 – Distribuição dos tempos parados por tipo de navio .....	107
Gráfico 19 - Distribuição dos tempos perdidos durante o carregamento.....	108
Gráfico 20 - Taxa efetiva de carregamento de navios panamax. ....	109
Gráfico 21 - Taxa efetiva de carregamento de navios panamax. ....	110
Gráfico 22 – Taxa de carregamento global para navios panamax .....	111
Gráfico 23 – Taxa de carregamento global para navios panamax .....	112
Gráfico 24 – Tempo entre fim de carregamento e desatracação do navio.....	113
Gráfico 25 – Curva de distribuição de produção horária da usina 1 .....	114
Gráfico 26 – Curva de distribuição de produção horária da usina 2.....	114
Gráfico 27 – Curva de distribuição de produção horária da usina 3.....	115
Gráfico 28 – Curva de Distribuição de volume de produção de pellet-feed por dia.	116
Gráfico 29 – Disponibilidade dos equipamentos do pátio.....	116
Gráfico 30 –Ocupação dos berços, e dos equipamentos do pátio .....	144

Gráfico 31 – Análise do demurrage e do tempo de espera de cada cenário.....	145
Gráfico 32 – Análise da taxa de carregamento global de cada cenário. ....	146

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Benefícios da simulação mais citados (Hollocks, 1992).....	41
Tabela 2– propriedades dos granéis .....	56
Tabela 3– Priorização do local e equipamento que fará o empilhamento .....	73
Tabela 4– Priorização do pátio e do equipamento para retirar o material do pátio ...	75
Tabela 5– Restrições dimensionais do porto de Ponta Ubu.....	76
Tabela 6 – percentual de tamanhos de navios atendidos no porto .....	97
Tabela 7 – percentual de navios panamax e capesize atendidos no porto .....	98
Tabela 8 – Dados de entrada do modelo .....	117
Tabela 9 - Tabela comparativa com os dados reais e resultado modelo .....	119
Tabela 10– variação da média acumulada das variáveis.....	121
Tabela 11 – Prioridade dos equipamentos do pátio para os cenários 5A, 5B, 9A e 9B .....	125
Tabela 12 – Prioridade dos equipamentos do pátio para os cenários 6A, 6B, 10A e 10B.....	125
Tabela 13 – Prioridade dos equipamentos do pátio para os cenários 7A, 7B, 11A e 11B.....	126
Tabela 14 – Prioridade dos equipamentos do pátio para os cenários 8A, 8B, 12A e 12B.....	127
Tabela 15 – Resultado do cenário 1 .....	131
Tabela 16 – Resultado do cenário 2.....	132
Tabela 17 – Resultado do cenário 3.....	133
Tabela 18 – Resultado do cenário 4.....	134
Tabela 19 – Resultado do cenário 5.....	135
Tabela 20 – Resultado do cenário 6.....	136
Tabela 21 – Resultado do cenário 7.....	137
Tabela 22 – Resultado do cenário 8.....	138
Tabela 23 – Resultado do cenário 9.....	139
Tabela 24 – Resultado do cenário 9.....	140
Tabela 25 – Resultado do cenário 11.....	141
Tabela 26 – Resultado do cenário 12.....	142

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Trabalhos de otimização relacionados ao sistema pátio-porto.....	33
Quadro 2 - Trabalhos de simulação relacionados ao sistema pátio-porto.....	34
Quadro 3 – Cenários de simulação .....	123

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
1.1 OBJETIVO .....	23
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	24
1.3 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA .....	25
1.4 DELINEAMENTO DO TRABALHO .....	27
<b>2. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>28</b>
2.1 SIMULAÇÃO .....	35
2.1.1 <i>O que é Simulação?</i> .....	35
2.1.2 <i>Justificativa para o uso da simulação</i> .....	40
2.1.3 <i>Método de Condução de Simulação Computacional</i> .....	45
2.1.5 <i>Metodologia da pesquisa</i> .....	47
2.2 PÁTIOS DE ESTOCAGEM:.....	52
2.2.1 <i>Construção e retomada de pilhas</i> .....	53
2.2.2 <i>Métodos de empilhamento:</i> .....	57
2.2.3 <i>Equipamentos utilizados na operação de Empilhamento:</i> .....	62
2.2.4 <i>Prática operacional da Retomada de material</i> .....	62
2.3 SISTEMA PORTUÁRIO:.....	65
<b>3 CASO ESTUDADO</b> .....	<b>68</b>
3.1 PÁTIO DE ESTOCAGEM .....	69
3.2. SISTEMA PORTUÁRIO .....	76
3.3. PRINCÍPIOS PARA A MODELAGEM DO PROBLEMA.....	78
3.3.1. <i>A operação dos Navios:</i> .....	79
3.3.2. <i>A operação de carregamento:</i> .....	83
3.3.3. <i>A Operação de estocar material no pátio:</i> .....	87
3.4 LIMITAÇÕES DO SISTEMA .....	91
3.5. COLETA DE DADOS .....	93
3.5.1. <i>Dados referentes a operação dos navios</i> .....	94
3.5.2 <i>Dados referentes à operação de carregamento dos navios</i> .....	104

3.5.3	<i>Dados referentes ao empilhamento dos materiais nos pátios</i> .....	113
3.6	VALIDAÇÃO DO MODELO .....	118
3.7	TAMANHO DAS REPLICAÇÕES E NÚMERO DE REPLICAÇÕES.....	120
3.8	CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO .....	122
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>128</b>
4.1	CENÁRIO 1.....	130
4.2	CENÁRIO 2.....	132
4.3	CENÁRIO 3.....	133
4.4	CENÁRIO 4.....	134
4.5	CENÁRIO 5.....	135
4.6	CENÁRIO 6.....	136
4.7	CENÁRIO 7.....	137
4.8	CENÁRIO 8.....	138
4.9	CENÁRIO 9.....	139
4.10	CENÁRIO 10.....	140
4.11	CENÁRIO 11.....	141
4.12	CENÁRIO 12.....	142
4.13	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	143
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>148</b>
<b>6</b>	<b>TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>150</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>151</b>
	<b>ANEXO A - MODELO DE SIMULAÇÃO</b> .....	<b>156</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui 7.367km de linha costeira voltada para o Oceano Atlântico, que se ampliam para mais de 8.500km considerando os recortes litorâneos (baías, enseadas, etc.). A zona costeira brasileira abriga uma grande diversidade de ecossistemas de alta relevância ambiental, alternando: mangues, restingas, campos de dunas, estuários, recifes de corais, além de outros ambientes. Assim, os espaços litorâneos possuem significativa riqueza de recursos naturais e ambientais, que estão a exigir uma ordenação do processo de ocupação, gestão e controle (IBGE, 2009).

O capítulo 17 da Agenda 21, documento básico emanado da Conferência das Nações Unidas (ONU) sobre Meio Ambiente e desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992, propõe que todos os países devem implementar programas de gestão integrada da zona costeira e marinha, visando à utilização desses espaços de forma sustentável.

Atualmente, a expansão do comércio internacional está diretamente vinculada à atividade portuária, uma vez que grande parte das mercadorias que circulam pelo mundo são transportadas em navios e movimentadas pelos portos. No Brasil, mais de 90% das exportações são realizadas por meio dos terminais portuários (IBGE, 2009). Desta forma, no momento em que o Brasil procura consolidar a expansão de seu setor exportador, a modernização portuária adquire grande relevância (Portos do Brasil, 2009).

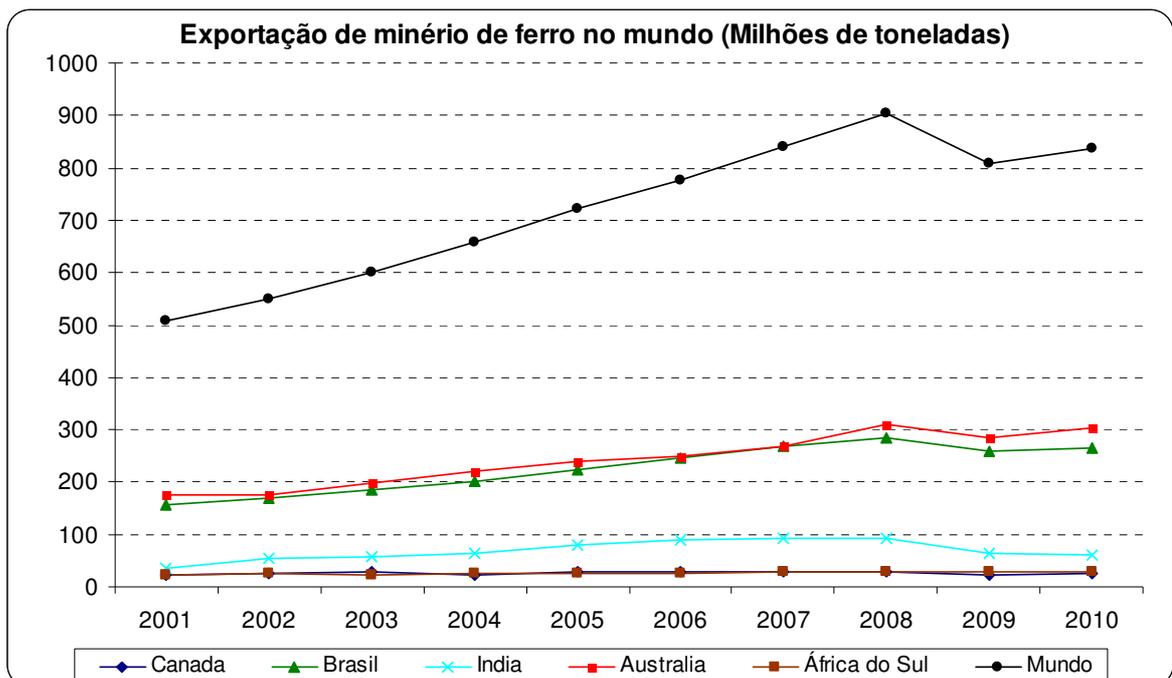
Os maiores investimentos em projetos de construção, ampliação e modernização de portos e terminais foram realizados com participação da iniciativa privada, por meio de aquisições de novos equipamentos (reaparelhamento) e melhorias nos processos de carga e descarga, possibilitando o aumento da produtividade e redução de custos (Ministério dos Transportes, 2009).

Apesar dos investimentos realizados nos últimos anos, percebe-se a ocorrência de congestionamentos e filas nos modais aquaviários no Brasil em determinadas épocas do ano, que podem ser causados pela baixa coordenação das operações logísticas, geralmente em função de exigências e excesso de burocracia de órgãos governamentais (Alfredini, 2005).

Essas filas e atrasos geram custos adicionais (multas de sobre estadia, vendas perdidas, multas contratuais, etc.) que aumentam os custos das operações portuárias, diminuindo a competitividade dos exportadores brasileiros no mercado mundial. Os custos com transportes das importações dos países latino-americanos representam quase o dobro dos gastos dos Estados Unidos (Bugarcic, 2007).

Desta forma, mesmo considerando um cenário de retração da economia mundial, o Brasil tem oportunidade de expandir seus mercados pelo aumento na eficiência e redução de custos na logística de transporte, em especial nos portos, por onde escoam uma vasta gama de produtos, destacando-se os granéis sólidos, tais como: minério de ferro, carvão, soja, trigo, cimento, entre outras cargas.

Dentre os produtos citados acima, destaca-se o minério de ferro, objeto de estudo do presente trabalho, que representa cerca de 8% (em US\$) das exportações brasileiras, e é responsável por aproximadamente 6% do PIB Brasileiro (IBRAM, 2009) o que posiciona o Brasil como um dos maiores exportadores e produtores mundiais de minério de ferro, conforme Gráfico 1. Segundo Alfredini (2005), em relação ao mercado transoceânico, o minério de ferro corresponde por aproximadamente 45% dos embarques de granéis sólidos; carvão e grãos comestíveis em torno de 20% cada um e bauxita/alumina e rochas fosfáticas por cerca de 7% cada.



**Gráfico 1 – Exportação mundial de minério de ferro por país. (AME 2009)**

Atualmente, o mercado mundial de minério de ferro apresenta-se bastante regionalizado e concentrado. O processo de concentração na indústria de minério de ferro iniciou-se na década de 1970. Do início da década de 80 até o fim da década de 90, a indústria siderúrgica, que era detentora de boa parte dos recursos minerais necessários à sua produção, aderiu aos novos conceitos de reformas organizacionais que pregavam mudanças no nível estrutural e estratégico por meio de métodos de terceirização e desverticalização de seus processos (SHARPE, 2002).

A comercialização do minério de ferro, que era caracterizada por condições de preço e oferta bastante sedimentados, passou por mudanças drásticas a partir do momento em que a desverticalização das siderúrgicas propiciou condições para a formação de grandes grupos fornecedores de minério, sendo atualmente China, Brasil, Austrália e Índia os principais produtores, que juntos são responsáveis por cerca de 80% da produção mundial de minério. (UNCTAD, 2008).

O mercado mundial de minério de ferro envolve a produção e comercialização do minério de ferro nas seguintes modalidades (POVEROMO, 2009):

- i. Na denominação genericamente conhecida como “finos de minério de ferro”, que engloba os seguintes produtos: o “*Pellet-screening*” também chamado de “Sinter-feed”, que nada mais é do que pelotas não conformes em relação ao diâmetro mínimo exigido pelos clientes, geralmente abaixo de 8 mm. O “*Pellet-screening*” é empregado com abundância na fabricação de sinter para altos-fornos. O outro produto é o “*pellet-feed*” ou concentrado de minério de ferro, utilizado com restrições também na fabricação de sinter e, preferencialmente, como matéria-prima em pelotizadoras.
- ii. “lump ore” ou minério granulado — ou simplesmente granulado — normalmente peneirado e enornado diretamente em reatores de redução, tais como altos-fornos e fornos de redução direta para a fabricação de ferro primário, respectivamente ferro-gusa e ferro-esponja;
- iii. “pellets” ou pelotas de minério de ferro, que de forma similar ao granulado é carregado diretamente em altos-fornos e processos de redução direta.

As pelotas de minério de ferro são formadas no processo de pelotização que é um processo de aglomeração de partículas ultrafinas de minério de ferro (abaixo de 0,15 mm), através de um tratamento térmico.

A pelotização tem como produto as pelotas que são aglomerados esféricos de tamanhos na faixa de 8 a 18 mm, com características apropriadas para alimentação das unidades de redução direta e altos-fornos.

Nos altos-fornos, resumidamente, ocorre fusão e redução do ferro, que passa da forma de óxido à forma metálica. Neste tipo de equipamento, toda a carga de óxido de ferro, agentes redutores e combustíveis é adicionada anteriormente ao acendimento do forno. No carregamento do forno faz-se uma pilha de material no interior do mesmo, chegando a alturas de 30 metros em alguns casos. Devido a essas características do processo, são necessárias ao material alimentado algumas propriedades.

Como o alto-forno é abastecido antes do início da combustão, são necessários meios de entrada e circulação de ar e gases de combustão, em todas as regiões da carga. Por esse motivo, é imprescindível que as partículas, seja de combustível ou minério de ferro, tenham dimensões grandes o suficiente para que permaneçam lacunas entre elas. Pela mesma razão, é preciso que estes materiais tenham resistência mecânica suficiente para suportar o próprio peso da carga do forno, para que não haja esmagamento e conseqüente obstrução do auto-forno, daí a necessidade de pelotização, em se tratando de frações finas de minério.

Além destes objetivos principais, a produção de pelotas também permite adição de maior valor agregado ao produto, sendo possível acrescentar na própria pelota agentes redutores do ferro como carvão mineral, o que faz das pelotas um dos principais insumos na produção de aço líquido.

No cenário global de produção de aço, as pelotas são divididas em duas famílias, pelotas para Alto Forno, chamadas no presente trabalho de pelotas BF (*Blast Furnance*) e pelotas para Redução Direta, chamadas de pelotas DR (*Direct Reduction*) como esquematicamente mostra a figura 1.

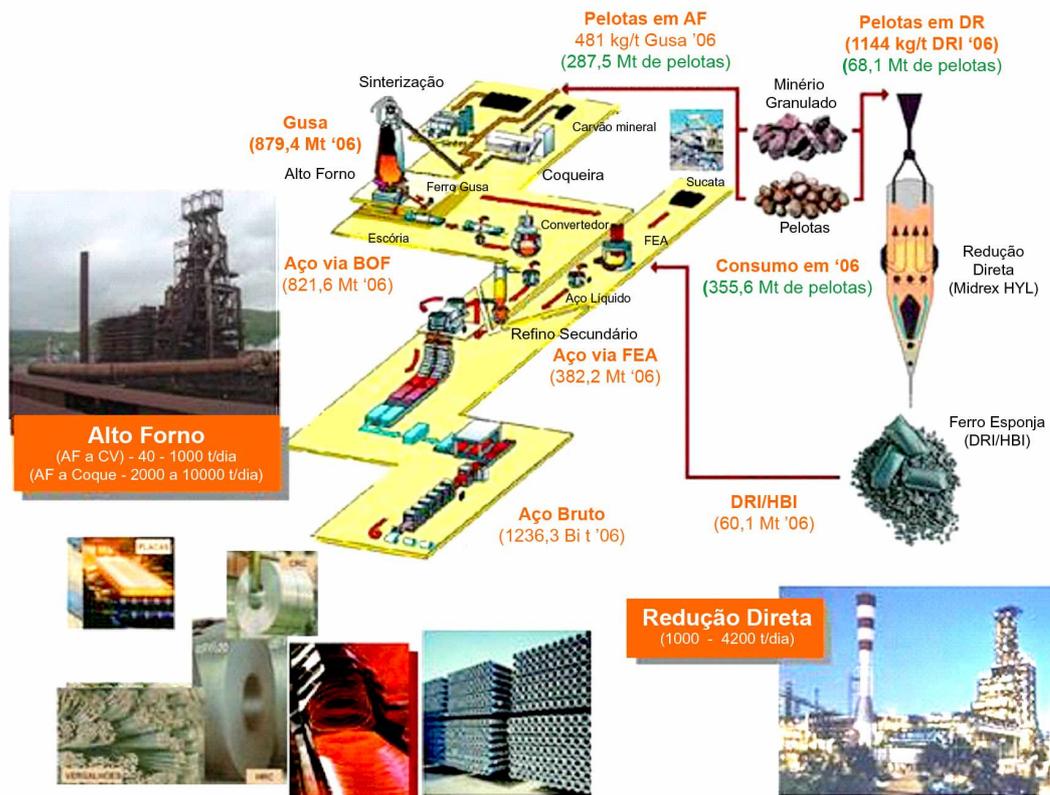


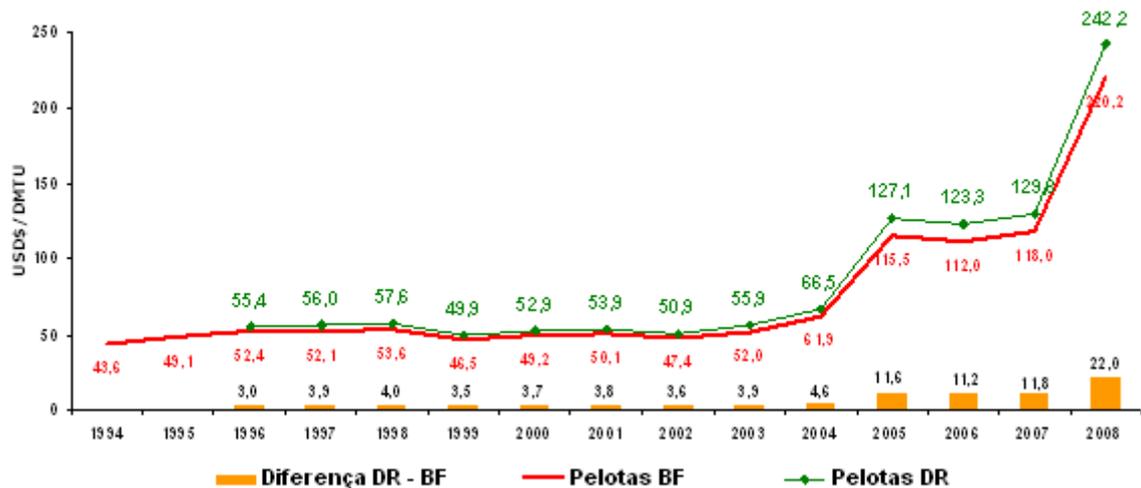
Figura 1 – Rotas tradicionais de produção de aço (Araújo 2007).

Pode parecer contraditório, à primeira vista, existir um grande interesse das empresas de mineração que produzem pelotas em relação ao mercado de redução direta, se somente for levado em conta o “volume” de pelotas absorvido por esta rota e em comparação com o que é direcionado aos diversos altos-fornos espalhados pelo mundo (287 milhões de toneladas de pelotas em 2006, conforme figura 1). Entretanto, existem outras razões que precisam ser consideradas, a saber:

- i. Este mercado está em plena expansão, com vários novos projetos em andamento;
- ii. A qualidade das pelotas utilizadas no processo de redução direta exige uma atenção e um tratamento diferenciado por parte dos fornecedores, por ser esta matéria-prima o componente de carga mais predominante. Com isto, consegue-se neste mercado adicionar um prêmio da ordem de 10% ao preço da unidade de ferro em comparação ao que é anualmente negociado junto às principais empresas que adquirem pelotas de alto-forno, como mostrado no gráfico 2;

- iii. O uso de pelotas na produção de ferro-esponja (1.144,4kg/ ton) é bastante expressivo se comparado ao ferro-gusa (481,1 kg/ ton);

A concentração da produção de pelotas em poucos fornecedores, associada à forte demanda pelo produto nos últimos anos, induziu sua grande valorização, conforme gráfico 2.



**Gráfico 2 – Preços de minério de ferro (AME, 2009)**

A crescente demanda por minério de ferro, aliada aos sucessivos aumentos nos preços do produto, propiciou às empresas mineradoras realizarem investimentos em aumento de capacidade de produção e até mesmo aberturas de novas operações de mineração que antes eram economicamente inviáveis.

Porém, a crise mundial instalada ao final do ano de 2008, forçou as empresas a reverem seus investimentos, de forma a tentar reduzir ao máximo o desembolso relacionado ao capital utilizado para adquirir ou melhorar os bens físicos da empresa, tais como equipamentos, propriedades e imóveis, o chamado CAPEX, principalmente devido à escassez de crédito no mercado financeiro.

Tratando-se especificamente de projetos relacionados ao mercado transoceânico de minério de ferro, os investimentos em ampliação de portos e pátios de estocagem, incluindo máquinas móveis, correspondem a cerca de 5% do total do capital empregado, de maneira que o desenvolvimento de ferramentas de análise de cenários é indispensável como apoio à tomada de decisões e podem reduzir

significativamente o desembolso, viabilizando o empreendimento em épocas de crise e propiciando uma operação eficiente e de baixo custo (GEERDES, 2004).

Geralmente, incrementos na eficiência das operações de estocagem e embarque podem ser conseguidos de quatro maneiras:

1. Repotenciamento de máquinas e equipamentos;
2. Aquisição de máquinas e equipamentos;
3. Mudanças de “layout”
4. Alteração no modo de operação.

Porém, uma análise integrada do sistema desde a estocagem dos produtos acabados em um local determinado até o seu carregamento nos navios, torna-se uma alternativa interessante para as empresas, permitindo uma avaliação mais ampla da operação, e será o objeto de pesquisa do presente trabalho, no qual será desenvolvida uma ferramenta de simulação para avaliar os reflexos da expansão da capacidade produtiva de uma empresa de mineração em seu pátio de estocagem e em seu sistema portuário, designado neste estudo como sistema “Pátio-Porto”.

Foram identificados estudos e modelos na literatura que abordam problemas relacionados a dimensionamento de portos e pátios de estocagem, que em sua maioria tratam tais operações de maneira independente. Os modelos de porto estudados estão em sua maioria focados no dimensionamento da frota, no número de berços disponíveis ou ainda na roteirização dos navios. Já os estudos sobre pátio abordam a alocação ótima de produtos no pátio, definição de layout, dimensionamento para avaliação de investimentos de expansão, sequenciamento de operações e níveis ótimos de estoque.

A partir da literatura pesquisada, observa-se uma lacuna referente a modelos que integrem as duas operações logísticas (estocagem e embarque). Além disso, devido a essa carência de estudos que adotam modelos integrados, percebe-se a necessidade de definição de métricas de desempenho que considerem as interfaces entre as operações pátio e porto, o que também será tratado no presente trabalho.

## 1.1 OBJETIVO

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver uma ferramenta de apoio à tomada de decisão utilizando a técnica de simulação de eventos discretos, a partir da qual serão criados diferentes cenários de incremento da eficiência do sistema integrado pátio-porto de uma empresa do ramo de mineração de minério de ferro, avaliando os benefícios operacionais de acordo com as métricas apresentadas a seguir:

- Tempo de residência das pilhas embarcadas;
- Deslocamento total de cada máquina;
- Tempo médio em fila de cada navio;
- Ocupação do sistema;
- Ocupação dos berços;
- Ocupação média dos pátios;
- Ocupação de cada equipamento;
- Montante gasto com pagamento de multas de sobre estadia (*Demurrage*);
- Taxa de carregamento global;
- Volume embarcado no ano;
- Volume de produção enviado a pilha de emergência;

O modelo será aplicado a um ambiente industrial real e será validado utilizando dados reais da empresa alvo deste estudo referente aos anos de 2006, 2007 e 2008, comparando os resultados do modelo aos resultados reais da empresa nestes anos.

Todos os dados necessários para o desenvolvimento do modelo de simulação, e os dados necessários pra validação do mesmo foram cedidos pela empresa alvo deste estudo, a Samarco mineração.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar objetivo principal, este estudo deverá apresentar os seguintes objetivos intermediários, que são:

- Avaliar a utilização da simulação de eventos discretos aplicada a um processo contínuo;
- Identificar gargalos do sistema;
- Estimar a atual capacidade de embarque do porto, de acordo com a capacidade de produção e equipamentos disponíveis;
- Analisar cenários e configurações do sistema portuário e do pátio de estocagem;
- Realizar análise de sensibilidade para entender os efeitos das principais variáveis no resultado global do sistema (tamanho dos navios, taxas de carregamento, número de berços, configurações dos equipamentos, etc.) e o comportamento frente a diferentes cenários de investimento para aumento da capacidade do sistema.

### 1.3 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

Existem diversos estudos e modelos encontrados na literatura técnica relacionados ao dimensionamento e análise operacional de sistemas de pátio e porto. Porém, verifica-se a existência de uma lacuna no que se refere a pesquisas e modelos voltados para a análise operacional do porto como um sistema integrado, considerando-se também a interface entre o sistema portuário e os sistemas anteriores, como os pátios de estocagem, pois a ênfase tem sido dada apenas ao problema da interface porto/navio e capacidade de estocagem de pátios, o que, apesar de importante e necessário, constitui apenas um subproblema do complexo problema do dimensionamento do sistema de escoamento da produção do minério de ferro (Fernandes, 2001).

Por se tratar de um terminal que além de realizar a operação de carregamento de minério de ferro para exportação, também realiza o descarregamento de navios de carvão para importação, sua eficiência é de extrema importância, pois terminais de minério de ferro devem ser altamente especializados para prover um serviço de alta produtividade, em termos de toneladas e tipo de minério de ferro movimentado por hora, e baixo custo, por se tratar de uma *commodity*. Essa necessidade se torna ainda mais evidente em situações como o caso estudado, em que o terminal fica geograficamente distante dos principais centros consumidores, fato que gera uma desvantagem competitiva relacionada ao custo do frete.

Por estes motivos é que a operação requer uma análise do sistema pátio-porto de forma integrada, desde a chegada do material produzido via transportadores, seu armazenamento no pátio até o embarque deste material nos navios. Pensando em cenários de expansão da capacidade do sistema, os altos investimentos em infra-estrutura, equipamentos e mão de obra só serão compensatórios quando as economias de escala, advindas de sua capacidade de movimentação são aproveitadas.

De acordo com o levantamento bibliográfico realizado, foi possível identificar oportunidades onde o trabalho contribuirá, através da discussão e questionamento levantados em função da importância do problema.

Sendo assim, são relacionados abaixo os principais motivadores para a realização do estudo:

- Importância do modal aquaviário para um país de proporções continentais como o Brasil;
- Apesar dos temas relacionados a pátio e porto surgirem em várias aplicações reais, não foram identificados estudos que abordem modelos para dimensionamento integrado considerando produtos a granel, mais especificamente o minério de ferro;
- A necessidade de investimentos em ampliação da capacidade para atendimento às perspectivas de crescimento na demanda, apontado por estudos de mercado para a área;
- Disponibilidade de ferramentas computacionais que propiciem a elaboração de estudos mais complexos e precisos sobre sistemas de simulação integrados, permitindo ainda a sua utilização em estudos futuros;
- Dificuldade em se representar e validar modelos de simulação integrados e complexos e carência de estudos com este foco.

## 1.4 DELINEAMENTO DO TRABALHO

O presente trabalho foi estruturado de acordo com a seguinte divisão de capítulos:

- Capítulo 1 – Introdução: Apresenta o contexto no qual o caso é estudado, com informações relevantes sobre o mercado de minério de ferro e a necessidade em se estudar sistemas pátio-porto de forma integrada. Após situar o problema, são explicitados os principais objetivos a serem alcançados pela pesquisa, justificativa que sustentam o trabalho e o delineamento da dissertação;
- Capítulo 2 – Pesquisa Bibliográfica: Revisa na literatura disponível, os principais conceitos utilizados no texto, que compreendem: simulação, pátios de estocagem e sistemas portuários, buscando identificar em pesquisas correlatas argumentos que evidenciem a contribuição do trabalho;
- Capítulo 3 – Caso estudado: Descreve detalhadamente o caso estudado e os princípios de modelagem do problema, definindo as premissas, limitações e regras assumidas na construção do modelo;
- Capítulo 4 – Resultados: Descreve a modelagem do problema através do uso da simulação de eventos discretos, apresentando os resultados obtidos para cada cenário proposto;
- Capítulo 5 – Conclusão: Desenvolve uma conclusão sobre os resultados comparando os resultados dos diversos cenários propostos;
- Capítulo 6 – trabalhos futuros: Define possíveis trabalhos que poderão preencher lacunas deixadas pelo presente trabalho;
- Capítulo 7 – Bibliografia: Apresenta as referências bibliográficas utilizadas no trabalho;

## 2. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica de artigos, dissertações, periódicos e anais visa buscar trabalhos relacionados a sistemas portuários e pátios de estocagem, analisando as técnicas utilizadas pelos autores revisados a fim de elaborar um trabalho que contribua para o tema, além de buscar na literatura, quais os elementos que compõe o sistema pátio-porto. A seguir serão descritos os trabalhos correlatos encontrados na bibliografia.

Bausch (1998), utiliza otimização através de programação linear para decidir onde cada navio da frota irá carregar / descarregar nas próximas duas ou três semanas. O modelo desenvolvido é utilizado para terminais de granéis líquidos. A maior limitação do modelo é o horizonte de apenas três semanas e o fato de trabalhar com uma frota própria.

Fagerholt (1999), apresenta um modelo que utiliza a técnica de roteirização de múltiplas viagens para otimizar uma frota de navios porta contêineres. O objetivo do modelo é determinar um roteiro semanal definindo quais tipos de navios devem ser utilizados e a quantidade de cada tipo de navio de forma a minimizar o custo total. O modelo não considera o pátio de estocagem onde os contêineres serão movimentados (carga e descarga) e com isto não são consideradas restrições existentes no pátio.

No presente trabalho todas as vendas efetuadas pelo porto serão consideradas vendas FOB (*Free on Board*). Neste caso o exportador deve entregar a mercadoria, desembarçada, a bordo do navio indicado pelo importador, no porto de embarque. Esta modalidade é válida para o transporte marítimo ou hidroviário interior. Todas as despesas, até o momento em que o produto é colocado a bordo do veículo transportador, são de responsabilidade do exportador. Ao cliente cabem as despesas e os riscos de perda ou dano do produto a partir do momento que este transpuser a amurada do navio, com isto o cliente se torna o responsável pelo afretamento do navio no mercado para que seu produto seja transferido do porto de origem para o porto de destino. Devido a essa modalidade de transação comercial, a frota de navios que atende o porto é variável e não homogênea, pois cada cliente

tem a liberdade de escolher o tamanho de navio mais adequado para transportar sua carga, devendo apenas respeitar as limitações e restrições do porto.

Marasini (2000), utiliza simulação para analisar a melhor forma de alocar os produtos da indústria de concreto no pátio levando em conta a sazonalidade da demanda, degradação do produto e tempo de estoque. O modelo apresentado utiliza apenas um método de carregamento dos produtos, impossibilitando a análise sobre a melhor política de carregamento dos produtos.

Fernandes (2001) desenvolve um modelo de simulação computacional utilizado para terminais de contêineres e veículos. Com esta ferramenta são criados cenários e a ferramenta de simulação criada permite avaliar os arranjos dos equipamentos utilizados, bem como uma variação do número de equipamentos, isto é, uma completa simulação do sistema portuário. Este trabalho se assemelha ao trabalho proposto, porém o trabalho proposto irá utilizar granéis sólidos, e não irá visar a alteração do layout do pátio e de sua capacidade, mas sim novas configurações no sistema pátio-porto como novos berços e novos equipamentos.

Molck, (2002), apresenta um sistema para a solução do problema de gerenciamento de fluxo de minério no pátio de estocagem. O algoritmo apresentado utiliza várias técnicas de inteligência artificial baseadas no modelo de busca em espaço de estado, que é um método para representar os problemas do “mundo real” a partir de abstrações de suas características mais importantes, sendo baseado numa estrutura onde estão armazenadas as informações relevantes para representar seu comportamento em um determinado instante de tempo. O autor apresenta a implementação computacional do algoritmo e discute os resultados obtidos pelo modelo, inclusive com exemplos de aplicação do sistema a situações reais. Apesar do algoritmo desenvolvido não ser completo e nem conseguir atingir a solução ótima, sua aplicação a situações reais mostrou-se bastante satisfatória, cumprindo o objetivo de auxiliar o tomador de decisões em sua tarefa de gerenciamento dos recursos do pátio, uma vez que o modelo encontra soluções em tempos muito menores comparativamente ao tempo necessário para um especialista desenvolver a mesma tarefa. Todavia, o modelo fica limitado apenas à operação do pátio de estocagem, não levando em consideração o escoamento dos produtos através do sistema portuário.

Demirci (2003), faz uso de um modelo de simulação para analisar os gargalos de um sistema portuário quando o mesmo trabalha no limite de sua capacidade,

após a identificação dos principais gargalos do sistema são criados diferentes cenários onde novos equipamentos são colocados no modelo a fim de eliminar tais gargalos e analisar o efeito de tais investimentos no sistema portuário de forma geral.

Silva (2005), utiliza simulação para investigar as principais alternativas de transporte existentes para o açúcar a granel de exportação, e propõe estratégias que orientem os agentes envolvidos neste mercado a racionalizar os custos de distribuição dos produtos. O modelo proposto não utiliza uma usina em particular como estudo de caso, o que dificulta a análise do resultado para uma empresa em particular.

Rosa (2006), apresenta uma abordagem baseada em negociação de agentes para a resolução do problema de alocação dinâmica de navios em berços de terminais portuários através de simulação. O maior objetivo da abordagem não é obter resultados ótimos, mas sim, obter resultados tão bons ou melhores que os conseguidos na prática, proporcionando a elaboração de ferramentas computacionais que possam, eventualmente, substituir o ser humano sem haver perda de qualidade do serviço prestado. O modelo proposto tenta simular padrões de negociação baseados no sentimento humano, o que o torna inovador. Para que o trabalho fosse mais bem analisado seria necessário um maior número de estudos de caso, pois o padrão de negociação pode variar em cada caso.

Berger (2007), desenvolve uma ferramenta de suporte a tomada de decisão para alocar placas de aço em pátios de estocagem de uma usina siderúrgica. O objetivo desta ferramenta é otimizar a utilização dos equipamentos responsáveis por alocar e despachar as placas no pátio, denominados pontes rolantes. Para resolver tal problema, foi utilizada a Meta-Heurística Busca Tabu. A ferramenta consegue minimizar o número de movimentações internas realizadas durante a alocação e o despacho das placas no mesmo. Os ganhos obtidos com a utilização desta ferramenta vão desde a redução do risco de acidentes até a redução dos custos de manutenção dos equipamentos utilizados neste processo. Porém, a ferramenta não considera algumas variáveis importantes como a resistência das placas de aço que poderiam alterar os resultados obtidos.

Bugaric (2007), desenvolve um modelo de simulação para comparar o funcionamento de um terminal de descarregamento de granéis sem regras pré-definidas de utilização dos recursos disponíveis com um cenário onde são aplicadas

tais regras de utilização para cada recurso disponível. Conclui-se que ao inserir regras para utilização dos recursos disponíveis é possível aumentar a capacidade de descarregamento e conseqüentemente diminuir o tempo de espera para os navios que aguardam na fila para serem descarregados.

Neste trabalho pode ser visto a utilização de uma ferramenta de simulação para analisar qual o impacto no sistema como um todo ao alterar o modo de operação dos recursos, modificando regras de utilização e priorização dos equipamentos. Porém, o trabalho altera apenas as regras de funcionamento e priorização dos equipamentos responsáveis pelo descarregamento dos navios, não considerando onde o material retirado do navio será armazenado.

Ono (2007), apresenta um modelo de simulação e otimização integrado que avalia a cadeia de suprimentos do petróleo. O modelo apresentado envolve uma série de subsistemas que interagem entre si nos processos de exploração, transferência do petróleo para os terminais, armazenagem em tanques e transferência para as refinarias. Neste trabalho o maior enfoque é dado ao subsistema de transporte marítimo que segundo o autor, é o elo vital e talvez o maior gargalo no escoamento de petróleo.

A ferramenta de simulação criada permitiu efetuar análises de dimensionamento dos recursos envolvidos tais como suas capacidades. Além de avaliar o grau de relevância dos parâmetros de entrada, como porte e velocidade dos navios, nível de tancagem das plataformas e dos terminais, tempos de carga e descarga nos terminais e as políticas de bombeamento dos terminais para as refinarias, bem como avaliar os impactos na modificação dos mesmos. O modelo de otimização foi adotado para ratificar e aprimorar se possível, o resultado apresentado. A maior dificuldade encontrada foi a tentativa de compatibilizar decisões de níveis hierárquicos distintos que apresentou conflitos de ordem conceitual e impossibilitou a unificação dos modelos de simulação e otimização.

O presente trabalho irá abordar a parte de simulação de forma semelhante ao trabalho desenvolvido por Ono (2007), mas para grânéis sólidos e com o maior enfoque aos subsistemas de Pátio e Porto.

Zhao (2007), desenvolve um modelo de otimização para determinar estoque ótimo de um pátio, onde a capacidade é o limitador tentando minimizar os custos médios do estoque para um pátio de estocagem com apenas um produto e para pátios com mais de um produto. O algoritmo desenvolvido consegue facilmente obter

a solução ótima para pátios com apenas um produto mesmo para processos de larga escala. Para pátios com vários produtos uma restrição do algoritmo é o pré-estabelecimento de onde cada produto deve ser alocado e o espaço reservado para cada produto.

Fioroni (2008), apresenta um sistema de simulação para estudo estratégico do pátio ferroviário de Tubarão, localizado em Vitória-ES. Este estudo difere dos demais desenvolvimentos, pela complexidade do sistema e nível de detalhe alcançado. Além da chegada de composições exclusivamente de minério de ferro, foram elaborados 10 padrões diferentes de composições de Carga Geral, cada qual com sua formação típica e probabilidade de chegada. Da mesma forma, a formação e despacho possuem 10 padrões de formação, que devem ser consistentes com os padrões de chegada. Com o modelo foi possível estudar o dimensionamento do pátio e avaliar o desempenho do sistema com os novos investimentos. Os ganhos na produtividade do pátio e na correta aplicação dos recursos financeiros em investimentos de infra-estrutura indicam que tais ferramentas de análise são cruciais para o bom desempenho das empresas brasileiras.

Gonçalves (2008), utiliza simulação para avaliar custos envolvidos em escoar a produção de *commodities* agrícolas e minerais de Mato Grosso através dos modais de transporte rodoviário, ferroviário e hidroviário. Os resultados do modelo proposto indicam que as rotas utilizando o escoamento de produção através das embarcações pluviais são as mais econômicas. O modelo fica limitado por finalizar a entrega dos produtos nos portos, não levando em conta a etapa onde os mesmos são estocados e carregados em navios para exportação. Dessa forma, não é feita a investigação da influência exercida pelos custos e restrições portuárias no escoamento desses produtos.

A seguir o tabela 1 apresenta um resumo dos trabalhos que utilizam a técnica de otimização citados acima,

Autor (Ano)	Área de concentração	Simulação / Otimização	alocação ótima de produtos	roteirização	dimensionamento de frota
Bausch (1998)	Porto	Otimização / Simulação		X	
Fagerholt (1999)	Porto	Otimização			X
Molck (2002)	Pátio	Otimização	X		
Rosa (2006)	porto	Otimização		X	
Berger (2007)	Pátio	Otimização	X		
Zhao (2007)	pátio	Otimização	X		

**Quadro 1 - Trabalhos de otimização relacionados ao sistema pátio-porto**

Dentre os trabalhos pesquisados que utilizam a técnica de otimização para estudar problemas relacionados ao sistema de pátios de estocagem estão focados em resolver o problema de alocação ótima de produtos nos mesmos. Observando os trabalhos que abordam sistemas portuários, percebe-se que os autores buscam otimizar a roteirização dos navios e/ou dimensionar as frotas disponíveis para atender os navios no porto.

O quadro 2 mostra um quadro resumo dos trabalhos que utilizam a técnica de simulação para tratar problemas relacionados ao sistema pátio-porto.

Autor (Ano)	Área de concentração	layout	dimensionamento pátio / porto	roteirização	Sequenciamento de produção
Marasini (2000)	pátio	X			
Fernandes (2001)	Porto		X		
Demirci (2003)	Porto		X		
Silva (2005)	Porto		X		
Fioroni (2007)	Pátio		X		
Ono (2007)	Pátio / Porto			X	X
Bugaric (2007)	Porto		X		
Gonçalves (2008)	Porto			X	

**Quadro 2 - Trabalhos de simulação relacionados ao sistema pátio-porto**

Os trabalhos que utilizam a técnica e simulação estão relacionados a problemas de dimensionamento do sistema, layout, roteirização e sequenciamento de produção.

Com isto, percebe-se que o uso de simulação para tratar problemas de dimensionamento de sistemas é mais adequado e por este motivo optou-se por tratar o problema através do uso de simulação, e esta técnica será aprofundada a seguir.

## 2.1 SIMULAÇÃO

### 2.1.1 O que é Simulação?

**Do Aurélio:**

**“[simulação] s.f. Ato ou efeito de Simular. Experiência ou ensaio realizado com o auxílio de modelos.”**

A técnica de simulação computacional é conceituada de diversas maneiras por diferentes autores, porém todos convergem para o fato de que a simulação é útil na resolução de problemas muito complexos nas organizações. A seguir, são mostrados alguns desses conceitos.

Apesar da existência de linguagens de simulação com propósito definido e pacotes de sistemas para facilitar a tarefa do usuário, algumas simulações podem requerer códigos de programação extensos e complexos. Daí, em determinadas situações, produzir resultados úteis de uma simulação pode ser um processo moroso. Diante disso, Pidd (1998) defende a idéia de que simulação em computador deveria ser considerada como um último recurso, para ser usado se todos os outros métodos falharem. Contudo, há casos em que o emprego da simulação pode ser a única maneira de abordar determinados problemas, em particular, aqueles que envolvam variáveis aleatórias.

Para melhor aplicar a técnica de simulação é necessário, primeiramente, classificar e entender os sistemas do mundo real. Tais sistemas podem ser classificados como:

- **Determinísticos:** aqueles cujo comportamento pode ser totalmente predito. Podem-se citar, por exemplo, os ciclos de um robô em uma linha de montagem;
- **Estocásticos:** aqueles cujos comportamentos podem ser preditos somente em termos de distribuições de probabilidades; também são chamados probabilísticos.

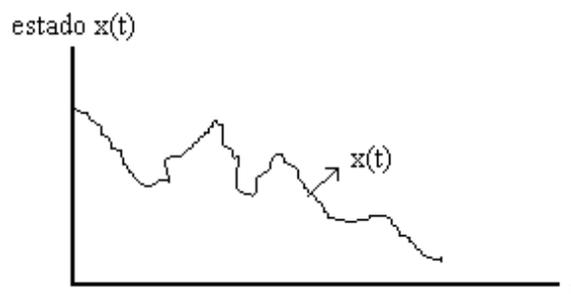
Quanto ao comportamento dos sistemas em relação ao tempo, eles podem ser classificados como:

- Estáticos: aqueles que não se alteram com o tempo, por exemplo, simulação geoestatística, aplicações do método de Monte Carlo no cálculo de integrais;
- Dinâmicos: aqueles que variam ao longo do tempo; normalmente, para esses modelos, é criada uma variável chamada relógio da simulação, cuja função é controlar a sequência de eventos de acordo com o avanço do tempo, por exemplo, simulação de atendimento em uma central telefônica, simulação do fluxo de clientes nos caixas de um supermercado.

Um sistema dinâmico pode ainda ser classificado como discreto ou contínuo, de acordo com o seu comportamento em relação à passagem do tempo. Um exemplo de simulação contínua, talvez a primeira, são os chamados modelos dinâmicos desenvolvidos por Forrester (1971).

A seguir, são mostradas as definições de sistemas contínuos e discretos, segundo Cardoso *et al.* (1994).

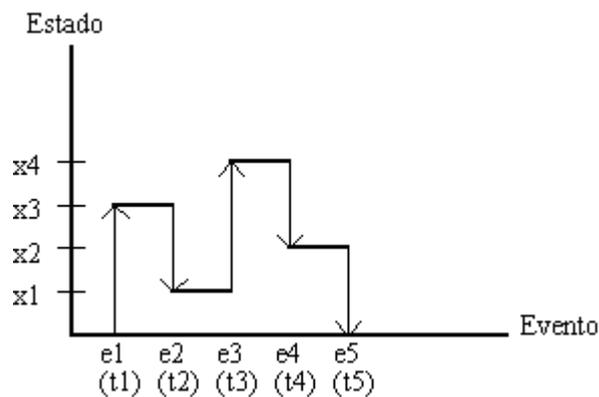
- Sistemas contínuos são aqueles nos quais as variáveis de estado mudam continuamente no tempo. De uma maneira geral pode-se dizer que a cada fração de segundo, elas assumem novos valores. O gráfico 3 mostra uma representação esquemática de um sistema contínuo.



**Gráfico 3 – Trajetória de um sistema dinâmico de variável contínua (SDVC)**

Como visto no gráfico 3, a trajetória de um SDVC está constantemente mudando com o estado, e é capaz de representar o comportamento do sistema, em um instante qualquer, a partir de um instante inicial.

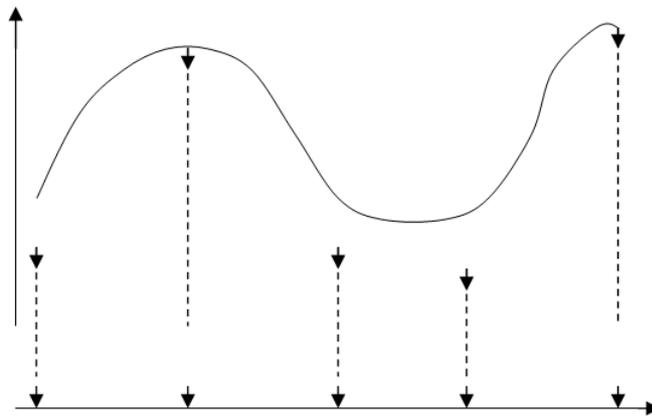
- Sistemas discretos são sistemas nos quais as variáveis de estado mudam só num conjunto discreto de pontos no tempo. Por exemplo: O banco é um exemplo de sistema discreto, uma vez que a variável de estado, o número de clientes, muda só quando um cliente chega, ou quando o serviço prestado a um cliente é concluído como mostra o gráfico 4.



**Gráfico 4– Trajetória de um sistema dinâmico de eventos discretos (SDED).**

Para que um sistema contínuo possa ser estudado, é necessário que ele seja transformado em um sistema discreto, com o objetivo de adequá-lo aos “softwares” de simulação discreta existentes hoje. Após essa transformação, cria-se um novo tipo de sistema dinâmico, que é o sistema discretizado.

Sistemas discretizados são sistemas estudados somente em instantes precisos. Trata-se, portanto, de sistemas contínuos observados em instantes discretos (sistemas amostrados). Ou seja, as variáveis de estado evoluem de maneira contínua, sem mudança brusca de comportamento, sendo possível coletar seus valores apenas em instantes discretos. O gráfico 5 mostra um exemplo de sistema contínuo discretizado.



**Gráfico 5– Exemplo de um sistema contínuo discretizado.**

Apenas como ilustração, visando esclarecer a diferença entre os três tipos de sistemas dinâmicos, apresenta-se o seguinte exemplo: o enchimento de uma caixa com água, que pode ser realizado de duas maneiras diferentes. A partir do sistema podem-se imaginar três modelos distintos:

- Usando-se uma mangueira, tem-se um sistema contínuo, pois a variável de estado, volume de água dentro da caixa, estará mudando de valor continuamente e assumindo um novo valor a cada instante;
- Com um balde de 5 litros, tem-se um sistema discreto, pois a variável, volume de água dentro da caixa, muda de valor somente em pontos discretos do tempo, de 5 em 5 litros, ou seja, o volume permanece inalterado enquanto se busca outro balde com água;

Utilizando a mesma mangueira da alternativa um, sabendo-se a sua vazão em litros por minuto e estabelecendo-se os pontos, no tempo, em que o volume dentro da caixa aumenta, por exemplo, de 1 litro, tem-se um sistema discretizado.

Freitas (2001), classifica ainda os sistemas em terminais e não-terminais. Os terminais apresentam condições iniciais fixas (condições estas que o sistema volta a assumir ao início de cada rodada de simulação) e um evento que determina o fim natural para o processo de simulação. Como exemplos de sistemas terminais podem-se citar serviços, tais como bancos, restaurantes, lojas comerciais. Os sistemas classificados como não-terminais não possuem condições iniciais fixas, nem um evento que determine o fim do processo de simulação. São exemplos de

sistemas não-terminais os hospitais, os sistemas de comunicação e os sistemas que operam 24 horas.

Segundo Pidd (1998), as variáveis que são incluídas em um modelo de simulação podem ter seus valores mudados de quatro maneiras:

- Continuamente, a qualquer ponto do tempo, como ocorre, por exemplo, em uma usina de tratamento de minérios;
- Continuamente, mas somente a pontos discretos do tempo, como, por exemplo, com operação de uma esteira transportadora de minério automática, de funcionamento intermitente, comandada por alguma variável do sistema;
- Discretamente, a qualquer ponto do tempo, como, por exemplo, a chegada de espectadores em um teatro;
- Discretamente, mas somente a pontos discretos do tempo, como, por exemplo, a simulação financeira.

É mais comum, e também mais fácil, a simulação de um sistema discreto, pois os simuladores existentes hoje foram desenvolvidos para esse tipo de sistema. Para simular um sistema contínuo é necessária a discretização do mesmo no modelo. Há autores que consideram inviável a simulação de um sistema totalmente contínuo.

Em resumo, simulação é a técnica de estudar o comportamento e reações de um determinado sistema através de modelos, que imitam na totalidade ou em parte as propriedades e comportamentos deste sistema em uma escala menor, permitindo sua manipulação e estudo detalhado.

### 2.1.2 Justificativa para o uso da simulação

Há uma diversidade de opiniões de autores a respeito da simulação. Para alguns ela é sempre possível e para outros, em se tratando de processo contínuo, ela é impossível ou, no mínimo, limitada.

Como referência de escolha da simulação como metodologia pode-se citar Pegden (1990), que aponta as seguintes vantagens da simulação:

- O modelo pode ser utilizado inúmeras vezes para avaliar projetos e políticas propostas;
- Enquanto modelos analíticos requerem um número muito grande de simplificações para torná-los, matematicamente, tratáveis e analisam um número limitado de medidas de desempenho, a simulação não necessita de tantas simplificações para analisar qualquer medida concebível;
- Uma vez que os modelos de simulação podem ser quase tão detalhados quanto os sistemas reais, novas políticas e procedimentos operacionais, regras de decisão, fluxos de informação, etc., podem ser avaliados sem que o sistema real seja perturbado;
- Hipóteses sobre como e porque certos fenômenos acontecem podem ser testadas para confirmação;
- 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;
- A identificação de “gargalos”, preocupação maior no gerenciamento operacional de inúmeros sistemas, tais como fluxos de materiais, de informações e de produtos, pode ser obtida de forma facilitada, principalmente com a ajuda visual;
- Um estudo de simulação costuma mostrar como realmente um sistema opera, em oposição à maneira com que todos pensam que ele opera;
- Novas situações sobre as quais se tenha pouco conhecimento e experiência podem ser tratadas, de tal forma que se possa ter, teoricamente, alguma preparação diante de futuros eventos.

Cassel (1996) cita uma pesquisa realizada por Hollocks (1992): 65 empresas do Reino Unido, que utilizavam ou já haviam utilizado a simulação, responderam quais os principais benefícios com o uso desta técnica. Os benefícios mais citados são mostrados na tabela 1.

**Tabela 1- Benefícios da simulação mais citados (Hollocks, 1992).**

<b>Benefícios</b>	<b>% das Empresas</b>
Redução de risco	80
Melhor entendimento	75
Redução dos custos operacionais	72
Redução do tempo em processo	72
Mudanças mais rápidas da planta	52
Redução dos custos de capital	48

Segundo Cassel (1996), aplicações com sucesso da simulação já foram realizadas em várias empresas e as cifras poupadas por elas foram muito grandes, por exemplo: Northern Research and Engineering Corp. (US\$ 750.000,00), Exxon (US\$ 1,4 milhões), Draw Tite Inc. (US\$ 80.000,00).

Segundo Saliby (1989), os motivos de tamanha aplicabilidade são os seguintes:

- Maior disponibilidade de recursos computacionais;
- Modelos mais realistas: a simulação não nos obriga a enquadrar um problema em determinado molde, como ocorre em programação linear. Assim, em lugar de soluções exatas para problemas aproximados, teremos soluções aproximadas para problemas reais;
- Soluções rápidas: no ambiente dinâmico e conturbado de hoje, soluções rápidas são mais úteis que morosas soluções exatas;
- Processo de modelagem evolutivo: um modelo de simulação normalmente não é estanque, permitindo ajustes e aperfeiçoamentos;

- Facilidade de comunicação: é muito mais fácil entender uma simulação do que um conjunto de complicadas equações matemáticas. Atualmente, já existe a simulação visual, que mostra em um vídeo uma imagem animada do problema;
- Problemas mal estruturados: a simulação é uma das poucas ferramentas para o estudo deste tipo de problema.

Em relação aos problemas mal estruturados, Simon (1969) afirma que “uma simulação nunca será melhor que suas próprias premissas”. As premissas às quais ele se refere constituem a definição do problema. Portanto, é de suma importância que o usuário conheça o sistema e saiba definir com precisão o problema e os objetivos da simulação.

Apesar das vantagens citadas, Cassel (1996), enumera algumas desvantagens para a simulação, que devem ser cuidadosamente analisadas durante o desenvolvimento do modelo, para evitar resultados equivocados. Tais desvantagens são:

- Devido à sua natureza estocástica, os modelos de simulação devem ser rodados várias vezes antes que se possa prever o desempenho do sistema;
- Normalmente os modelos de simulação são caros e consomem muito tempo para serem desenvolvidos e analisados;
- A simulação é muito dependente da validade do modelo desenvolvido;
- A simulação não fornece o resultado ótimo para o problema, ela só testa as alternativas dadas pelo usuário;

Além da simulação, poder-se-ia utilizar a abordagem através da modelagem matemática para o problema. Tal técnica procura descrever um sistema real, a partir de um conjunto de restrições de capacidade, financeiras, de suprimento, de transporte, mercadológicas, entre outras, e, conforme um determinado objetivo de maximização de lucro ou minimização de custo, procura uma solução ótima para o modelo desenvolvido.

Entretanto, essa abordagem apresenta alguns pressupostos, que são o determinismo dos dados, as informações estáticas e a consistência dos dados.

Chowdhury (1989), mostra que utilizar valores estáticos, como é o caso da otimização, em análises de sistemas marítimos pode levar a conclusões equivocadas, uma vez que o sistema real é afetado por variáveis aleatórias. No caso da simulação, temos o rompimento desses pressupostos pelo reconhecimento da variabilidade do sistema. Ela leva em conta não somente médias ou padrões determinísticos, mas também a distribuição estatística associada ao fenômeno estudado, aproximando o modelo ao mundo real, o qual é estocástico, como no caso estudado.

Outros autores, tais como Law e Kelton (1991), e Botter (2004), também argumentam a favor do uso de um simulador para análise de modelos complexos, como pátios e portos, pois o mesmo representa as lógicas e relações quantitativas, podendo ser manipulado e analisado sob diversas condições definidas pelo analista. Segundo Law e Kelton (1991), as soluções analíticas utilizam técnicas tradicionais de matemática e de estatística para realizar a análise e obter informações exatas sobre o sistema modelado.

No entanto, se a complexidade do modelo for grande, como é o caso estudado, torna-se inviável a utilização de soluções analíticas, pois as relações matemáticas ficam muito extensas e o cálculo das mesmas fica complexo. Para Botter (2004), a escolha da simulação como método, em primeiro lugar, tem como referência o trabalho desenvolvido por Chowdhury (1989) o qual propõe a simulação como sendo ferramenta ideal para estudar sistemas grandes, complexos, em que ocorrem interações entre atividades (ou entre modais), o que acaba por dificultar a modelagem analítica.

A simulação também considera as informações sob um ponto de vista sistêmico e dinâmico, ou seja, os eventos reais são percebidos mediante a observação de suas seqüências temporais, possibilitando, inclusive, vários níveis de detalhamento do sistema real. Em termos operacionais, a simulação de sistemas produtivos proporciona a efetivação de uma série de atividades inerentes ao processo industrial como, por exemplo, a avaliação de capacidade e o sequenciamento de estocagem da produção em um pátio. Devido à complexidade dessas atividades, a utilização de modelos torna-se fundamental para a gestão dos modernos sistemas produtivos, que no caso do estudo trata-se do sistema integrado pátio-porto.

Por fim, pode-se concluir que a utilização da simulação consegue modelar as características complexas do sistema, inclusive seu aspecto estocástico (ou probabilístico) e dinâmico, sem tornar o modelo difícil de ser estudado, de forma que a mesma será escolhida como ferramenta para o desenvolvimento do modelo para descrever e analisar o sistema pátio-porto para produtos de minério de ferro.

### 2.1.3 Método de Condução de Simulação Computacional

Law e McComas (1992), mostram oito elementos fundamentais para o sucesso de um projeto de simulação. Eles estão divididos em três classes: a classe técnica, a classe gerencial e a classe de precisão dos dados.

Classe Técnica:

- Conhecer a metodologia de simulação, os modelos estocásticos de pesquisa operacional e a teoria das probabilidades e estatística;
- Modelar a aleatoriedade do sistema de maneira razoável;
- Escolher o “software” de simulação adequado e utilizá-lo corretamente;
- Usar procedimentos estatísticos apropriados para interpretar os dados de entrada e saída da simulação;

Classe Gerencial:

- Formular corretamente o problema;
- Empregar técnicas de gerenciamento de projetos;

Classe de Precisão dos Dados:

- Obter boa informação sobre os procedimentos de operacionalização do sistema e na lógica de controle;
- Estabelecer a validade e a credibilidade do modelo. Fazem-se as rodadas para levantamento dos resultados dos cenários escolhidos;
- Análise dos dados de saída – Utilizar técnicas estatísticas para analisar os dados de saída. Nos casos de várias alternativas, escolhe-se a melhor opção;
- Documentação, apresentação e implementação – Como os projetos de simulação quase sempre são usados novamente, é necessário documentar todo o projeto, a fim de poder utilizá-lo no futuro.

#### 2.1.4 Qual software utilizar?

Segundo Law e Kelton (1991), existem duas grandes classes de softwares de simulação:

**Linguagens de simulação:** São "pacotes" computacionais de natureza genérica, porém com características especiais para determinados tipos de aplicações em simulação. A vantagem das linguagens de simulação é a grande flexibilidade que permite modelar qualquer tipo de sistema. As desvantagens estão associadas à necessidade de conhecimentos específicos de programação, e ao tempo demandado para a construção de modelos mais complexos;

**Simuladores:** São "pacotes" computacionais que favorecem a modelagem de sistemas específicos com pouca programação. As vantagens dos simuladores estão associadas ao tempo reduzido para construção do modelo, e a facilidade de utilização (*user-friendly*), com menus e gráficos relacionados com o sistema específico. A desvantagem principal pode ser atribuída a pouca flexibilidade de modelagem.

O software escolhido para desenvolver o modelo foi o ARENA, que é um ambiente gráfico integrado de simulação. O software ARENA foi considerado por renomados especialistas em simulação como "O mais inovador software de simulação", por unir os recursos de uma linguagem de simulação à facilidade de uso de um simulador, em um ambiente gráfico integrado. Não é necessário escrever nenhuma linha de código no software ARENA, pois todo o processo de criação do modelo de simulação é gráfico e visual.

### 2.1.5 Metodologia da pesquisa

No mundo cada vez mais competitivo, a simulação tornou-se uma ferramenta muito potente para o planejamento, projeto e controle de sistemas. Não sendo mais considerado como abordagem de "último recurso", é vista hoje como metodologia indispensável para solução de problemas de engenheiros, projetistas e administradores. Para auxiliar na elaboração de projetos de simulação existem diversas metodologias consagradas na literatura, dentre as quais podemos citar Banks (1984), Pedgen (1990) e Kelton Sadowski (1998). O uso de uma metodologia para execução do projeto de simulação permite evitar erros que podem causar o insucesso do modelo, tais como:

- Definição equivocada dos objetivos do estudo da simulação.
- Nível inadequado de detalhes:
- Interpretações equivocadas da operação do sistema.
- Falha na obtenção de dados representativos do comportamento do sistema.
- Software de simulação inadequado.
- Falha na consideração dos fatores aleatórios no comportamento do sistema simulado.
- Utilização medidas de desempenho inadequadas.

Freitas (2001), baseado nos textos clássicos citados, propôs uma metodologia dividida em quatro etapas principais conforme figura 2 e que será utilizada na presente pesquisa. A escolha pela metodologia proposta por Freitas (2001), foi por possuir uma estrutura bem definida e consistente, além de ser de fácil implementação e análise de resultados.

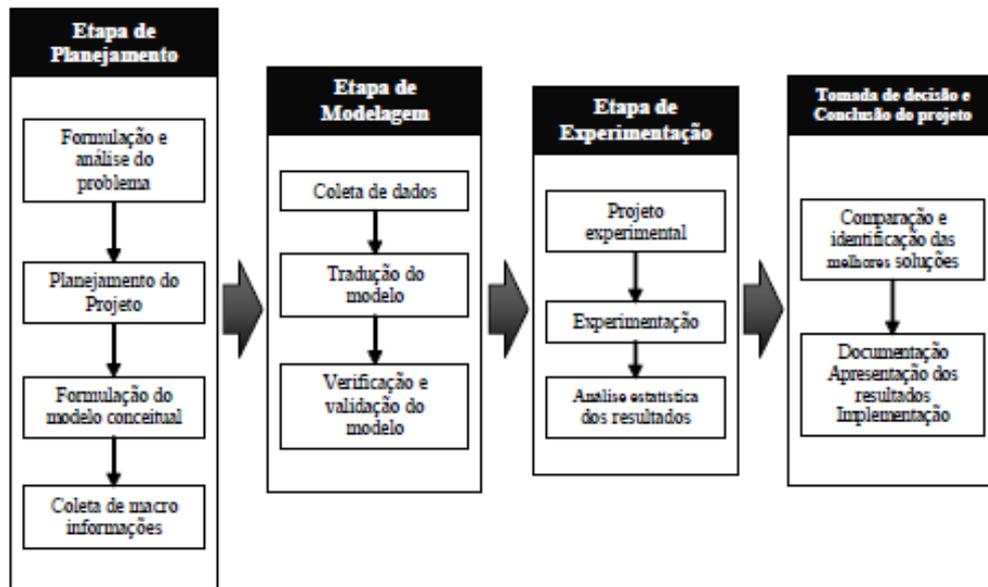


Figura 2– Passos de um estudo de modelagem e simulação (Fonte: Freitas, 2001)

A metodologia proposta se divide nas etapas detalhadas a seguir. Para cada etapa, são relatadas as evidências do uso da metodologia na presente pesquisa.

#### a) Etapa de planejamento:

##### a.1) Formulação e Análise do Problema:

Consiste em compreender o problema, o porquê ele está sendo estudado, o que deve ser considerado como premissa, quais os resultados esperados e como avaliar o sistema.

Nesta etapa foram realizadas reuniões de planejamento do projeto de simulação, onde foram definidos o objetivo do sistema a ser modelado, o escopo do modelo e quais análises deveriam ser realizadas. Também foram definidas as métricas de desempenho para avaliar as configurações propostas. O produto final dessa etapa está descrito nos tópicos 1.1 e 1.2 deste trabalho.

#### a.2) Planejamento do Projeto:

Devem ser determinadas as necessidades de pessoal e recursos e definido um cronograma para o projeto. Além disso, devem ser definidos os cenários a serem considerados nas análises.

Esse passo foi concluído após análise de disponibilidade da equipe de projeto, infra-estrutura de TI e licenças de uso de software. Os cenários de análises podem ser consultados na secção 3.8.

#### a.3) Formulação do Modelo Conceitual:

Trata-se da elaboração de um esboço do sistema, é nessa etapa que se define como o problema será tratado, determinando suas variáveis, parâmetros, componentes e interações lógicas. O nível de detalhamento do modelo conceitual será transferido para o modelo computacional, portanto deve-se ter muito cuidado na sua elaboração.

Para elaboração do modelo conceitual optou-se por dividir o modelo em três subsistemas principais, sendo eles: operação dos navios, carregamento dos navios e estocagem de material nos pátios. Para cada um desses subsistemas foi elaborado um fluxograma de operação, que serviram como base para implantação da lógica da simulação. A dinâmica de cada subsistema bem como seus respectivos fluxogramas estão presentes no tópico 3.2.

#### a.4) Coleta de Macro-Informações e Dados:

Esta etapa consiste em coletar informações a fim de ser ter um embasamento que permita uma análise crítica do modelo. Os dados coletados serão usados para alimentar os parâmetros do modelo definidos na etapa anterior e devem ser tratados com muito cuidado. A qualidade dos dados está diretamente relacionada com a qualidade dos resultados emitidos pelo modelo.

Neste projeto, as etapas de Coleta de Macro-Informações e Dados foram agrupadas. Os dados foram coletados do software SAP R3 e relatórios de embarque utilizados na empresa. Tais dados foram analisados e acontecimentos excepcionais

descartados. A secção 3.5 apresenta o protocolo de coleta de dados utilizado na simulação.

### **b) Etapa de modelagem:**

b.1) Tradução do Modelo: a tradução do modelo nada mais é do que a transcrição do modelo conceitual para uma linguagem de simulação.

Nesta etapa o modelo conceitual foi desenvolvido no Software ARENA, que foi o método científico utilizado no projeto. O ARENA possui ferramentas importantes para o estudo em questão, tais como: Simulador de eventos discretos, interface com o usuário, animação gráfica e *Input/Output Analyser*.

b.2) Verificação e validação: essa etapa é fundamental para a credibilidade do modelo, nela o modelo é testado para verificar e validar se os resultados que o mesmo gera são representativos dos resultados do modelo real.

Esta etapa pode ser evidenciada na secção 3.6.

### **c) Etapa de experimentação:**

c.1) Projeto Experimental Final: consiste em projetar experimentos que irão gerar as informações desejadas e determinar como cada um dos processamentos computacionais no projeto será executado.

Esta fase pode ser consultada nos tópicos 3.7 Tamanho das replicações e número de replicações e 3.8 Cenários de simulação.

c.2) Experimentação: executar as simulações dos cenários desejados a fim de se obter os dados para a realização das análises.

A etapa c. pode ser consultada na secção 4.

c.3) Interpretação e Análise dos Resultados: com base nos indicadores gerados pelo modelo, analisar o resultado e verificar a necessidade de realizar mais rodadas do modelo a fim de conseguir maior precisão dos resultados.

Informações referentes a essa etapa estão no tópico 4.

**d) Tomada de decisão e conclusão do projeto:**

d.1) Comparação de Cenários e Identificação das melhores soluções: consiste na comparação dos cenários a fim de identificar a melhor alternativa. Tal comparação é feita no capítulo 5.

d.2) Documentação, Apresentação dos Resultados e Implementação: elaboração da documentação do sistema e resultados obtidos, seguidos pela apresentação dos mesmos para os clientes do projeto.

## 2.2 PÁTIOS DE ESTOCAGEM:

A seguir será feita a descrição do subsistema dos pátios de estocagem, seus componentes e principais problemas encontrados. Esse estudo faz-se necessário para que as principais características deste sistema sejam abordadas no modelo de simulação de forma correta e coerente.

Na indústria em geral a formação de estoques de matéria-prima de produtos acabados, ou ainda, de produtos intermediários acaba sendo necessária, por diversas razões que podem ser:

- Formação de estoques de segurança para operação, com a finalidade de gerenciar incertezas de previsões de suprimento e/ou demanda, de forma a evitar atrasos nas vendas ou mesmo perda de vendas por algum tipo de problema na produção;
- Suportar a falta de coordenação de suprimento e demanda entre processos, evitando a ociosidade de um recurso padrão por falta de uma matéria-prima;
- Aguardar chegada do meio de transporte (trem ou navio) para poder embarcar a produção. A intermitência do meio de transporte torna necessária a utilização de estoques.

A estocagem de granéis sólidos genericamente pode ser efetuada de duas maneiras, em silos, ou em pátios. A estocagem ainda pode ser dividida em estocagem a céu aberto ou estocagem em galpões fechados. (Ferreira, 1989).

Tratando-se de minério de ferro, a estocagem em pilhas a céu aberto é o método mais amplamente utilizado, mesmo assim esse método exige regras e tem limitações sérias quanto, por exemplo, à perecibilidade do material e à sua granulometria (para evitar perdas pela ação do calor, do vento, e da chuva, além da contaminação por outros materiais), que exigem cuidados especiais no projeto do pátio. (Zador, 1991)

A grande vantagem sobre os outros processos é a de permitir a estocagem de grandes quantidades, por longos períodos de tempo e a custo relativamente baixo. As pilhas podem ter formatos mais variáveis, dependendo das características do material e as disponibilidades de espaço e equipamento: cônicas, prismáticas,

prismas de secção trapezoidal, prismas com eixo circular ou semicircular etc. A altura da pilha dependerá da degradação mecânica do material sobre o peso das camadas sobrejacentes, das características do solo em que se apóia a pilha, e do equipamento disponível. A seguir serão abordadas as questões relacionadas à construção e à retomada de pilhas em pátios a céu aberto.

### 2.2.1 Construção e retomada de pilhas

Existe um número grande de equipamentos e de técnicas para construção de pilhas. A sua aplicabilidade varia de acordo com o cuidado dado à operação, com a quantidade de material a ser movimentada e com o nível de automação desejado.

A estocagem em pilhas apresenta uma série de problemas, que deve ser equacionada para o bom sucesso da instalação. A seguir alguns problemas típicos da estocagem em pilhas em pátios a céu aberto e as soluções preconizadas para seu controle. (Leal Filho, 1994)

- **Desprendimento de poeira:** As poeiras são um dos problemas mais sérios encontrados. Além das perdas de massa arrastada pelo vento, que podem ser significativas em muitos casos, ocorre que essas perdas podem ser seletivas, isto é, as frações finas arrastadas podem ter características diferentes das da média da população, e a sua perda pode alterar a composição ou as características do material estocado. Além disto, elas afetam a vida dos equipamentos e o conforto das pessoas.

Existem várias maneiras de atacar este problema, muitas das quais precisam ser utilizadas em conjunto, levando-se em conta o alinhamento das pilhas com a direção dos ventos predominantes no local, a aplicação de barreiras contra o vento e o aspergimento de água nos pontos de transbordo.

- **Segregação granulométrica:** Durante qualquer transferência a partir de um transportador de correia, e especialmente no derramamento sobre uma pilha, as partículas de maior dimensão tendem a rolar sobre a superfície de

deposição. Isto não acontece com os finos, que só se movem por escorregamento. Construindo-se uma pilha sem qualquer precaução, no final as partículas grossas estarão todas concentradas junto à saia e os finos no centro. (Schofield, 1980)

Desta forma caso se retome apenas a base ou os lados de uma pilha, o produto retomado será diferente da média do material ali estocado. O mesmo pode se dizer se for retomada apenas a porção central. Por esse motivo é necessário estudar a forma de retomada das pilhas, suas principais características e imitações para se construir o modelo.

- **Compactação:** Certos materiais coesivos, quando ficam muito tempo submetidos à ação da pressão, aglomeram-se e formam um cascarão ou briquete, que se torna quase impossível de remover. Isto é muito freqüente com carvões betuminosos e com o minério de ferro fino e úmido. (Schofield, 1980)

Por este motivo, é importante que o modelo construído possa avaliar o tempo de estocagem dos materiais no pátio.

- **Umidade:** O empilhamento de material úmido pode acarretar problemas de manuseio durante o empilhamento ou a retomada. O fato de a pilha ser construída ao tempo faz com que ela receba sol e chuva, tendo a sua umidade constantemente variada. Para alguns materiais isto é pouco importante, mas para outros como minérios destinados à exportação que têm especificações muito rígidas e para os quais são exigidas umidades cada vez mais baixas, essa característica pode ser crítica. (Journel, 1974)

Além disto, a umidade acarreta problemas operacionais como o entupimento de equipamentos e formação de caminhos preferenciais nas pilhas. Esses problemas não podem ser desprezados ao se construir o modelo de simulação uma vez que a umidade interfere diretamente na taxa de carregamento dos navios e na disponibilidade dos equipamentos.

- **Morto:** O Morto é todo material que não pode ser retomado das pilhas sem a ajuda de equipamentos como tratores. O morto representa uma parcela considerável da pilha, e deve ser estudado, pois toda movimentação de material no pátio acarreta custos e pode piorar a qualidade do mesmo e interferir na capacidade dos pátios e no carregamento dos navios. (Chaves, 2006)

Além dos problemas descritos acima os granéis sólidos apresentam grande variação de fator de estiva e ângulo de repouso.

- O fator de Estiva é o volume em metros cúbicos ocupados por uma tonelada métrica de mercadoria a ser embarcada. Ou seja, é a quantidade de mercadoria que podemos colocar em um metro cúbico.

No modal rodoviário, usa-se na maioria das vezes o fator 0.3, isto significa a 300 kg por metros cúbicos. Uma carreta normal tem capacidade para 90 metros cúbicos, portanto, se multiplicarmos 300 kg por 90 metros, temos uma capacidade para carregamento de 27.000 kg ou 27 toneladas, que é o Payload (carga útil) que pode ser transportado.

- **Ângulo de repouso:** é o ângulo de inclinação formado pelo deslizamento da primeira camada de partículas. Esse Ângulo é uma característica física do material que está relacionada com a escoabilidade do mesmo. A tabela 2 apresenta as propriedades de alguns granéis sólidos entre eles o minério de ferro, alvo deste estudo de caso.

**Tabela 2– propriedades dos granéis**

Carga	Fator de Estiva (M <sup>3</sup> / Tonelada)	Ângulo de repouso Granel seco (°)
Bauxita	0,74 - 0,91	28-49
Cimento	0,65	
Carvão	0,80 - 1,40	30-45
Milho	1,33 - 1,42	30-40
Centeio	1,42	30
Soja	1,25	30
Trigo	1,33 - 1,39	25-30
Minério de Ferro	0,30 - 0,66	30-50
Fosfato	0,73 - 0,78	30-34
Potássio	0,87 - 1,03	32-35
Açúcar	1,13 - 1,27	40
Petróleo	1,20	
Carga Geral	1,04 - 1,39	
Óleos Vegetais	1,10	

Alguns produtos ainda apresentam peculiaridades na estocagem, um exemplo é a estocagem de pelotas de minério de ferro que é dificultada pela facilidade deste material em rolar dificultando a estabilidade da pilha e impossibilitando a retomada da pilha pela base.

Para este material a retomada das pilhas se dá em bancadas ou blocos (Gerstel, 1977). Sendo assim, é necessário um estudo sobre a formação e retomada destas pilhas uma vez que o principal produto do caso estudado são as pelotas de minério de ferro.

Existem diferentes práticas operacionais para o empilhamento de pelotas de minério e ferro nos pátios de estocagem, alguns métodos são utilizados com objetivo de homogeneizar as pilhas, uma vez, que esses materiais chegam ao pátio com características diferentes entre si e necessitam ser homogeneizados. Abaixo serão descritos alguns destes métodos.

### 2.2.2 Métodos de empilhamento:

Existem diferentes práticas operacionais para se empilhar o material nos pátios, sendo que os principais métodos segundo Schofield (1980) são: cone Shell, Chevron e Windrow.

Localmente as empresas criam métodos próprios de maior ou menor efetividade, como os “multichevron”, “conevron”, “multicone”, entre outros.

Nem todos os métodos objetivam a homogeneização. Dentre os métodos de empilhamento que se aplicam a pilhas cujo propósito principal seja a mera estocagem, pode-se destacar: o método Cone Shell (Fischer, 1981).

A seguir serão descritos alguns dos métodos citados acima:

#### Método Cone Shell:

Neste método a empilhadeira forma um cone inicial, então se move para frente, estaciona e começa a descarregar o material sobre a superfície do cone inicial até atingir a altura máxima e repete a operação tantas vezes quanto necessário como mostra a figura 3.

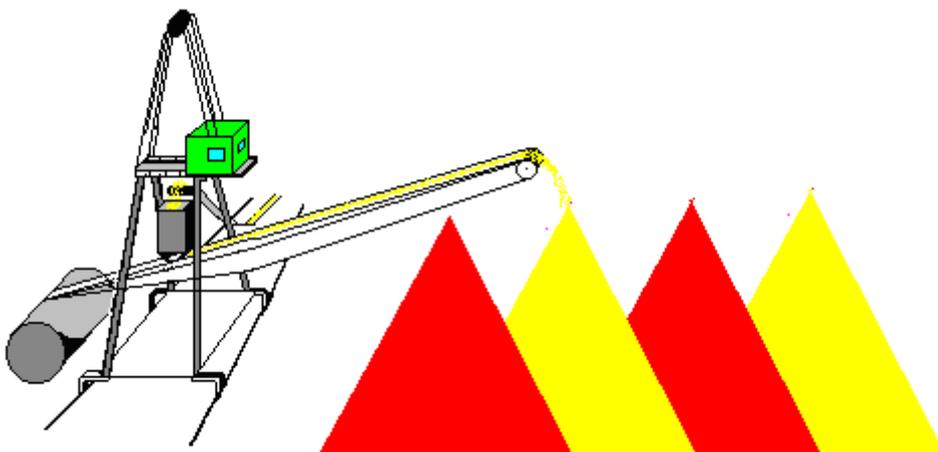


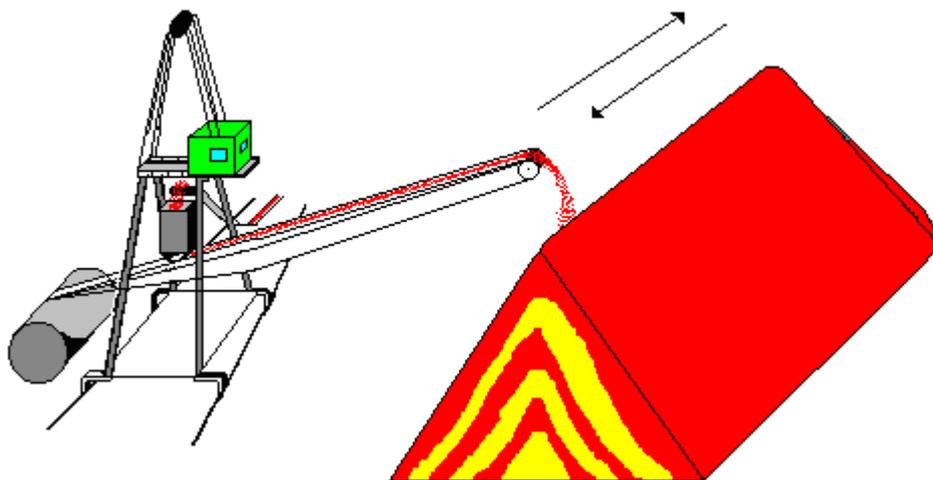
Figura 3– Empilhamento pelo método Cone Shell.

Neste método não se busca homogeneização embora se consiga alguma à custa de complicações no manuseio e de uma seqüência caprichosa de construção dos cones.

A grande vantagem deste método é que a empilhadeira fica parada a maior parte do tempo e a degradação granulométrica só é sensível no cone inicial. Sendo assim este método diminui o desgaste dos equipamentos, trilhos e cabos elétricos.

### **Método Chevron:**

Este método consiste no empilhamento de camadas sucessivas, alinhadas sobre o mesmo segmento de reta, umas sobre as outras, na direção longitudinal da pilha. Como mostra a figura 4.



**Figura 4– Empilhamento pelo método Chevron**

Este método é o mais comumente empregado, devido às seguintes vantagens:

- A empilhadeira pode ter torre fixa, e sua lança, menor comprimento, resultando numa empilhadeira de peso relativamente menor, e com um custo total de instalação mais baixo;

- A automação dos movimentos da máquina de empilhamento é mais simples que nos demais métodos;
- Possibilita a adição de materiais corretivos em qualquer instante (até nas últimas camadas empilhadas, de forma a manter o produto sempre dentro das especificações desejadas). Ou seja, a correção da qualidade do lote é mais fácil que nos outros métodos.
- A retomada dos cones externos é mais simples que nos demais métodos;

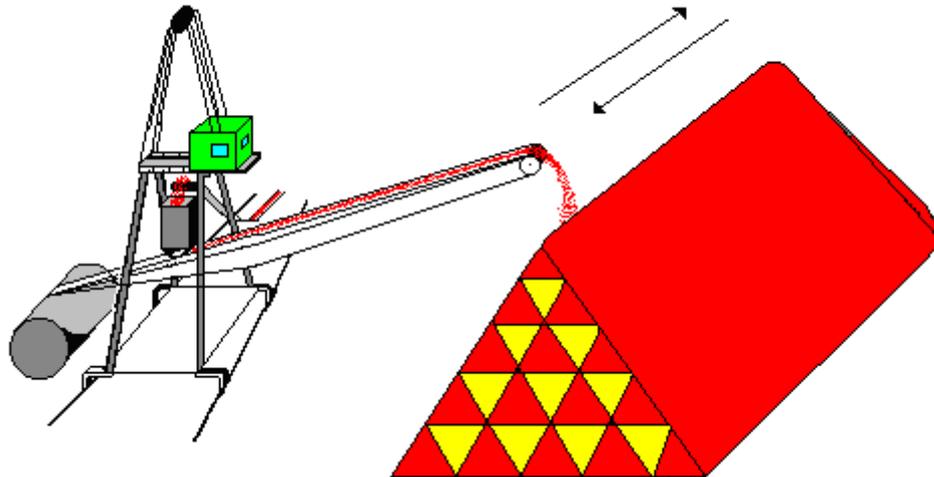
Esse é o método básico de empilhamento, por ser o mais barato e satisfatório em termos de homogeneização.

A sua desvantagem é a segregação granulométrica na seção transversal da pilha, eventualmente não controlável, dependendo do tipo de equipamento utilizado na retomada da pilha. Se a segregação for por alguma razão, um aspecto crítico para o processo posterior e o método de retomada apresentar variações inaceitáveis, então outro método de empilhamento deve ser utilizado.

### **Método Windrow:**

O método Windrow consiste em cobrir toda a área prevista de ser ocupada pela pilha, por uma série de pilhas paralelas entre si e na direção longitudinal do pátio. Cada uma dessas pilhas da base consistirá em um deslocamento da empilhadeira na direção longitudinal escolhida, até que a seqüência seja formada.

Completado o primeiro conjunto de pilhas, um novo conjunto é iniciado, agora no sentido contrário ao primeiro sendo o empilhamento feito nos espaços entre as pilhas que formaram a base. Essa seqüência deve ser seguida até que a pilha seja completada como mostra a figura 5.



**Figura 5– Empilhamento pelo método windrow**

A utilização deste método de empilhamento visa minimizar a segregação granulométrica, além de tornar o produto mais homogêneo e a posterior manobra de recuperação, mais rápida.

A vantagem deste método é que a segregação granulométrica das partículas é consideravelmente reduzida, pois fica distribuída dentro dos cordões.

Outra vantagem é o possível aumento na taxa de recuperação e conseqüentemente na taxa de carregamento dos navios quando este método é utilizado.

As desvantagens deste método são:

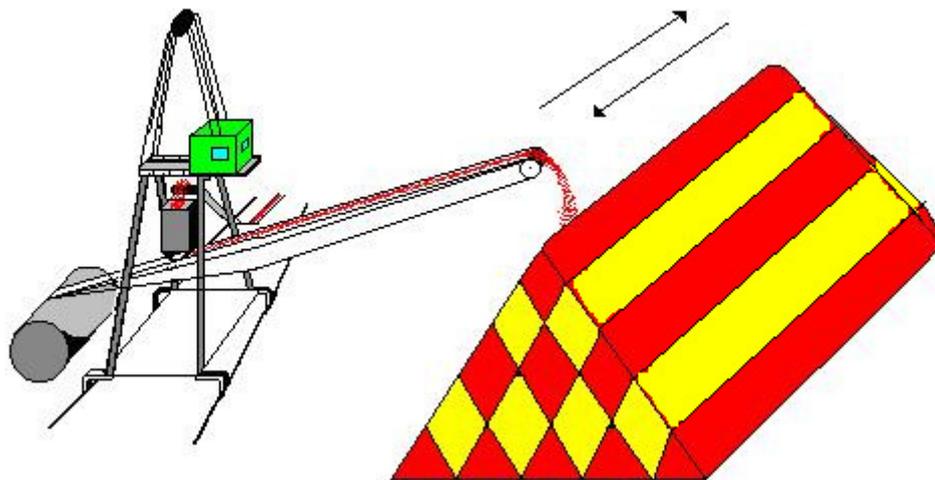
- É necessária uma empilhadeira com lança giratória ou telescópica, e dotada também de movimento de elevação vertical, portanto, um equipamento mais caro que o utilizado no método Chevron, por exemplo;
- Ocorre a perda no volume que pode ser estocado;
- A utilização dos cones extremos é bem mais difícil;
- A automação dos movimentos da empilhadeira é bem mais complexa, requerendo computador ou controlador programável, capaz de acionar conforme necessário a reversão do movimento, a elevação da lança e sua movimentação lateral ao fim de cada passada.

- Se acontecer a necessidade de retomar uma pilha incompleta podem ocorrer dificuldades operacionais.

### **Método Samarco de empilhamento:**

A empresa alvo do presente estudo utiliza um método próprio de empilhamento, chamado aqui como método Samarco. Tal método busca as vantagens citadas nos três métodos descritos acima.

Neste método a empilhadeira forma um pequeno cone inicial, então se move para frente, formando outro pequeno cone, sendo que essa operação se repete por várias vezes até que seja coberto toda a área onde se deseja formar a pilha final. Em seguida faz-se o empilhamento de pilhas sucessivas por cima das pilhas iniciais, cobrindo também toda a área prevista de ser ocupada pela pilha. Essa seqüência deve ser seguida até que a pilha seja completada como mostra a figura 6.



**Figura 6– Método de empilhamento Samarco (Fonte: O Autor)**

### 2.2.3 Equipamentos utilizados na operação de Empilhamento:

Segundo Schofield (1980), o empilhamento de materiais granéis minerais pode ser realizado através de diversos equipamentos, a seguir serão descritos os equipamentos existentes na empresa alvo deste estudo de caso:

- Empilhadeira com lança fixa e única: é a configuração mais comum quando o empilhamento é feito através do sistema chevron e o material não causa o levantamento de pó.
- Empilhadeira com lança única, com torre fixa, movimento apenas no plano vertical. Basicamente o mesmo campo de atuação do equipamento descrito acima, só que aplicável para materiais onde o levantamento de pó ou a degradação granulométrica, são críticas.
- Empilhadeira com lança única e torre giratória: É mais versátil do que os equipamentos descritos acima, no entanto, possui maior custo de aquisição. Geralmente são utilizados no método Windrow de empilhamento.

Além das máquinas apoiadas sobre trilhos, existem máquinas apoiadas sobre esteiras. Para o manuseio em pátios, a maior parte delas apoia-se sobre trilhos, a não ser nas situações em que a pilha seja extremamente larga ou que a adoção de máquinas sobre trilhos não se justifique. Essas máquinas, entretanto são mais lentas e pesadas e a operação torna-se mais complexa e não serão tratadas neste trabalho uma vez que na empresa alvo deste estudo de caso todas as máquinas do pátio são apoiadas sobre trilhos.

### 2.2.4 Prática operacional da Retomada de material

Segundo Worsley (2009), podem-se dividir os equipamentos de retomada em duas categorias principais: *Scrapers* e *Bucket Wheel*. Ambos têm vantagens e desvantagens que os fazem preferíveis uns sobre os outros dependendo do tipo de aplicação necessária.

Nesta etapa do processo também são disponíveis máquinas apoiadas sobre trilhos e máquinas apoiadas sobre esteiras. Comparando-se os retomadores montados sobre trilhos e aqueles montados sobre esteiras, pesando as vantagens e desvantagens de cada um, a tendência é adotar máquinas apoiadas sobre trilhos, pois apesar do seu maior custo de aquisição, exibem maior facilidade de operação, menor desgaste, e possibilidade de automação. (Worsley, 2009)

A maioria das instalações onde há necessidade de grandes reduções na heterogeneidade do material são utilizadas máquinas de retomada que trabalham na face transversal da pilha (Worsley, 2009). Na empresa alvo deste estudo de caso são utilizados apenas equipamentos do tipo retomador de lança com roda de caçambas apoiado sobre trilhos, que será descrito a seguir.

- **Retomador de lança com roda de caçambas:** É um equipamento composto por uma lança com um disco que possui um sistema giratório em sua extremidade, sendo que este disco possui vários ancinhos, para que com seu movimento, consiga desagregar o material jogando-o para o sistema de correia existente na lança e transportando o material desagregado para o navio, conforme mostra a figura 7.



Figura 7– Retomador de lança com roda de caçambas (Flender, 2009)

É possível variar a prática da retomada, escavando toda a seção transversal, escavando blocos discretos da pilha, ou então, percorrendo-a em bancadas. Sendo que, cada uma destas práticas tem diferentes produtividades que impactam diretamente na taxa de carregamento.

Na empresa alvo deste estudo de caso sempre que possível busca-se retirar o material de pilhas cheias, pois desta forma consegue-se uma maior taxa de recuperação e conseqüentemente uma maior taxa de carregamento, mas caso seja necessário recuperar o “morto” das pilhas utiliza-se a prática de escavar blocos discretos da pilha, essa prática é a que possui menor produtividade por escavar sempre pequenas pilhas.

As práticas de retomada e de empilhamento foram consideradas no simulador para que o mesmo reflita a realidade destas operações aproximando o modelo das práticas da empresa gerando resultados satisfatórios.

## 2.3 SISTEMA PORTUÁRIO:

Um porto é uma área, abrigada das ondas e correntes, localizada à beira de um oceano, mar, lago ou rio, destinada à atracação de barcos e navios, com toda estrutura necessária para efetuar o carregamento e descarregamento de cargas e pessoas, bem como instalações para a movimentação de pessoas e cargas ao redor do setor portuário. (Alfredini, 2005)

Segundo Alfredini (2005), os elementos indispensáveis para um porto são:

- Presença de profundos canais de água (profundidade ideal varia com o calado das embarcações);
- Abrigo: Condição primordial de proteção da embarcação contra diferentes tipos de ventos, ondas e correntes;
- Profundidade e acessibilidade: que deve ser compatível com as dimensões das embarcações que vão ocupar o canal de acesso, as bacias portuárias (de espera ou evolução) e os berços de acostagem;
- Área de retro porto: São as áreas terrestres próprias para movimentação de cargas (armazenagem, estocagem e administração portuária);
- Acessos terrestres e aquaviários: São necessários acessos terrestres ou aquaviários (hidroviários) para prover eficientemente a chegada ou retirada de cargas do porto.

Além destes elementos é necessário considerar o impacto ambiental o porto traz ao meio físico e biológico adjacente, devendo ser cuidadosamente avaliadas suas implicações sócio-econômicas. Somente um estudo de impacto ambiental multidisciplinar aprovado pelas agências de controle do meio ambiente governamentais permite a obtenção de licença (prévia, de construção e operação) para novos empreendimentos. (Rios, 1986)

O presente trabalho não irá abranger tais aspectos ao construir novos cenários para o sistema portuário estudado, pois estes aspectos exigem estudos profundos e específicos.

Geralmente em portos especializados em granel sólido, como o minério de ferro é possível empregar equipamentos de alta capacidade de transferência para acelerar a operação de movimentação de carga e, conseqüentemente, a rotatividade das embarcações.

É desejável que a estocagem de graneis sólidos ocorra bem próxima do porto, devido à complexidade de transferir tais materiais dos pátios para os navios. Entretanto, as pilhas podem causar problemas geotécnicos por sua elevada carga unitária sobre o terreno nas áreas próximas ao porto. (Alfredini, 2005)

Considerando terminais de grande movimentação de carga, dedicados exclusivamente ao carregamento de granéis sólidos como o minério de ferro o principal equipamento responsável pelo carregamento dos navios é o *shiploader*. Este equipamento será descrito a seguir.

- ***Shiploader* (Carregador de navios):** O *shiploader* é o equipamento responsável pelo carregamento do navio. Este equipamento carrega o navio de forma constante, através de um sistema de correias. Basicamente existem três tipos de *Shiploader*, fixo, móvel, e o móvel e giratório. As taxas de carregamento, dependendo do equipamento, situam-se de 500 a 16.000 toneladas por hora. (Alfredini, 2005)

A empresa foco deste estudo de caso possui um *shiploader* do tipo móvel e giratório, para os cenários onde serão adicionados novos *shiploaders* todos serão deste mesmo tipo.

Ainda existem equipamentos com um bico telescópico, esse equipamento faz com que o material seja despejado no interior do porão do navio diminuindo a emissão de pó, que é um fator crucial para o sistema portuário, como mostra a figura 8.



**Figura 8– Shiploader com bico telescópico no porto de Lianyungang na China**

A figura 11 na secção Caso estudado mostra o *shiploader* da empresa alvo deste estudo, o mesmo possui uma capacidade de carregamento de 11.200 toneladas / hora.

### 3 CASO ESTUDADO

O modelo de simulação a ser desenvolvido será baseado nas características e particularidades de uma empresa de mineração, a Samarco Mineração, que tem suas operações de pátio e porto localizadas no Espírito Santo.

A empresa possui três usinas de pelotização com capacidade de produção anual de 22 milhões de toneladas de pelotas de Minério de Ferro, possuindo em seu portfólio de vendas um total de seis tipos de pelotas, divididas em duas famílias que são as pelotas BF e DR citadas na introdução. Além das pelotas, a empresa também produz 1 milhão de toneladas de outros dois produtos: o *pellet-screening* e *pellet-feed*, descritos na introdução.

A empresa deseja investir no aumento de sua capacidade de produção, passando para 34 milhões de toneladas sendo: 32 milhões de pelotas, 0,6 milhões de *pellet-screening*, e 1,4 milhões de *pellet-feed*. Com a configuração atual do sistema Pátio-Porto, estima-se que a empresa possui capacidade de embarcar 24 milhões de toneladas por ano. Tal situação ainda não ocorreu na prática por limitações de capacidade de produção e deverá ter sua viabilidade comprovada através do modelo. A partir da análise da capacidade real de embarque do porto, deverão ser analisados novos cenários que permitam embarcar 32 milhões de toneladas de pelotas em um ano.

Esse aumento de capacidade de produção acarretará em investimentos nos pátios de estocagem e no sistema portuário. Tais investimentos serão analisados de forma integrada, de forma a proporcionar um aumento na capacidade de embarque com uma visão de todo o sistema e suas interferências. Isso porque as operações nos sistemas pátio de estocagem e porto consistem de interações complexas devido à possibilidade de utilização de múltiplos equipamentos (empilhadeiras, recuperadora, *stack-reclaimer*, correias transportadoras e *shiploader*), variações de taxas de embarque e estoques físicos finitos, influenciadas por um alto grau de variabilidade, introduzida na forma da disponibilidade de equipamentos, variações de produção, conflitos operacionais, atrasos na chegada de navios e atrasos operacionais.

Desta forma, será considerada a interdependência entre os sistemas pátio e porto, pois as limitações individuais interferem diretamente no funcionamento do sistema. Por exemplo, caso o porto não receba nenhum navio por um determinado período o pátio poderá ficar totalmente cheio, o que obrigará a parada de produção nas usinas. Por outro lado pode ocorrer a falta de um determinado material necessário para embarcar em um navio, diminuindo a eficiência do porto. Além disto, um equipamento que pode transferir o material do pátio para o porto também é utilizado para empilhar o material no pátio, e caso este equipamento esteja subdimensionado todo o sistema perderá eficiência.

Para a análise de cenários que consideram o aumento do número de equipamentos no pátio de estocagem e/ou no porto novas regras de priorização de utilização equipamentos serão necessárias.

Para um melhor entendimento dos processos da empresa estudada, a seguir serão descritos os sistemas de Pátio de Estocagem e do Porto,

### **3.1 Pátio de Estocagem**

Toda a produção da empresa passa pelo seu pátio de estocagem de minério, pois a execução tem a característica *make to stock*, apesar do planejamento de produção ser *make to order*. Assim, a melhoria de desempenho do embarque depende, entre outras coisas, do aumento da eficiência da utilização do pátio. Essencialmente, há três tipos de perdas que devem ser reduzidas para aumentar a eficiência do pátio: perdas de utilização do pátio; perdas de movimentação de máquinas e perdas com atrasos no carregamento. Tais perdas serão avaliadas no modelo e são descritas a seguir:

- Perdas de utilização do pátio – Esta perda se dá quando o material é empilhado no pátio de forma aleatória ou sem uma regra definida ou mal elaborada. Com isto pode ocorrer uma perda caso o pátio fique totalmente tomado obrigando a empresa a parar sua produção, ou ainda, pode obrigar a empresa a empilhar materiais com diferentes qualidades em um mesmo local

(pilha), aumentando a variabilidade do produto embarcado, podendo ainda gerar produtos não conformes.

- Perdas por movimentação de máquinas – Com a aquisição de novas máquinas, e mudanças na priorização de equipamentos para cada operação, novas restrições podem surgir, podendo levar a uma alta utilização de alguns equipamentos e/ou a subutilização de outros. Com isto a empresa pode ter perdas como o aumento de manutenção em equipamentos muito utilizados, maior desgaste nos equipamentos, ou ainda a diminuição na capacidade de empilhamento / recuperação.
- Perdas com atrasos no carregamento – Caso o número de equipamentos não seja suficiente, ou caso não exista uma regra sobre o empilhamento dos produtos no pátio e sua recuperação para os navios, ou ainda dependendo das restrições existentes no sistema, custos com multas por atraso nos carregamentos podem aumentar.

Para um melhor entendimento da influência das perdas citadas acima sobre o sistema e facilitar a análise de investimentos futuros que garantam a expansão da produção e auxiliem na redução desses desperdícios, faz-se necessário descrever o funcionamento do sistema atual.

No sistema atual, a estocagem dos materiais produzidos pela empresa é feita em três pátios de estocagem, sendo que cada pátio é dividido em 120 balizas. As balizas são subdivisões do pátio onde é possível formar uma pilha de um determinado material sem que o material desta pilha se misture com o material da baliza seguinte.

Os três pátios da empresa são adjacentes e cercados por correias transportadoras, responsáveis por transportar o material das usinas para os pátios de estocagem e para o porto.

Os pátios de estocagem têm capacidade de estocar 1,8 milhões de toneladas aproximadamente. Sendo que o Pátio A possui uma capacidade de estocar aproximadamente 0,5 milhões de toneladas de minério. O pátio B tem capacidade de estocar 0,8 milhões de toneladas e o Pátio C têm capacidade de estocar aproximadamente 0,5 milhões de toneladas de minério.

A operação de estocagem dos produtos nos mesmos é feita por uma série de equipamentos, destacados na figura 9:

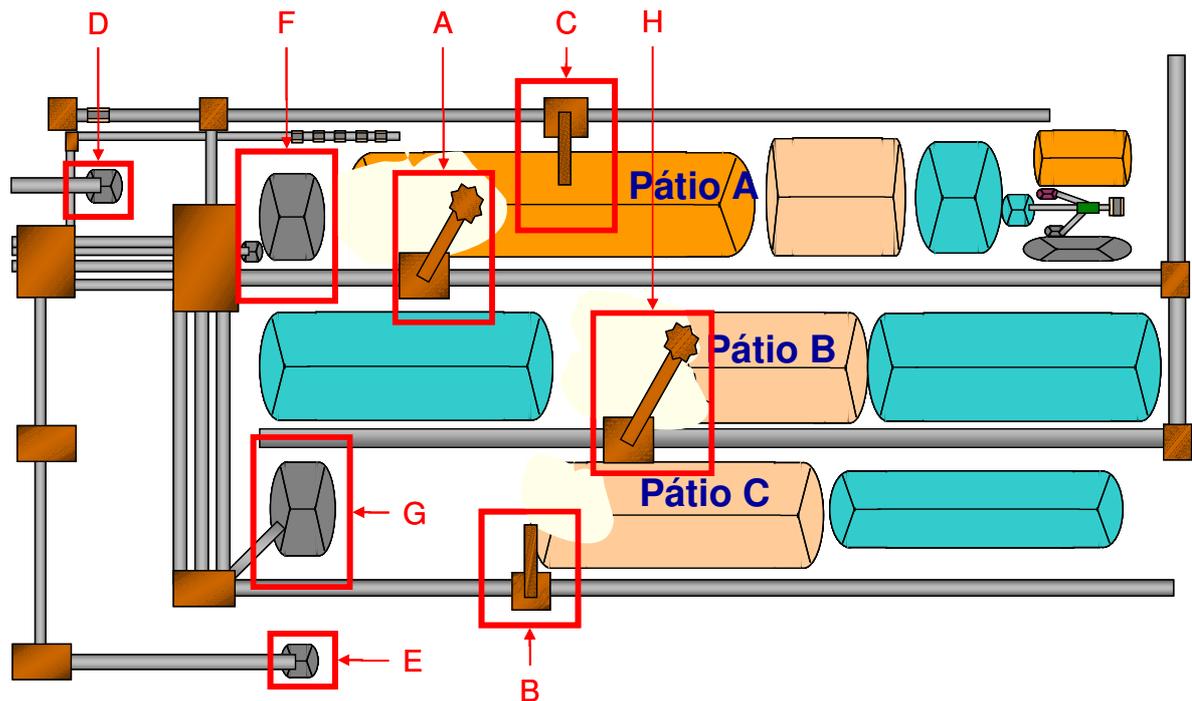


Figura 9– Pátios de estocagem

A seguir, serão apresentados e descritos os equipamentos em destaque na figura 9:

**A** – *Stack-reclaimer* – Este equipamento é capaz de empilhar material nos pátios A e B. Tem capacidade de empilhar as pelotas produzidas nas três usinas e pode empilhar todo o excedente de *pellet-feed*.

**B** – Empilhadeira 2 – Este equipamento é capaz de empilhar material no pátio C. Tem capacidade de empilhar as pelotas produzidas nas três usinas e pode empilhar todo o excedente de *pellet-feed*.

**C** – Empilhadeira 1 – Este equipamento é utilizado para empilhar material no pátio A. Tem capacidade de empilhar as pelotas produzidas nas usinas 1 e 2 e pode empilhar todo o excedente de *pellet-feed*.

**D** – Pilha de emergência das usinas 1 e 2.

**E** – Pilha de emergência da usina 3.

**F** – Sistema de empilhamento de *pellet-screening* das usinas 1 e 2.

**G** – Sistema de empilhamento de *pellet-screening* da usina 3.

Cada tipo de produto segue uma regra para definição do local onde será estocada a produção, tais regras serão descritas a seguir:

Pelotas – A prioridade para estocar as pelotas é no pátio B, pois possui dois equipamentos que podem realizar a operação de retirar o material do pátio e enviá-lo ao navio, com isto cria-se uma maior flexibilidade para a operação de retirada do material do pátio.

Se não for possível estocar as pelotas no pátio B, tenta-se estocar o material no pátio C, pois além da *Stack-Reclaimer* apenas a empilhadeira 2, possui capacidade de estocar a produção das três usinas simultaneamente.

Caso a empilhadeira 2 não esteja disponível ou não haja espaço disponível no pátio C, tenta-se empilhar as pelotas das três usinas no pátio A utilizando a *Stack-reclaimer* se este equipamento não estiver disponível então é necessário utilizar a empilhadeira 1 para estocar o material das usinas 1 e 2 no pátio A enquanto a produção da Usina 3 poderá ser empilhada utilizando a empilhadeira 2 caso a mesma esteja disponível, caso contrário a produção da usina 3 será enviada para a pilha de emergência da usina 3.

Por fim, caso a empilhadeira 1 não esteja disponível ou não haja espaço no pátio A para receber a produção das usinas 1 e 2, então esta produção será enviada para a pilha de emergência das usinas 1 e 2.

Caso a pilha de emergência das usinas 1 e 2 não tenha capacidade para receber a produção daquele momento então faz-se necessário parar a produção destas usinas. O mesmo acontece com a pilha de emergência da usina 3.

Todo o material enviado a pilha de emergência das usinas 1 e 2 e da usina 3 é retirado de lá através de pás carregadeiras que carregam o material das pilhas em caminhões e estes caminhões descarregam o material na baliza vazia mais próxima das pilhas de emergência. A quantidade de equipamentos disponíveis para realizar essa operação pode variar, pois a empresa aluga os equipamentos conforme sua necessidade.

Após identificar qual equipamento fará o empilhamento das pelotas e em qual local será empilhada a produção então se procura uma baliza que já possua uma pilha do material que será estocado e que ainda tenha capacidade para receber este material, caso não exista nenhuma baliza com este material com capacidade para receber a produção, procura-se então uma baliza vazia, sendo que a busca por uma baliza vazia se dá do final do pátio para o seu início.

*Pellet-feed* – A prioridade para estocar o *pellet-feed* é no pátio A utilizando a empilhadeira 1, caso a empilhadeira 1 não esteja disponível tenta-se utilizar o *stack-reclaimer* para realizar esta operação. Caso esse equipamento também não esteja disponível ou se o pátio A não tiver capacidade para receber a produção, tenta-se empilhar o *pellet-feed* no pátio C utilizando a empilhadeira 2. Se este equipamento também não estiver disponível ou ainda se o pátio C não tiver capacidade para receber a produção tenta-se por fim, empilhar no pátio B utilizando o *stack-reclaimer*, se o mesmo não tiver disponível ou ainda se o pátio B não tiver capacidade para receber a produção de *pellet-feed* então não se produz *pellet-feed* naquele momento.

Abaixo a tabela 3 mostra de forma resumida a priorização por pátio e tipo de equipamento referente ao empilhamento das pelotas e do *pellet-feed*. A tabela 3 deve ser lida da seguinte maneira. Por exemplo, a prioridade de estocagem de pelotas número 1 é feita no Pátio B via *Stack-reclaimer*. No caso do *pellet-feed*, a prioridade é empilhar no Pátio A via Empilhadeira 1. E assim sucessivamente de acordo com os níveis de priorização estabelecidos.

**Tabela 3– Priorização do local e equipamento que fará o empilhamento**

	Pelotas		Pellet Feed	
	Equipamento	Prioridade	Equipamento	Prioridade
Pátio A	Stack-Reclaimer	<b>3</b>	Empilhadeira 1	<b>1</b>
	* Empilhadeira 1	<b>4</b>	Stack-Reclaimer	<b>2</b>
Pátio B	Stack-Reclaimer	<b>1</b>	Stack-Reclaimer	<b>4</b>
Pátio C	Empilhadeira 2	<b>2</b>	Empilhadeira 2	<b>3</b>

\* Empilhadeira 1 tem capacidade de empilhar apenas as pelotas das Usinas 1 e 2

*Pellet-screening* - A produção de *pellet-screening* é enviada ao pátio de estocagem através de um sistema de correias próprio, sendo assim, o empilhamento deste produto não utiliza os equipamentos do pátio de estocagem. A estocagem do *pellet-screening* das usinas 1 e 2, se dá no início do pátio A, e a produção de *pellet-screening* da Usina 3, se dá no início do pátio C.

A operação de retirar o material do pátio pode ser feita através de dois equipamentos, mas apenas um equipamento é utilizado por vez para realizar essa operação, pois só existe uma linha de carregamento. A seguir, serão apresentados e descritos os equipamentos em destaque na figura 9 acima que podem realizar esta operação:

**A - Stack-Reclaimer** – Este equipamento além de empilhar também é responsável por recuperar os materiais dos pátios A e B, mas sua prioridade é o empilhamento.

**H – Retomadora** – Este equipamento é responsável por recuperar os materiais dos pátios B e C.

O sistema de recuperação do material dos pátios de estocagem funciona da seguinte maneira:

Primeiramente é identificado o local onde se encontra o material que deve ser embarcado, caso o material se encontre no pátio A, é verificada a disponibilidade da *Stack-reclaimer*, caso este equipamento não esteja disponível não ocorre o carregamento naquele momento.

Se o material a ser recuperado estiver no pátio B, é verificada a disponibilidade da retomadora, caso a mesma não esteja disponível, verifica-se a disponibilidade da *stack-reclaimer*, se esta também não estiver disponível, não ocorre o carregamento do navio naquele momento.

Por fim, se o material se encontra no pátio C então se verifica a disponibilidade da retomadora e caso esta não esteja disponível também não ocorre o carregamento naquele momento.

A tabela 4 resume a priorização do equipamento que fará a retirada do material caso o mesmo se encontre disponível nos três pátios:

**Tabela 4– Priorização do pátio e do equipamento para retirar o material do pátio**

		Pelotas, Pellet Feed e Pellet Screening	
		Equipamento	Prioridade
Pátio A	Stack-Reclaimer		<b>4</b>
Pátio B	Stack-Reclaimer		<b>3</b>
	Retomadora		<b>1</b>
Pátio C	Retomadora		<b>2</b>

Após selecionar de qual pátio será retirado o material e qual o equipamento será utilizado inicia-se a recuperação do material do pátio para o navio.

### 3.2. SISTEMA PORTUÁRIO

O porto foi construído para escoar a produção de pelotas de minério de ferro da Samarco e atualmente recebe também navios de carvão que é um dos principais insumos para a produção de pelotas da empresa.

Toda a produção é escoada através de um porto que possui um píer de 313 metros de comprimento por 22 metros de largura e 2 berços de atracação protegidos por um quebra-mar em formato de L.

Os berços, denominados Leste e Oeste, possuem restrições como mostra a tabela 5:

**Tabela 5– Restrições dimensionais do porto de Ponta Ubu**

Berço Oeste		Berço Leste	
Comprimento (LOA)	< 309.m	Comprimento (LOA)	< 241.m
Boca	< 59.m	Boca	< 33.m
Calado	≤ 16,8.m	Calado	≤ 13.m
Cargo <u>Ajr</u> Draft	≤ 18,5.m	Cargo <u>Ajr</u> Draft	≤ 18,5.m
Bacia de Evolução (entrada)	Proa ≤ 10,2.m	Bacia de Evolução (entrada)	≤ 12,4.m
	Popa ≤ 13.m		

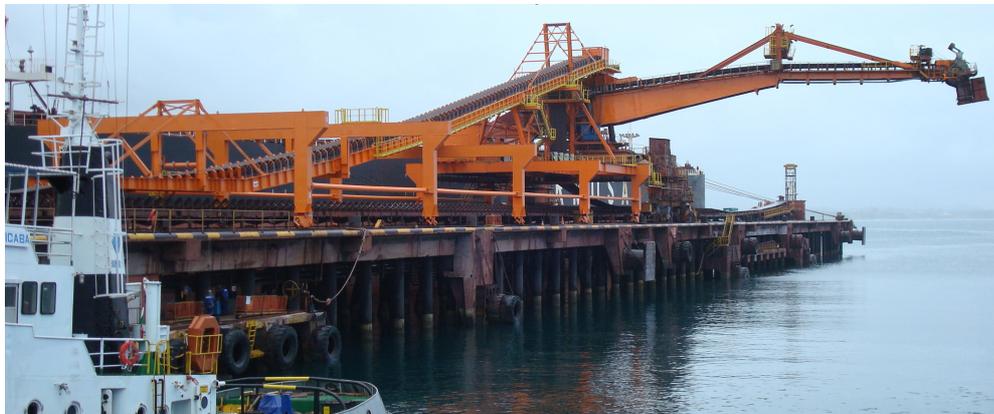
Baseado nas restrições mostradas na tabela 5 o berço leste comporta navios de até 75.000 toneladas aproximadamente e o berço oeste comporta navios de até 200.000 toneladas aproximadamente.

Além disto, no berço leste é permitida a atracação apenas no período diurno de 06h00 AM até 18h00 PM, enquanto que no berço oeste pode-se atracar navios a qualquer hora, sendo que ambos os berços ficam fechados para atracação e desatracação quando são apresentadas condições meteorológicas adversas. Abaixo a figura 10 mostra o porto de Ponta Ubu descrito acima que é utilizado pela Samarco Mineração.



**Figura 10– Porto de Ponta ubu (Fonte: Acervo Samarco Mineração)**

Apesar de possuir dois berços o porto possui apenas uma linha de carregamento e apenas um equipamento capaz de transferir a produção das correias transportadoras para os navios, este equipamento é chamado de *shiploader*. A figura 11 mostra o *shiploader*.



**Figura 11– Shiploader (Fonte: Acervo Samarco Mineração)**

### 3.3. PRINCÍPIOS PARA A MODELAGEM DO PROBLEMA

Em um sistema integrado como o proposto neste trabalho, existem diferentes objetivos a serem alcançados por cada subsistema que compõe o todo. Estes objetivos são muitas vezes conflitantes, de forma que uma melhoria feita em um ponto específico poderá diminuir o desempenho do sistema como um todo. A análise integrada do pátio e porto possibilita analisar no sistema como um todo o efeito causado por alterações em pontos específicos de cada subsistema.

Como uma forma de mapear todos os aspectos relevantes da realidade estudada, o modelo foi desenvolvido considerando a experiência de profissionais da área de estocagem e embarque. Para atingir os objetivos desejados, serão elaborados vários cenários visando analisar possíveis investimentos para aumento da capacidade do sistema pátio-porto em virtude de um possível aumento na produção anual da empresa. O modelo de simulação desenvolvido pode ser dividido em 3(três) grandes blocos, que serão apresentados a seguir. Uma descrição detalhada do modelo codificado em linguagem ARENA pode ser encontrada no anexo A:

- A operação dos navios, que envolve o processo de: chegada de navios, escolha do berço onde cada navio deve atracar e desatracação dos navios.
- A operação de carregamento dos navios, que envolve as lógicas de qual equipamento será utilizado para carregar cada navio e de qual pátio deverá sair o material a ser embarcado.
- A operação de estocar material no pátio, que envolve as lógicas de escolha do pátio em que cada material deve ser estocado, qual equipamento será utilizado para estocar cada material, e o local do pátio escolhido onde o material deve ser estocado.

Para construção do modelo fez-se necessário um estudo de dados históricos do terminal portuário e do pátio de estocagem para determinar o comportamento de cada uma das variáveis de entrada do modelo, sendo que a análise detalhada destas variáveis pode ser encontrada na seção 3.5 (coleta de dados).

Para cada bloco do modelo serão descritas as variáveis de entrada. Foi utilizada uma base de dados dos anos de 2006 a 2008 para determinar o comportamento de cada variável do sistema.

As alterações necessárias na lógica de operação de cada bloco para implementar os cenários de expansão do sistema serão descritas na secção 3.8 (Cenários de simulação).

### **3.3.1. A operação dos Navios:**

O bloco relativo à operação dos navios, inicia-se com a criação dos navios, sendo que cada navio possui um período de laydays, que é determinado através de uma curva estatística inserida no modelo. Com o período de laydays definido determina-se a hora em que o navio irá chegar ao porto em relação ao início do período de laydays. O momento da chegada também é definido através de uma curva de chegada do navio dentro do laydays, em seguida determina-se o tipo de carga do navio que pode ser: Pelotas BF, Pelotas DR, *Pellet-feed*, *Pellet-screening* ou Carvão, caso o produto escolhido seja o carvão sabe-se então que o navio irá descarregar no porto ao invés de carregar, em seguida determina-se a quantidade que o navio irá levar, sendo que existem duas curvas para determinar a carga do navio, uma para navios de carvão e outra para os outros tipos de navio. Após a escolha da carga do navio define-se o tipo de navio necessário para realizar aquele transporte, no modelo os navios são divididos em dois grupos sendo eles: navios panamax, com capacidade de carregar até 75.000 toneladas, e navios capesize com capacidade de carregar entre 75.001 e 200.001 toneladas. Os navios de carvão são considerados panamax, pois as quantidades descarregadas nestes navios variam entre 40.000 e 60.000 toneladas.

Após sua chegada no porto, o navio entra em uma fila de espera. O terminal utiliza o sistema *FIFO (First in First Out)* para priorizar a entrada dos navios no terminal. Esta regra só é quebrada caso o navio não tenha carga disponível no pátio de estocagem ou se o berço livre não suportar aquele tipo de navio. Como explicado anteriormente no berço leste somente é possível atracar navios com capacidade máxima de 75.000 toneladas.

Na operação de atracação dos navios leva-se em conta se existe alguma restrição de horário para atracação, pois como explicado anteriormente no berço leste a atracação só é permitida durante o dia (de 06:00 AM às 18:00 PM). Verifica-se também se no momento do início da manobra de atracação as condições meteorológicas são adversas. Caso exista alguma das restrições citadas anteriormente o navio continua aguardando na fila.

Na operação de desatracação além das condições meteorológicas é verificado se é necessário para o navio que irá desatracar aguardar maré para sua saída, as curvas com o percentual de navios que aguardam maré e a curva com o tempo que estes navios aguardam também são dados de entrada do modelo.

Por fim, antes das manobras de atracação e desatracação os navios passam por um canal, este canal permite apenas a passagem de um navio por vez, portanto o modelo precisa controlar o canal para que apenas um navio o ocupe por vez.

Os navios que irão desatracar têm prioridade de ocupar o canal, pois é prioridade do sistema maximizar a capacidade de carregamento do porto e desta maneira garantindo que os navios saiam o mais rápido possível garante-se que mais navios poderão ocupar e carregar no porto.

Os tempos para realizar a operação de atracação e desatracação dos navios também seguem distribuições estatísticas que podem ser consultadas na secção 3.5 (Coleta de dados).

Após o navio atracado, o modelo passa para o bloco de carregamento do navio, que quando termina envia um comando para o bloco de operação dos navios para desatracar o navio do terminal.

Após a operação de desatracação dos navios colhem-se estatísticas referentes a estadia do navio no terminal, multa de sobre-estadia paga pelo navio e o tempo em que o navio permaneceu em fila.

Abaixo a figura 12 mostra o fluxograma referente à operação dos navios:

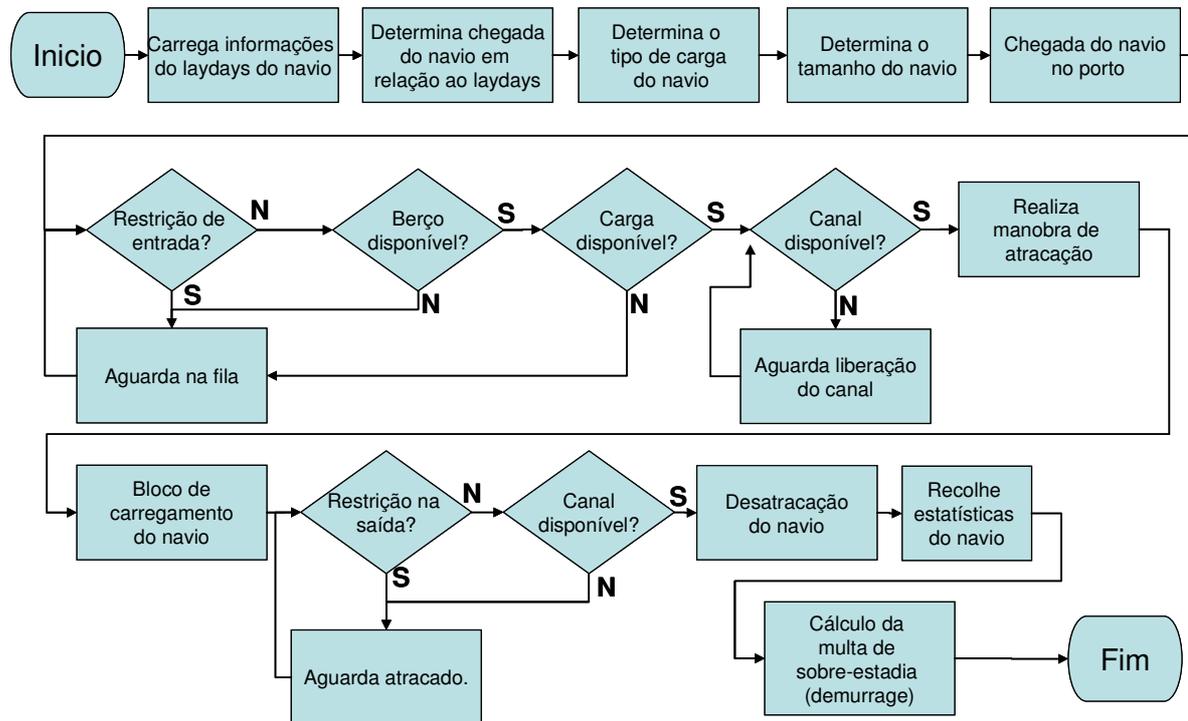


Figura 12– Fluxograma referente à operação dos navios

Após a saída de cada navio do porto é feito o cálculo da multa de sobre-estadia (demurrage) para cada navio, para descrever esta etapa faz-se necessário a explicação de alguns termos:

*Demurrage* – É a multa expressa em dólares que a empresa deve pagar a cada navio que excede o tempo máximo permitido em contrato para carregar no porto.

*Dispatch* – É o prêmio recebido pela empresa de cada navio que é carregado no porto com tempo menor ao previsto em contrato.

*Turn Time* – É o tempo e horas previsto em contrato para o porto se preparar após a chegada do navio.

*Loading Rate* – É a taxa de carregamento prevista em contrato que deve ser aplicada para calcular o tempo permitido para o carregamento do navio.

*Demurrage Rate* – É a valor diário da multa que deve ser aplicada ao navio.

Todos os navios possuem os valores de período de laydays, hora de chegada, *turn Time*, *loading rate*, *demurrage rate* e hora de término do carregamento e volume carregado.

Para o cálculo do *demurrage* é necessário saber se o navio que está deixando o sistema é um navio que carregou ou descarregou no porto, pois os navios que descarregam no porto não possuem tais multas.

Caso o navio tenha carregado no porto é necessário verificar se o mesmo chegou antes, durante ou depois de seu período de laydays:

Para os navios que chegaram durante o período de laydays o tempo para cálculo do *demurrage* começa a contar na chegada do navio. É necessário ainda saber se o navio utilizou o *turn time* totalmente ou parcialmente. Para isto, deve-se verificar se o tempo entre a chegada e a atracação do navio é maior que o *turn time*, caso afirmativo sabe-se que o mesmo utilizou o *turn time* totalmente, caso contrário o valor do *turn time* será a diferença entre a chegada e a atracação do navio.

A seguir um exemplo de cálculo do valor do *demurrage* a ser pago por um navio que chegou durante o período de Laydays:

- Período de laydays do navio: 05/06/2010 00h00 a 14/06/2010 23h59;
- Data e Hora de chegada: 09/06/2010 às 13h00;
- Data e Hora do final da manobra de Atracação: 09/06/2010 às 17h00;
- Data e Hora do término do carregamento do navio: 12/06/2010 às 08h00;
- Loading rate: 50.000 toneladas/dia;
- Demurrage rate: 5.000 U\$/dia;
- Turn Time: 12 horas;
- Volume carregado no navio: 150.000 toneladas.

Neste caso o navio não utilizou o *turn time* total que era de 12 horas, portanto para o cálculo do tempo permitido será utilizado o *turn time* de 4 horas (atracação – chegada). O tempo permitido para carregar o navio é de três dias, uma vez que o *loading rate* do contrato é de 50.000 toneladas /dia e o navio carregou 150.000 toneladas.

Sendo assim, o tempo permitido da estadia deste navio no porto é de 76 horas (três dias e 4 horas). O navio permaneceu no porto por 67 horas (término – chegada), portanto, o navio deverá pagar um prêmio à empresa.

O prêmio pago pelo navio à empresa é sempre a metade do valor do *Demurrage rate* neste caso o navio iria pagar a empresa 9 horas de prêmio (76 horas permitidas – 67 horas utilizadas). Visto que o valor diário do prêmio é de 2.500 US\$/dia, ou seja, 104,16 U\$/ hora o navio deveria pagar a empresa o valor de 937,44US\$. Neste caso a empresa teria um *dispatch* de 937,44US\$.

Para os navios que chegam depois do laydays, o tempo em *demurrage* inicia no início do carregamento dos navios, não importando assim o *turn time*.

E para os navios que chegaram antes do Laydays, o tempo em *demurrage* começa a contar no início do carregamento caso o navio atraque antes do início do laydays. E caso o navio atraque durante ou depois do *Laydays* o tempo em *demurrage* começa a contar no início do *laydays* do navio, sendo necessário ainda verificar a utilização do *turn time*.

As variáveis de entrada deste bloco são: *Loading rate*, *Demurrage rate*, *turn time*, Período de Laydays de cada navio (tamanho e data de início), chegada dos navios em relação ao início do período de *laydays*, tipo e quantidade de carga que o navio irá carregar/ descarregar, tempo de manobra de atracação e desatracação, existência de restrição de horário de atracação, condições meteorológicas adversas nas manobras de atracação e desatracação e influência da maré nas manobras de desatracação dos navios.

As variáveis de saída deste bloco são: tempo em que o navio permaneceu na fila e tempo de estadia do navio no porto, valor do *demurrage* pago pelo navio.

### **3.3.2. A operação de carregamento:**

No bloco de operação de carregamento têm-se a escolha do equipamento que será utilizado para recuperar o material do pátio e enviá-lo ao navio, em função da localização da carga do navio nos pátios conforme explicado na secção 3.3.1. Com isto, é necessário que o equipamento escolhido se movimente até o local onde se encontra a carga.

Simultaneamente à escolha do equipamento que fará a retirada do material dos pátios de estocagem é decorrido o tempo entre final da manobra de atracação e liberação do navio pelas autoridades portuárias e tempo entre liberação do navio e o início de carregamento, ambos os tempos são dados por curvas estatísticas que podem ser consultadas na secção 3.5 (coleta de dados).

Neste bloco também são controlados a cada hora todos os eventos que podem ocorrer durante o carregamento do navio, como tempos parados por manutenção, que são os tempos de indisponibilidade dos equipamentos durante o carregamento causados por quebras nos mesmos, tempos parados intrínsecos que se dividem em: testes nos equipamentos durante o carregamento, trocas de porão, paradas solicitadas pelo capitão do navio e paradas por condições meteorológicas adversas e tempos perdidos que são divididos em: movimentação do equipamento no pátio, restrições portuárias e outros.

Foram recolhidas estatísticas de todos esses tempos e essas curvas foram inseridas no modelo para poder refletir o comportamento de cada uma destas variáveis no modelo.

A cada hora além de poder ocorrer qualquer um dos eventos citados acima também ocorre o carregamento do navio, que é determinado por uma taxa de carregamento efetiva. Esta taxa também é um dado de entrada do modelo e é atualizado a cada hora, sendo que esta taxa é fornecida através de uma curva de distribuição estatística, que varia com o tipo de material que está sendo embarcado (Pelotas BF, Pelotas DR, *Pellet-feed* ou *Sinter-feed*) e o tipo de navio que está sendo carregado (*panamax* ou *cape-size*).

Além disto, o valor da taxa efetiva que será aplicada naquela hora é o menor valor entre a taxa possível daquela hora o tamanho da pilha que será recuperada naquela hora e o volume necessário para terminar o navio. Deste modo caso a taxa efetiva determinada naquela hora seja de 5.500 toneladas/hora, a quantidade faltante para terminar o navio seja de 50.000 toneladas e a pilha onde será retirado o material tenha apenas 2.000 toneladas a taxa daquela hora será 2.000 toneladas/hora e não 5.500 toneladas/hora, o mesmo se aplica caso o volume para completar o navio seja inferior ao número das outras duas variáveis.

Após o término do carregamento do navio existe ainda o tempo entre o final do carregamento do navio e início de manobra de desatracação, que é o tempo necessário para emitir toda a documentação do navio e sua liberação para deixar o

porto, este tempo também é um dado de entrada do modelo e segue uma distribuição estatística.

Abaixo a figura 13 ilustra todas as etapas desde a chegada do navio no terminal até sua saída.

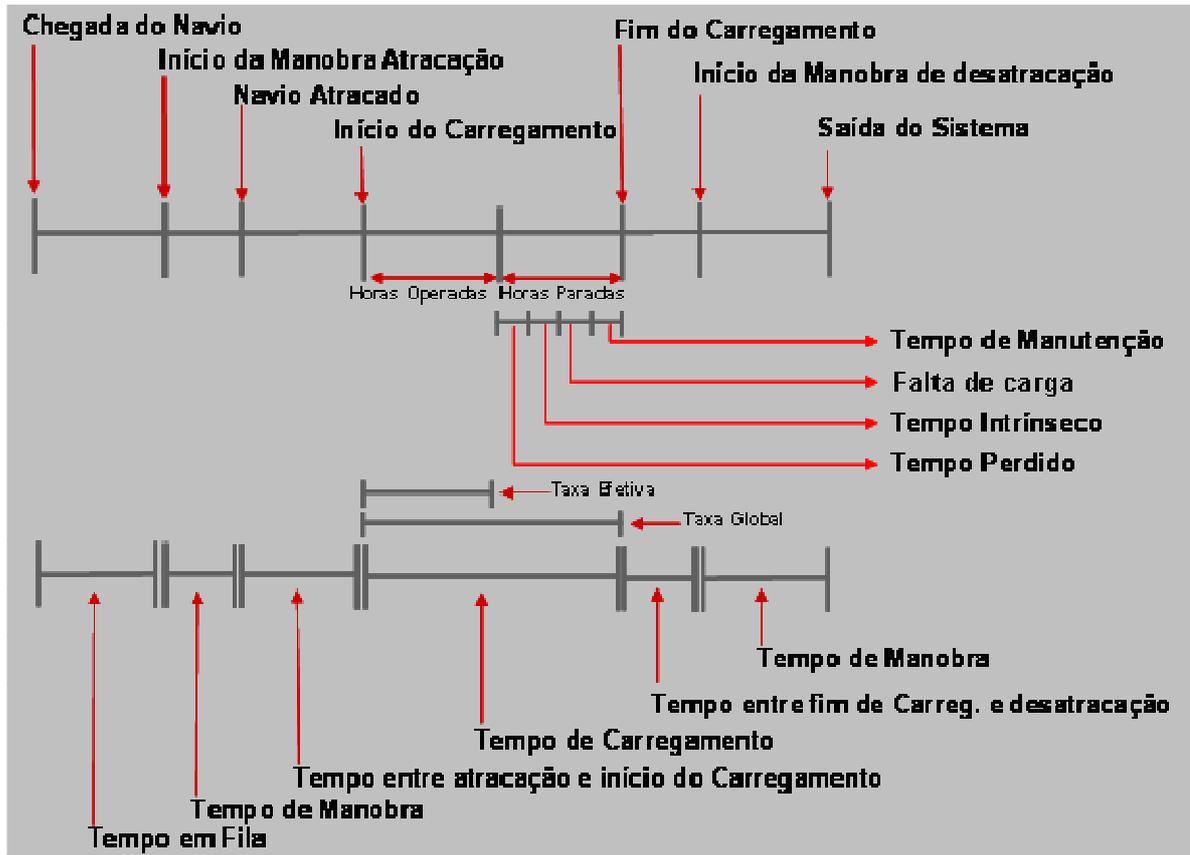
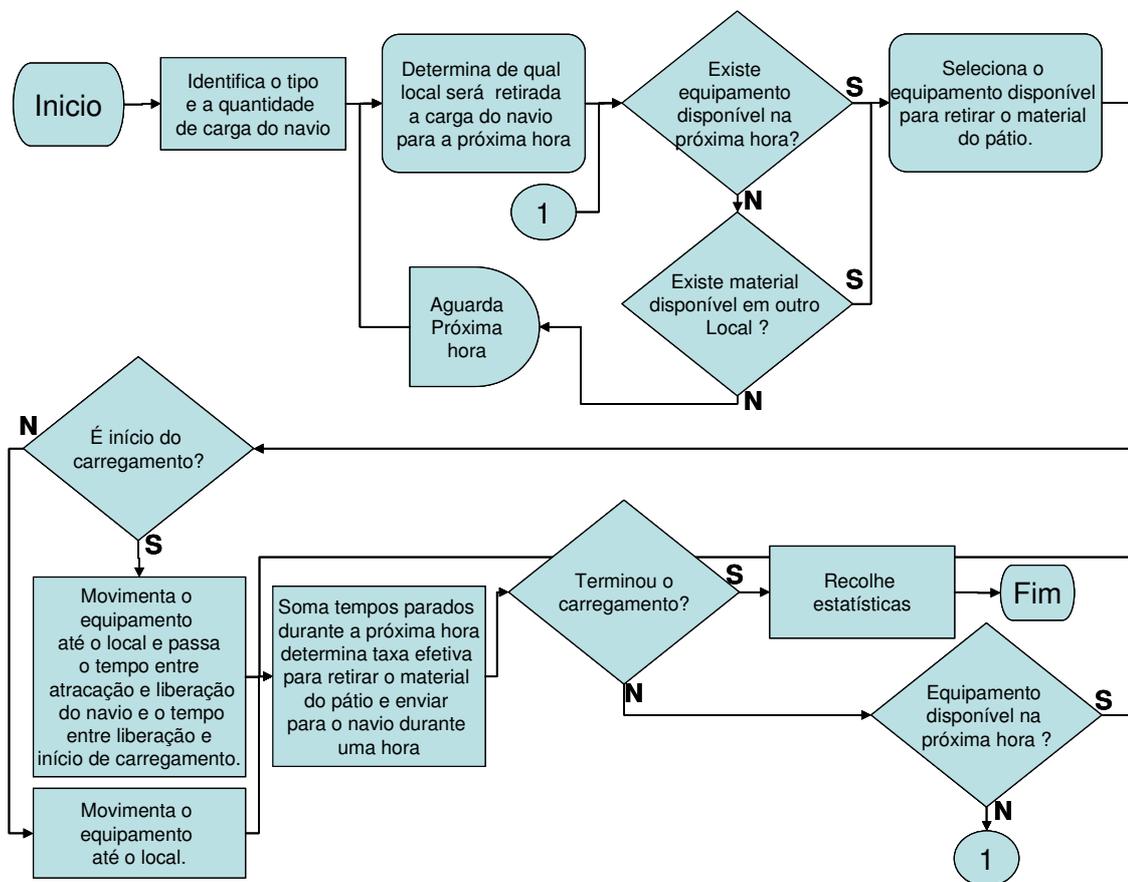


Figura 13– Tempos desde a chegada do navio até sua saída do terminal

Conforme mostra a figura acima, durante o carregamento do navio temos também o tempo parado por falta de carga e a taxa global de carregamento do navio. O tempo parado por falta de carga foi retirado das estatísticas, pois no modelo o navio só atraca no porto se toda sua carga estiver disponível no pátio, sendo que no modelo o tempo parado por falta de carga esta inserido no tempo em que o navio permaneceu na fila. Na prática o navio pode atracar sem ter toda sua carga pronta sendo que a mesma poderá ser produzida durante o carregamento do navio, porém esta operação requer uma coordenação logística de seqüenciamento de produção que não é tratada no modelo. Carregar um navio com toda sua carga no pátio ou carregá-lo produzindo uma parte da carga leva o mesmo tempo, sendo assim, esta premissa não interfere no resultado do modelo.

Já a taxa global de carregamento é um somatório de todos os tempos parados durante o carregamento e a taxa efetiva aplica ao carregamento, esta taxa não representa a capacidade dos equipamentos do sistema em carregar o navio, mas mostra o quão eficiente o sistema é durante o carregamento dos navios. Esta taxa é um dado de saída que pode ser comparado com as taxas globais aplicadas na empresa atualmente.

A seguir a figura 14 mostra de forma resumida um fluxograma com a operação de carregamento dos navios:



As variáveis de entrada deste bloco são: tempo entre final da manobra de atracação e liberação do navio pelas autoridades portuárias, tempo entre liberação do navio e o início de carregamento, tempos parados por manutenção, tempos parados intrínsecos, tempos perdidos, taxa efetiva de carregamento, tempo entre o final do carregamento do navio e início de manobra de desatracação e disponibilidade do *shiploader* e das máquinas responsáveis pela retirada do material do pátio de estocagem (*Retomadora* e *Stack-reclaimer*).

As variáveis de saída deste bloco são: ocupação do *shiploader* durante o carregamento, taxa global de carregamento, ocupação e distância percorrida por cada equipamento do pátio responsável pelo carregamento do navio.

### 3.3.3. A Operação de estocar material no pátio:

Neste bloco são rodadas três lógicas em paralelo que são:

- A lógica para empilhamento das pelotas e *pellet-screening* no pátio;
- A lógica para empilhamento de *pellet-feed*;
- A lógica para manusear as pilhas de emergência das usinas 1 e 2 e da usina 3 e colher estatísticas referentes à operação de estocar os materiais no pátio.

Para a lógica de empilhamento das pelotas e do *pellet-screening*, primeiramente é determinada o volume de produção de pelotas daquela hora para cada usina, que são baseadas em curvas estatísticas recolhidas conforme mostra a secção 3.5 (coleta de dados), e o tipo de produto que será produzido naquela hora.

No modelo as três usinas produzem o mesmo tipo de pelota a cada hora, para atender a fila conforme a chegada dos navios sendo que para determinar o volume necessário de produção para o próximo navio da fila avalia-se o estoque atual daquele tipo de pelota então se determina o número de dias completos necessários para a produção daquele tipo de pelota. Sendo que caso o volume de produção para aquele período for menor que planejado então são adicionados mais dias de produção de determinado produto para que a quantidade planejada seja sempre atingida.

Na prática a usina 3 têm capacidade de produzir um tipo de pelota enquanto as usinas 1 e 2 produzem outro tipo mas esta operação não é prática da empresa pois requer um complexo arranjo nos equipamentos, portanto não será tratada no modelo.

Na prática para a determinação da duração da produção de cada tipo de pelota são considerados outros fatores como número mínimo e máximo de dias consecutivos de produção de um produto, estas restrições de tempo mínimo e

máximo de produção são devidos a restrições na extração dos diferentes tipos de minério nas minas da empresa.

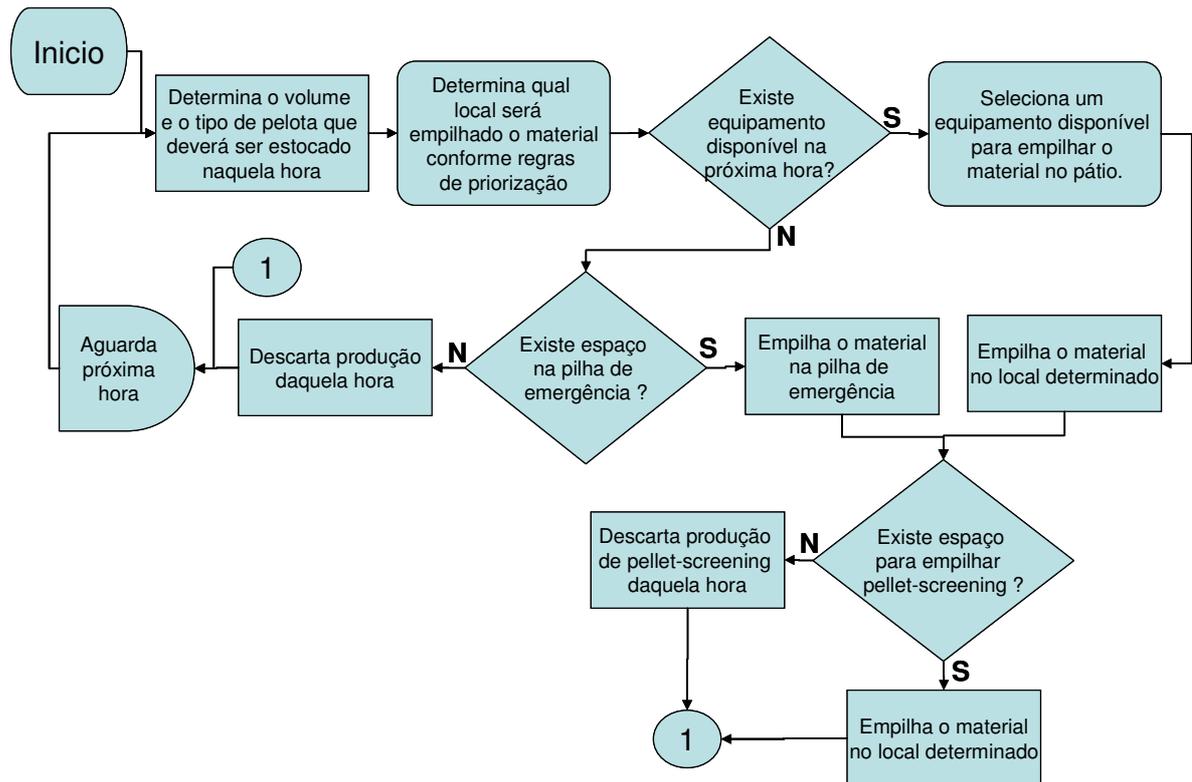
Para adequar a duração de cada produção é necessário alterar junto aos clientes o período de laydays de seus navios, criar estoques de segurança, etc. Estas restrições não são consideradas no modelo pois para tratar tal regra seria necessário um aumento muito grande na complexidade do modelo, envolvendo otimização e seqüenciamento de produção. A não utilização desta restrição não trouxe nenhum prejuízo ao analisar os resultados do modelo, pois não é objetivo deste trabalho determinar níveis de estoque ótimo ou duração ótima de produção de cada tipo de pelota.

Em seguida é escolhido o equipamento que será utilizado para estocar a produção de pelotas a cada hora e o local onde o material será estocado conforme as regras descritas na secção 3 (Caso Estudado). Caso não exista equipamento disponível ou caso os pátios já estejam com toda sua capacidade tomada, o material é enviado a uma pilha de emergência, e se esta pilha já estiver com sua capacidade totalmente tomada, então é necessário parar a produção, sendo que a produção daquela hora não é considerada e é contabilizada como produção perdida.

Caso a produção de pelotas daquela hora seja considerada é então enviada a produção de *pellet-screening* para uma área do pátio reservada para a estocagem deste produto sendo que a produção de *pellet-screening* das usinas 1 e 2 é enviada para o início do pátio A e da usina 3 para o início do pátio C. A produção de *pellet-screening*, representa 2% da produção de pelotas daquela hora. Porém, este produto não utiliza os equipamentos de empilhamento, pois possui um sistema próprio de empilhamento.

A capacidade dos locais onde é estocado o *pellet-screening* também é controlada e caso a capacidade de estocagem exceda o limite máximo permitido é descartada a produção daquele momento e contabilizada como produção perdida assim como as pelotas.

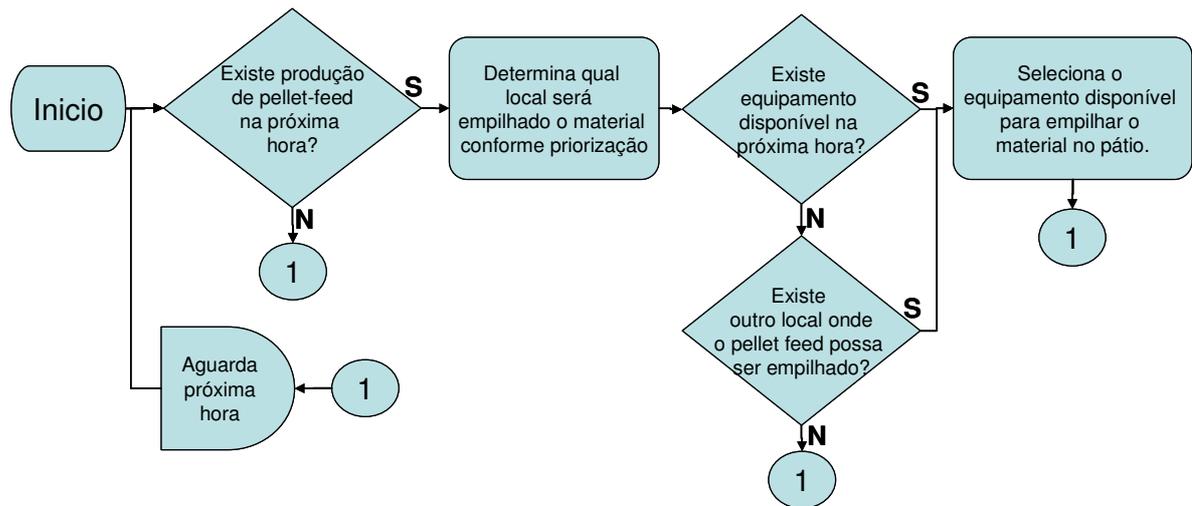
A figura 15 mostra um fluxograma da operação de empilhamento das pelotas e do *pellet-screening*:



**Figura 15 –Operação de empilhamento de pelotas e *pellet-screening***

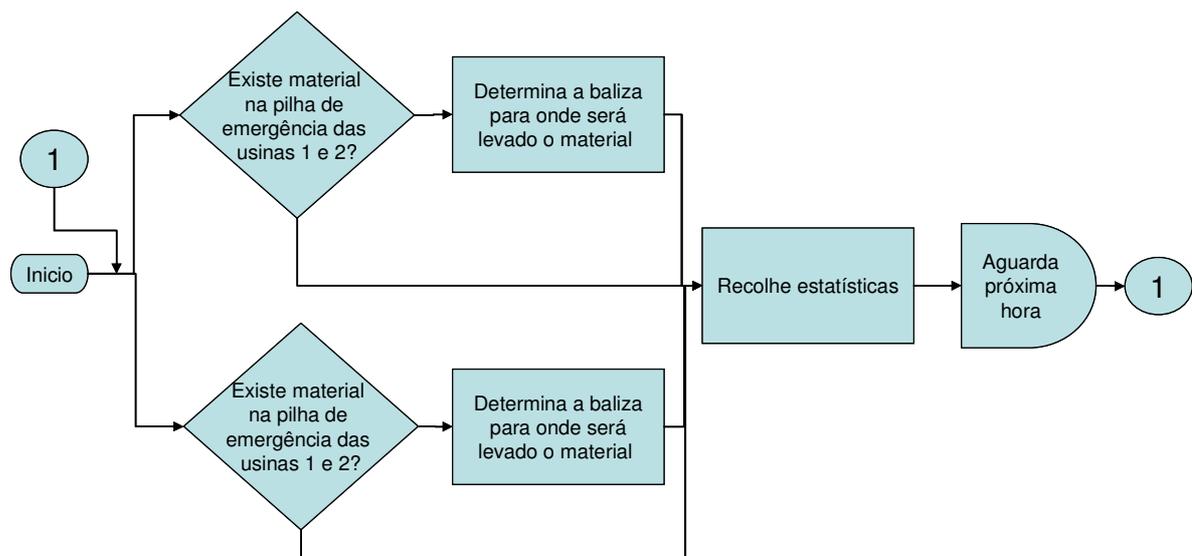
Simultaneamente ao empilhamento das pelotas e do *pellet-screening* existe ao longo do dia a necessidade de empilhar o *pellet-feed*, que é o excedente de finos de minério, conforme apresentado anteriormente. A necessidade de estocagem deste produto ocorre em alguns períodos do dia onde esse material excedente é enviado para o pátio. A escolha do local e do equipamento que fará o empilhamento do *pellet-feed* daquela hora se dá conforme regras de priorização descritas na secção 3 (caso estudado).

A figura 16 mostra o fluxograma referente à operação de empilhamento do *pellet-feed* no pátio.



**Figura 16 – Fluxograma referente à operação de empilhamento de *pellet-feed***

Por fim, existe ainda uma lógica para retirar as pelotas das pilhas de emergência e enviá-las ao pátio de estocagem para que possam ser carregadas. Para o modelo foi considerada uma frota de quatro caminhões e duas pás carregadeiras para realizar a operação de retirar o material das pilhas de emergência e enviá-lo ao pátio de estocagem. Além disso, esta lógica colhe informações horárias sobre a operação de estocagem dos materiais no pátio. A figura 17 mostra o fluxograma desta operação:



**Figura 17 – Fluxograma referente à retirada das pelotas da pilha de emergência**

As variáveis de entrada deste bloco são: volume de produção de pelotas daquela hora, taxas de disponibilidade dos equipamentos responsáveis pelo empilhamento, volume de produção de *pellet-feed* daquela hora.

As variáveis de saída deste bloco são: ocupação e distância percorrida pelos equipamentos responsáveis pelo empilhamento dos materiais no pátio, ocupação dos pátios, volume de pelotas enviado a pilha de emergência, tempo de permanência nos pátios da pilha retirada naquela hora, volume de pelotas, *pellet-feed* e/ou *pellet-screening* que foi descartado naquela hora por falta de espaço ou equipamento disponível para efetuar seu empilhamento naquela hora.

### 3.4 LIMITAÇÕES DO SISTEMA

Durante o desenvolvimento do trabalho foi necessário assumir alguns pressupostos, que podem ser considerados limitações a uma aplicação mais ampla e geral do modelo. A seguir serão comentados os pontos relevantes identificados:

- Os parâmetros estatísticos obtidos a partir das curvas de distribuição de cada variável de entrada foram inseridos no modelo como dados de entrada. Foi assumido que o comportamento das variáveis estudadas se manterá para os próximos anos de operação do sistema.
- O modelo será simplificado considerando quatro produtos: pelotas BF, pelotas DR, *pellet-screening* e *pellet-feed*, conforme citado no início deste capítulo. Esta simplificação fez-se necessária, pois para considerar os seis tipos de pelotas seria necessário o desenvolvimento de uma lógica para sequenciamento da produção, que não é escopo deste trabalho. O agrupamento dos seis tipos de pelotas em duas famílias não interfere no modo de operação do modelo bem como na análise dos resultados, pois as restrições de empilhamento no pátio se referem apenas ao tipo de família das pelotas.
- Cada baliza dos pátios de estocagem pode receber apenas um tipo de produto por vez. No simulador foram utilizadas 120 balizas para cada pátio.

- Um navio só poderá atracar caso tenha a carga completa disponível no pátio, pois o modelo não pode alterar a sequência de produção em função da chegada de navios, visto que o sequenciamento de produção é feito *make-to-stock*.
- Não será desenvolvido algoritmo de otimização para estocar os produtos no pátio, podendo o mesmo ser objeto de pesquisa de um trabalho futuro.
- Não será objetivo deste trabalho determinar um perfil ótimo de navios para o sistema, podendo o mesmo ser objeto de pesquisa de um trabalho futuro.
- O presente trabalho não irá determinar políticas ótimas para determinação dos níveis de estoque de cada produto. Será apenas avaliado o efeito dos estoques iniciais sobre o comportamento do sistema.
- Este trabalho não irá tratar as etapas desde que o minério é extraído na mina até o momento que o mesmo é transformado nos diferentes tipos de produtos através dos fornos de pelotização. Para o modelo a chegada dos produtos no pátio será um dado de entrada conforme descrito anteriormente.
- Não serão estudados aspectos de construtibilidade e aspectos ambientais, para os cenários propostos neste trabalho. Os cenários serão comparados apenas por um conjunto de métricas propostas como sua capacidade de escoar a produção, ocupação do sistema, multas geradas por atrasos no porto, tamanho de fila, utilização dos equipamentos, utilização dos pátios, etc.

### 3.5. COLETA DE DADOS

A seguir serão mostrados todos os dados históricos da empresa relevantes para o desenvolvimento do modelo pátio-porto, e como cada um destes dados foi inserido na lógica do modelo conforme descrito na secção 3.3 (Princípios para modelagem do problema).

O período escolhido para análise foram os anos de 2006, 2007 e 2008, sendo que os dados analisados foram:

- Dados referentes à operação dos navios:
  - *Loading rate*;
  - *Demurrage rate*;
  - *Turn time*;
  - Tamanho de Laydays;
  - Chegada dos navios em relação ao período de Laydays;
  - Percentual de chegada de cada tipo de Navio ao porto;
  - Tipo de produto que o navio irá carregar/descarregar;
  - Tempo de manobra de atracação;
  - Tempo de manobra de desatracação;
  - Condições meteorológicas adversas;
  - Necessidade de aguardar Maré para desatracação;
  
- Dados referentes à operação de carregamento dos navios:
  - Tempo entre atracação e liberação;
  - Tempo entre liberação e início carregamento;
  - Disponibilidade da linha de carregamento;
  - Tempo intrínseco;
  - Tempo perdido;
  - Taxa efetiva;
  - Taxa global;
  - Tempo entre fim de carregamento e desatracação;

- Dados referentes ao empilhamento dos materiais nos pátios:
  - Volume de produção de pelotas de cada usina por hora;
  - Produção de *pellet-feed* por hora;
  - Disponibilidade dos equipamentos do pátio;
    - Empilhadeira 1;
    - Empilhadeira 2;
    - *Stack-Reclaimer*;
    - Retomadora;

### 3.5.1. Dados referentes a operação dos navios

Abaixo segue a definição e uma breve descrição de todos os dados de entrada referentes à operação de navios.

#### 3.5.1.1 Loading Rate

O *loading rate* é a taxa de carregamento diária prevista em contrato. Com esta taxa é calculado o *demurrage* pago por cada navio. Esta taxa é acordada entre o cliente e a empresa no momento do fechamento do contrato. Este é um dado confidencial da empresa, e por este motivo não foi feita uma análise sobre a evolução destes valores no período estudado.

Para o modelo considerou-se o seguinte *loading rate*:

- Navios Panamax (até 75.000 ton.) – 40.000 ton./dia
- Navios Capesize (de 75.001 ton. a 200.000 ton.) – 60.000 ton./dia

### 3.5.1.2 Demurrage Rate

O *demurrage rate* é a multa de sobre estadia diária cobrada pelo cliente caso o navio permaneça no porto por um tempo maior do que o estabelecido em contrato. Nos casos em que o navio fica atracado por um tempo menor do que o estabelecido em contrato, o cliente paga à empresa um prêmio, que é a metade do valor do *demurrage rate*.

O valor do *demurrage rate* também é definido em contrato e é um dado confidencial da empresa. Por este motivo não foi feito uma análise profunda sobre esta taxa.

Para o modelo de simulação foi usado o valor de 20.000 U\$/dia.

### 3.5.1.3 Turn Time

O *turn time* é o tempo previsto em contrato que a área portuária possui para se preparar após a chegada do navio no porto. Este tempo também é utilizado para o cálculo do *demurrage*. Do mesmo modo como o *loading rate* e o *demurrage rate* também não foi efetuada uma análise aprofundada neste tempo, já que o mesmo é confidencial.

Para o modelo de simulação foi utilizado um *turn time* de 12 horas para todos os navios.

### 3.5.1.4 Tamanho dos Laydays

Assim como o *Demurrage rate*, *Loading rate* e o *turn time* o tamanho dos laydays também é previsto em contrato e é utilizado para calcular o *demurrage* a ser pago a cada navio como demonstrado anteriormente. O tamanho de Laydays

representa o intervalo em dias em que um navio pode chegar ao porto. Se um navio possui um laydays de 10 dias, iniciando dia 01 de Janeiro então este navio poderá chegar ao porto até às 23h59 do dia 10 de Janeiro. Caso o navio chegue antes ou depois do período de laydays o cálculo do *demurrage* baseia-se no início de seu carregamento. Este intervalo de dias pode variar de quatro até dezesseis dias, conforme cada contrato.

Por se tratar de um dado confidencial não foi feita uma análise profunda sobre tamanho de Laydays, e para o modelo de simulação será utilizado um Laydays de 10 dias para todos os navios.

### 3.5.1.5 Chegada dos navios em relação ao laydays

Para analisar a chegada dos navios dentro do período de Laydays foi gerada uma curva de distribuição conforme mostra o gráfico abaixo. Esta curva representa a probabilidade de chegada do navio em relação ao início de seu período de Laydays em dias.

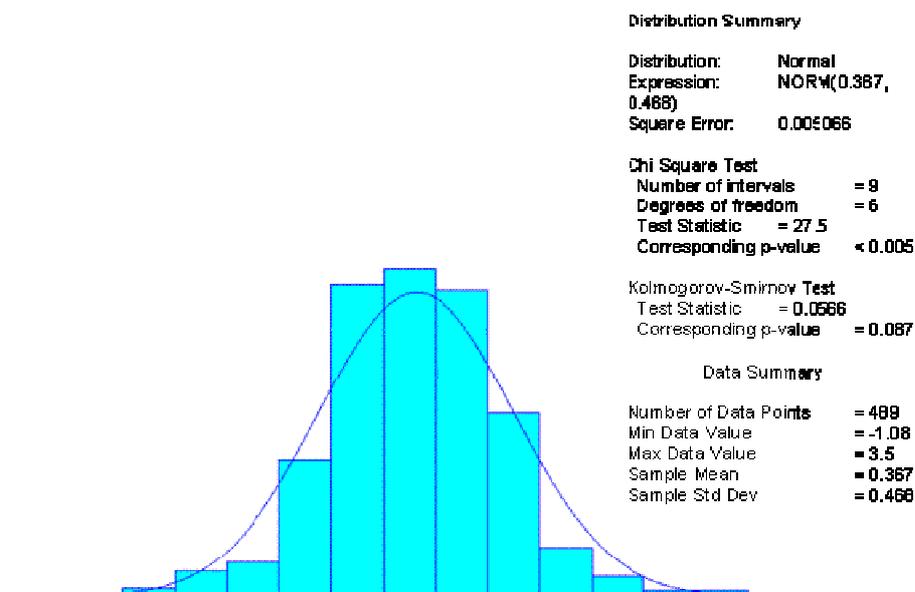


Gráfico 6 – Curva de distribuição de chegada dos navios em relação ao laydays.

A curva normal mostrada no gráfico 6 foi inserida no modelo para determinar a chegada do navio em relação ao início de seu Laydays. Sendo assim a chegada do navio se dá pela seguinte fórmula: Início de laydays + normal (0.367, 0.468) dias.

### 3.5.1.6 Percentual de chegada de cada tipo de navio

O tamanho dos navios foi medido pelo DWT (*dead weight tonnage*) do navio, ou seja, pela máxima tonelagem permitida a ser carregada em cada navio. Sendo que, considerando as restrições do Porto, navios com DWT de até 75.000 tmn (toneladas métricas normais) podem atracar em ambos os berços e navios com capacidade de carregar mais de 75.000 toneladas só podem atracar no berço oeste.

A tabela 6 mostra o histórico da capacidade dos navios carregados entre os anos de 2006 a 2008.

**Tabela 6 – percentual de tamanhos de navios atendidos no porto**

Tamanho do Navio (DWT)	Número de navios	%
< 30.000 tmn	4	1%
>= 30.000 tmn e < 40.000tmn	12	2%
>= 40.000 tmn e < 50.000tmn	103	21%
>= 50.000 tmn e < 60.000tmn	39	8%
>= 60.000 tmn e < 70.000tmn	37	8%
>= 70.000 tmn e < 80.000tmn	77	16%
>= 80.000 tmn e < 90.000tmn	11	2%
>= 90.000 tmn e < 100.000tmn	10	2%
>= 100.000 tmn e < 110.000tmn	12	2%
>= 110.000 tmn e < 120.000tmn	17	3%
>= 120.000 tmn e < 130.000tmn	10	2%
>= 130.000 tmn e < 140.000tmn	22	4%
>= 140.000 tmn e < 150.000tmn	25	5%
>= 150.000 tmn e < 160.000tmn	26	5%
>= 160.000 tmn e < 170.000tmn	67	14%
>= 170.000 tmn e < 180.000tmn	16	3%
>= 180.000 tmn e < 190.000tmn	0	0%
>= 190.000 tmn e < 200.000tmn	0	0%
>= 200.000 tmn	1	0%
Total	489	100%

Os navios que carregaram no porto entre os anos de 2006 a 2008 foram também divididos em dois grupos:

- Navios com capacidade de carregar até 75.000 tmn (toneladas métricas normais), chamados de navios *panamax*.
- Navios com capacidade de carregar até 200.0000 tmn, chamados de *capsize*.

Esta separação fez-se necessária devido às restrições existentes no Porto. A tabela 7 mostra o número de navios atendidos a cada ano.

**Tabela 7 – percentual de navios panamax e capsize atendidos no porto**

Ano	Panamax	% Panamax	Capesize	%Capesize	Total
2006	62	44%	79	56%	141
2007	95	58%	69	42%	164
2008	106	58%	78	42%	184

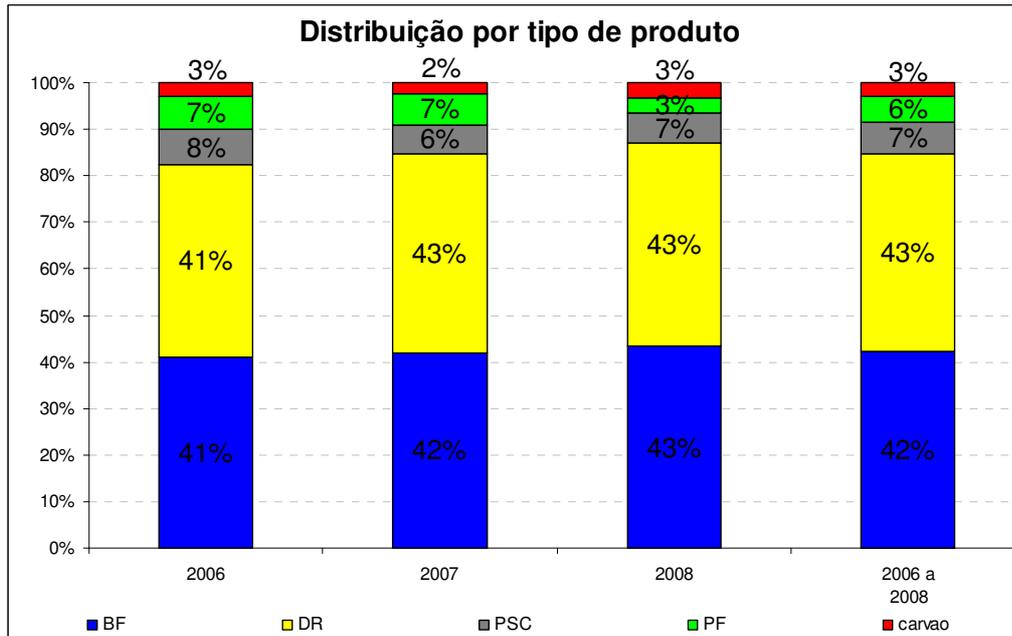
Observa-se um aumento no número de navios a cada ano, devido ao aumento na capacidade de produção da empresa que permitiu o maior volume de vendas, além do aumento do número de navios *panamax* a cada ano.

O aumento no número de navios *panamax* é devido às oscilações no mercado de frete transoceânico, que não foram alvo de estudo deste trabalho.

No modelo construído, a quantidade de carga que cada navio que chega ao porto irá levar se baseia na tabela 7 mostrada acima.

### **3.5.1.7 Tipo de produto que o navio irá carregar/descarregar**

No modelo de simulação os navios que chegam ao porto podem ser navios que irão carregar ou navios que irão descarregar carvão no porto. O gráfico 7 mostra a proporção de chegada no porto de cada tipo de navio no período estudado.

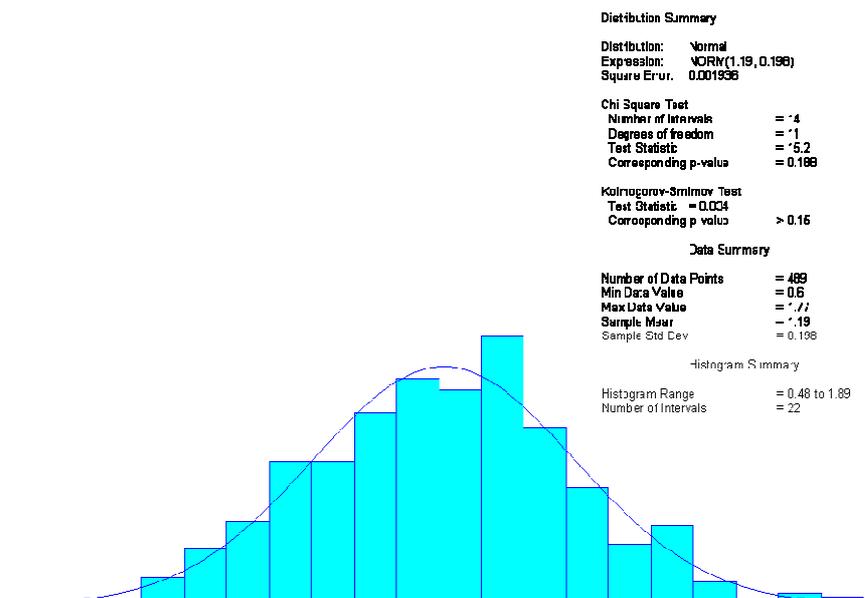


**Gráfico 7– Proporção de chegada no porto dos navios por tipo de produto.**

Desta forma, foi inserido no modelo que a probabilidade do produto que cada navio irá carregar/descarregar no porto considere a proporção referente ao período acumulado entre 2006 e 2008.

### 3.5.1.8 Tempo de Manobra de Atracação

Este tempo é compreendido entre a chegada do prático (pessoa responsável pela atracação) ao navio até a atracação do mesmo, que corresponde ao tempo do navio percorrer todo canal de acesso até sua chegada aos berços de atracação. A curva de distribuição gerada a partir dos dados históricos para este tempo e que foi utilizada no modelo de simulação é mostrada no gráfico 8.



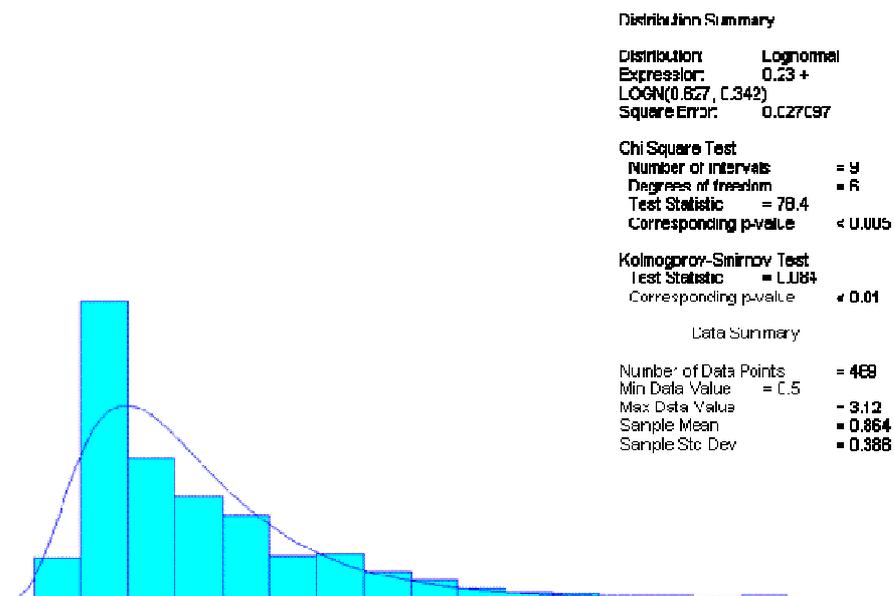
**Gráfico 8 – Curva de distribuição de tempo de manobra de atracação**

Sendo assim o tempo de manobra de atracação é: normal (1.19 , 0.196) horas

### 3.5.1.9 Tempo de manobra de desatracação

Este tempo é composto da chegada do prático ao porto até a saída do navio no canal de acesso. Este tempo tem uma baixa variabilidade, sendo influenciado apenas por fatores climáticos e experiência do prático a bordo.

Abaixo o gráfico com a curva de distribuição gerada e que foi utilizada no modelo.

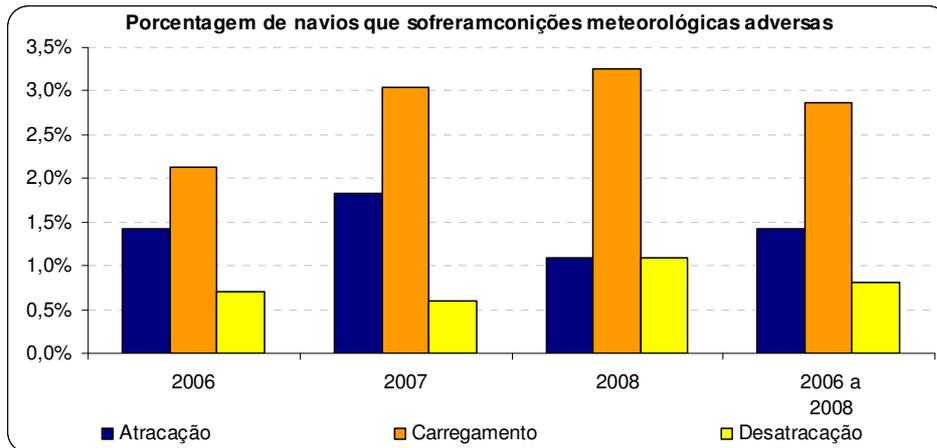


**Gráfico 9 – Curva de distribuição de tempo de manobra de desatracação**

Sendo assim o tempo de manobra de desatracação é:  $0.23 + \text{lognormal}(0.627, 0.342)$  horas.

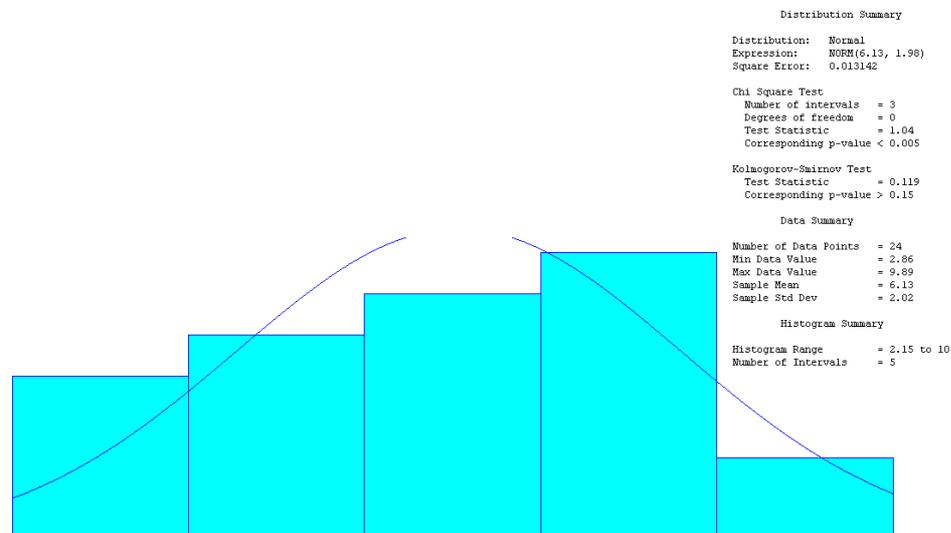
### 3.5.1.10 Condições meteorológicas adversas

As condições meteorológicas adversas podem acontecer antes da manobra de atracação, durante o carregamento e antes da manobra de desatracação. Foram colhidas as estatísticas da ocorrência de condições adversas para o período estudado conforme mostra o gráfico 10.



**Gráfico 10 – Navios que tiveram condições meteorológicas adversas**

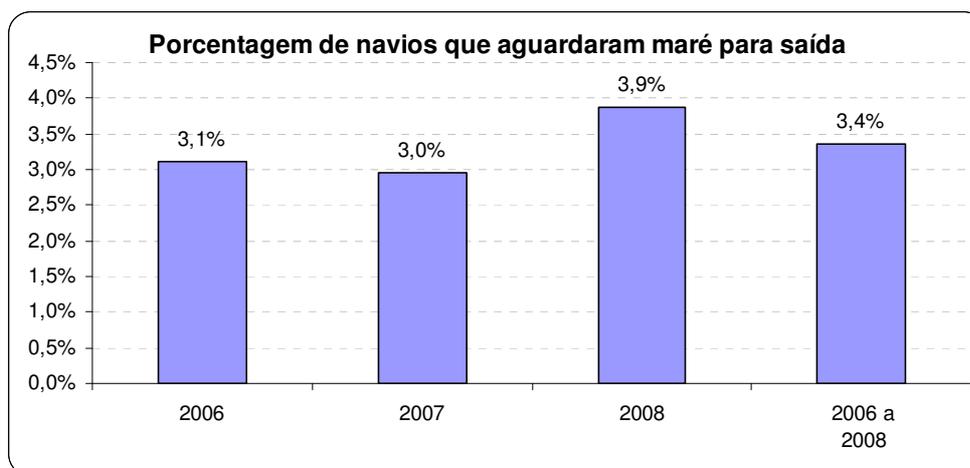
Foi coletada uma curva de distribuição para representar o tempo decorrido quando acontece uma condição meteorológica adversa, que é uma curva normal com média de 6,13 horas e desvio padrão de 1,98 horas, o gráfico 11 mostra esta curva que foi inserida no modelo.



**Gráfico 11 – Distribuição de tempo parado por mau-tempo**

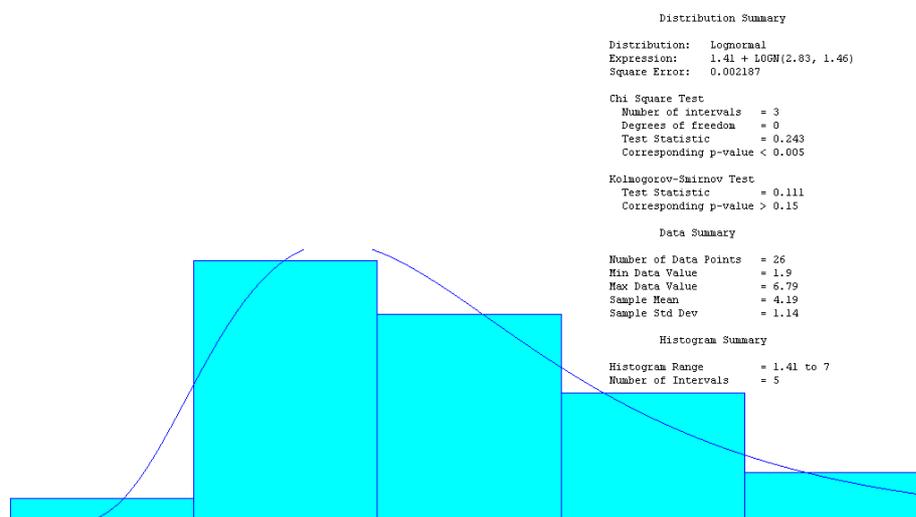
### 3.5.1.11 Necessidade de aguardar Maré para desatracação

De acordo com o banco de dados do período estudado, 3,4% dos navios aguardam maré para efetuar a manobra de desatracação conforme gráfico 12. Esse percentual será utilizado no modelo como a probabilidade de um navio ser afetado pela maré quando o mesmo estiver apto a desatracar.



**Gráfico 12 – Probabilidade de um navio aguardar maré para desatracação**

Quando um navio aguarda maré para desatracação o tempo que o mesmo aguarda segue a distribuição mostrada no gráfico 13:  $1.41 + \text{Lognormal}(2.83, 1.46)$  horas.



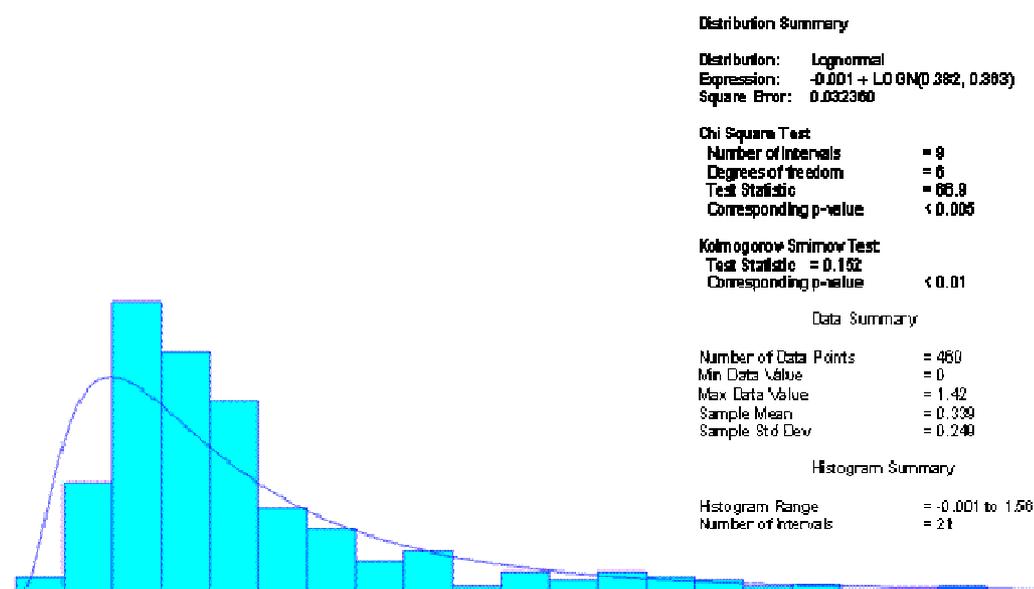
**Gráfico 13 – Distribuição de tempo aguardando maré para desatracação**

### 3.5.2 Dados referentes à operação de carregamento dos navios

#### 3.5.2.1 Tempo entre atracação e Liberação do navio

Este tempo é gasto na liberação do navio pelas autoridades portuárias após o final da manobra de atracação.

Com a ajuda do software *input analyzer* que faz parte do pacote do Arena, e expurgando-se dados que representavam exceções ou que foram colhidos de forma errada, conseguiu-se a seguinte curva de distribuição:

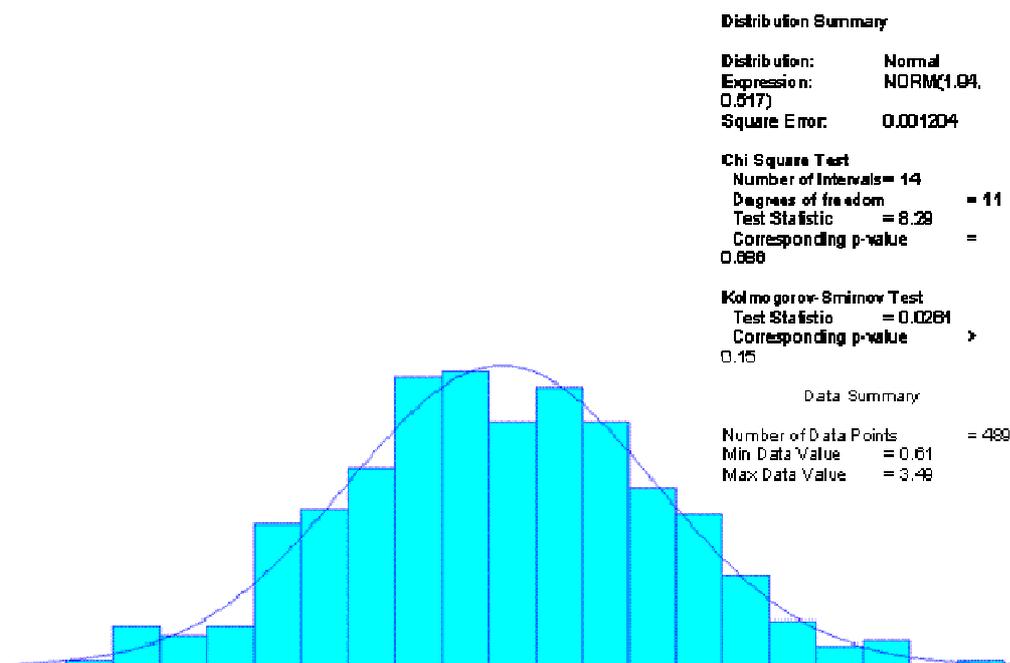


**Gráfico 14 – Curva de distribuição do tempo entre atracação e liberação do navio**

O Tempo entre atracação e liberação do navio foi inserido no modelo da seguinte forma:  $-0.001 + \text{Lognormal}(0.382, 0.363)$

### 3.5.2.2 Tempo entre liberação do navio e início de carregamento

Este tempo é composto pelas seguintes atividades: amarração do navio, arqueação inicial e tempo para baixar a escada do navio. O gráfico 15 mostra a curva de distribuição que representa este tempo.

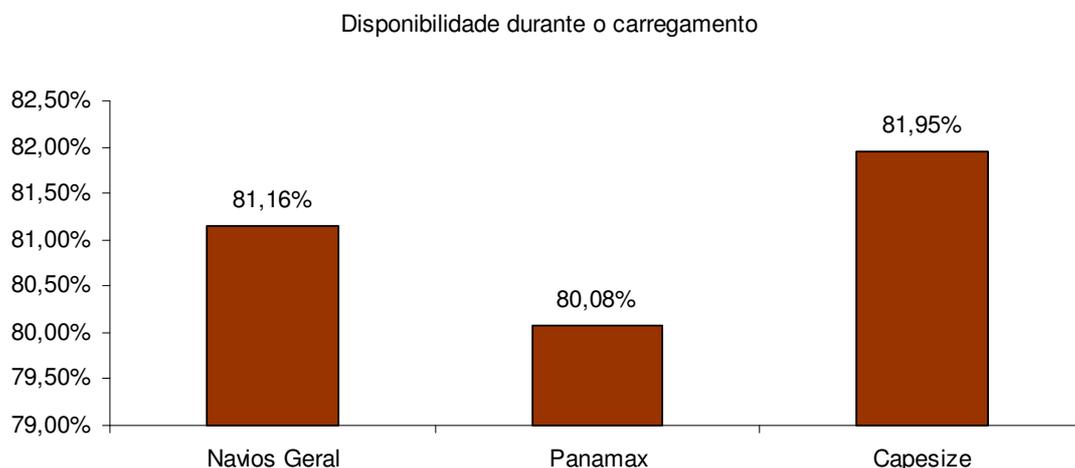


**Gráfico 15 –Tempo entre liberação e início do carregamento**

Foi necessário retirar da base de dados alguns dados, pois quando ocorre a chegada coincidente de dois navios no porto, sendo que, pelo menos um deles possa atracar no berço leste (berço que suporta navios de até 75.000 tmn), ambos atracam, mas apenas um deles pode ser carregado já que existe apenas um sistema de carregamento disponível. Com isto o tempo entre a atracação do navio e seu início aumenta, pois, o navio tem que aguardar o término do carregamento do outro berço para iniciar seu carregamento. Este tempo não é considerado como um tempo necessário entre a liberação e o início do carregamento, e sim consequência de uma situação específica. No modelo de simulação tal situação pode acontecer e este tempo será contabilizado.

### 3.5.2.3 Disponibilidade da linha de carregamento

Todas as paradas durante o carregamento são classificadas como tempo intrínseco, tempo perdido, tempo de manutenção ou falta de carga. O tempo de manutenção durante o carregamento representa falhas mecânicas, elétricas ou de automação no *shiploader* e nas correias que compõem a linha de carregamento. Este tempo é representado no modelo através da disponibilidade do *shiploader*. Foram coletadas informações da disponibilidade da linha de carregamento e o mesmo foi dividido conforme mostra o gráfico a seguir:



**Gráfico 16 – Disponibilidade da linha de carregamento**

Pode ser visto no gráfico 16 que a disponibilidade sofre pouca alteração devido ao tipo de navio que está sendo carregado e, por este motivo, o modelo considerou uma disponibilidade de 82% para a linha de carregamento.

### 3.5.2.4 Tempo intrínseco

As paradas que compõe o tempo intrínseco são: trocas de porão, paradas ligadas ao navio, condições meteorológicas, leitura de calado e *trimming* e testes de

*interlock*. Sendo que os testes de *interlock*, são testes no sistema de correias necessários toda vez que o carregamento se inicia.

A leitura de calado é a medição da quantidade já embarcada no navio através das marcas do mesmo e o *trimming* é o balanço final do navio onde pequenos ajustes nas quantidades embarcadas nos porões são necessários para que o navio fique balanceado. O gráfico 17 mostra a contribuição de cada um destes tempos no tempo intrínseco total.

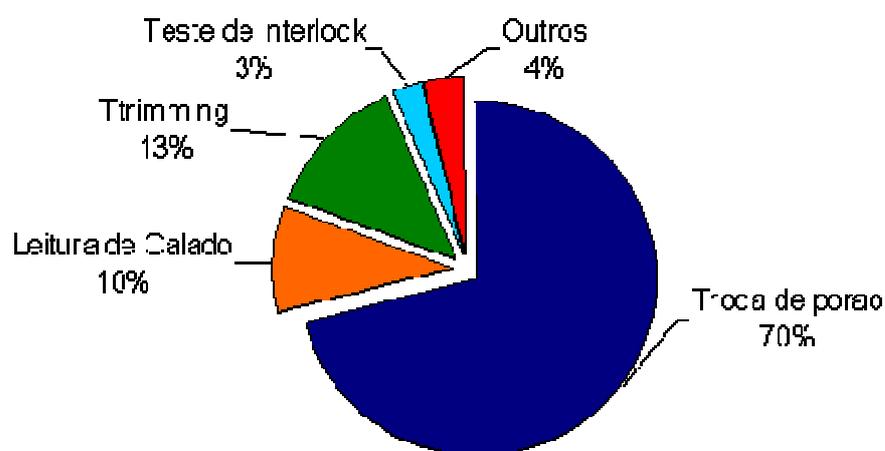


Gráfico 17 – distribuição do tempo intrínseco

Sendo que o tempo intrínseco representa cerca de 26% do tempo total de carregamento para navios Panamax e cerca de 16% o tempo total de carregamento para navios Capesize, como mostram os gráficos do tempo parado por tipo de navio abaixo:

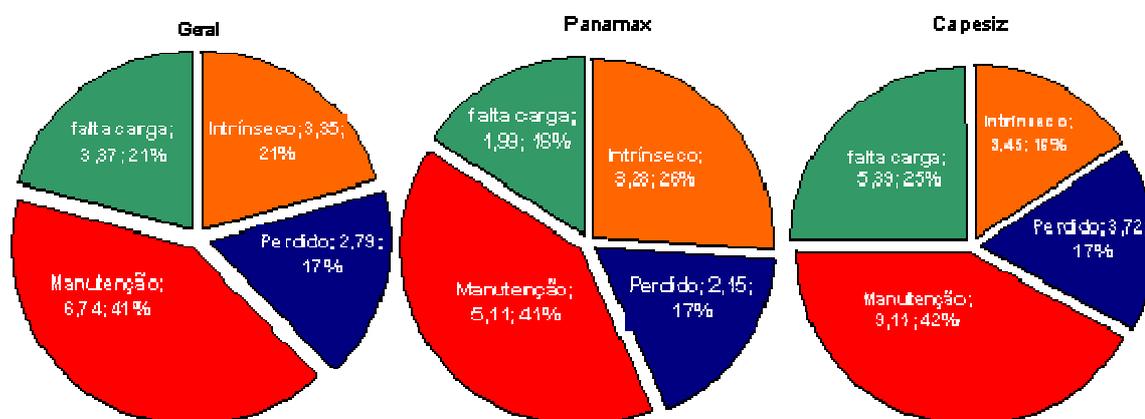


Gráfico 18 – Distribuição dos tempos parados por tipo de navio

Para o modelo considerou-se a probabilidade do navio parar o carregamento devido ao tempo intrínseco da seguinte maneira: Para navios panamax de 26% de 16% para navios capesize.

### 3.5.2.5 Tempo Perdido

O tempo perdido corresponde a 17% do tempo total do carregamento, conforme mostrado anteriormente. Os tempos que compõe o tempo perdido são: aguardando resultado de qualidade, movimentação de equipamentos no pátio, atracação no outro berço, tempos perdidos no *shiploader*, na *stack-reclaimer*, retomadora, sistemas de correias ou outros. O gráfico 19 mostra a contribuição de cada um destes tempos no tempo perdido total para os anos de 2006 a 2008.

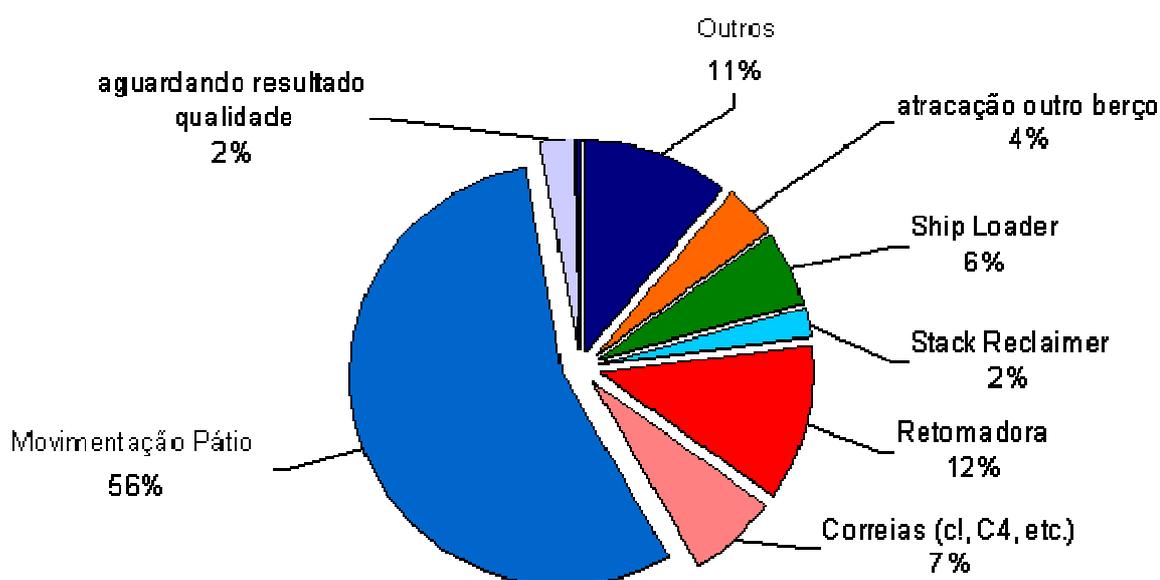


Gráfico 19 - Distribuição dos tempos perdidos durante o carregamento.

Sendo que os tempos perdidos referentes aos equipamentos são os tempos para limpeza ou parada por emergência dos mesmos.

A probabilidade do carregamento parar por tempo perdido no modelo foi considerada de 17% para todos os tipos de navios.

### 3.5.2.6 Taxa Efetiva de Carregamento

A taxa efetiva de carregamento representa a quantidade que esta sendo carregada no navio durante o carregamento apenas quando o sistema de carregamento esta operando, ou seja, para o cálculo desta taxa são desconsiderados os tempos parados durante o carregamento.

Esta taxa mede a capacidade dos equipamentos em carregar os navios. A taxa efetiva é menor para navios de menor capacidade (panamax) devido à estrutura destes navios muitas vezes não suportar taxas de carregamentos maiores. Abaixo as curvas de distribuição para a taxa efetiva que foi considerada no modelo.

- Taxa efetiva de carregamento para navios panamax

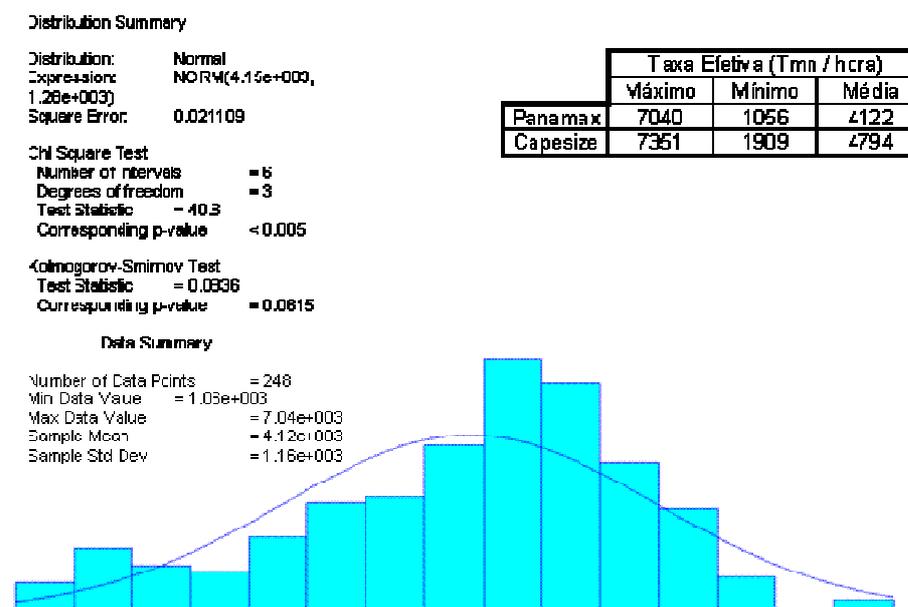
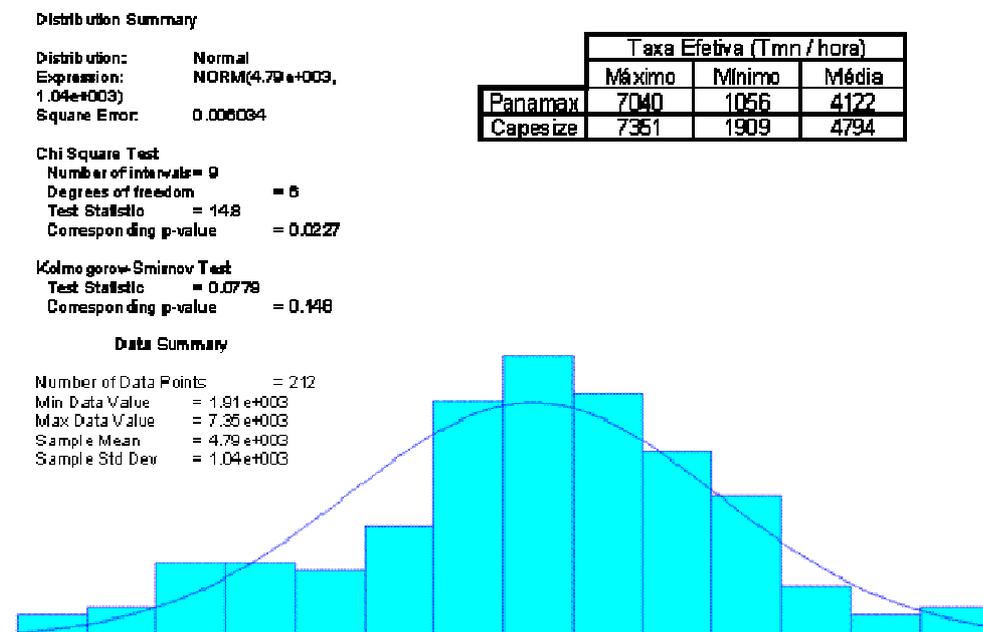


Gráfico 20 - Taxa efetiva de carregamento de navios panamax.

- Taxa efetiva de carregamento para navios Capesize



**Gráfico 21 - Taxa efetiva de carregamento de navios panamax.**

Para o modelo da simulação foram utilizadas as seguintes taxas de carregamento efetiva:

- Navios Panamax : normal (4150 , 1280) Toneladas / hora
- Navios Capesize: normal (4790 , 1040) Toneladas / hora

### 3.5.2.7 Taxa Global de Carregamento

A taxa global representa a quantidade carregada por hora no navio desde o início do carregamento até o seu final. Esta taxa é calculada dividindo-se a quantidade embarcada no navio em pelo número de horas entre o início e o final do carregamento.

Esta taxa é uma medida representativa, pois durante o carregamento dos navios ocorrem diversas paradas, desde trocas de porão do navio até paradas

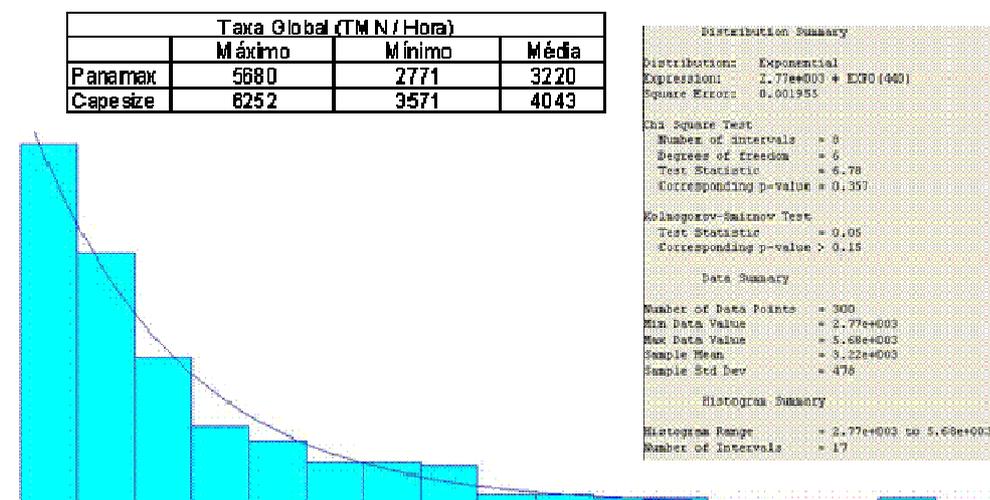
devido à movimentação das máquinas no pátio de estocagem, como mostrado anteriormente.

Assim, esta taxa não representa a capacidade dos equipamentos do sistema em carregar o navio, mas mostra o quão eficiente o sistema é durante o carregamento dos navios.

Através de uma análise na taxa global pode-se perceber que os navios menores (Panamax) possuem uma menor taxa global, pois o número de paradas durante o carregamento é maior. Tal fato pode ser explicado devido pela menor capacidade de deslastre e devido aos navios panamax possuírem o mesmo número de porões de navios maiores, ou seja, realiza-se o mesmo número de paradas para trocas de porão, sendo que a capacidade dos porões dos navios panamax é menor.

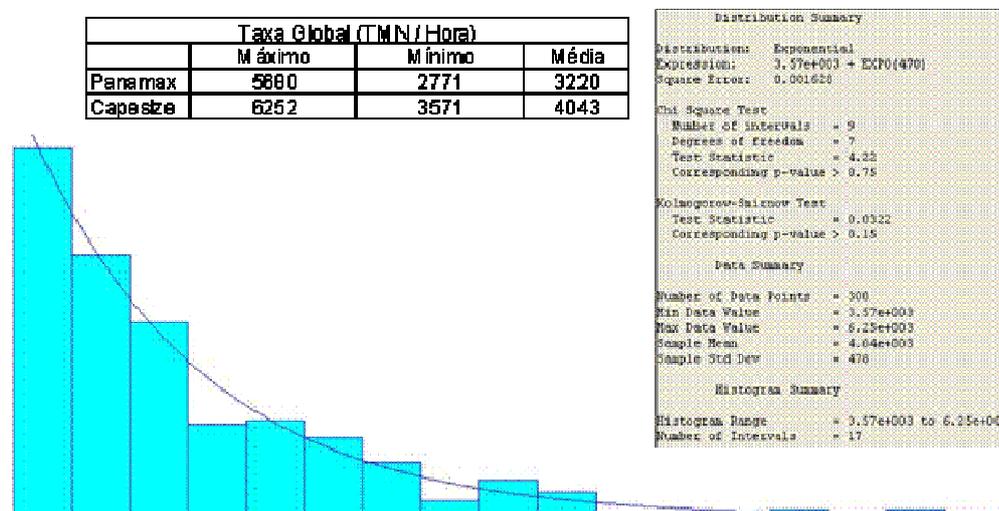
Portanto, foram geradas duas curvas de distribuição, uma para navios panamax e outra para navios capesize.

- **Taxa global de carregamento para Navios panamax:**



**Gráfico 22 – Taxa de carregamento global para navios panamax**

- **Taxa global de carregamento para Navios capesize**



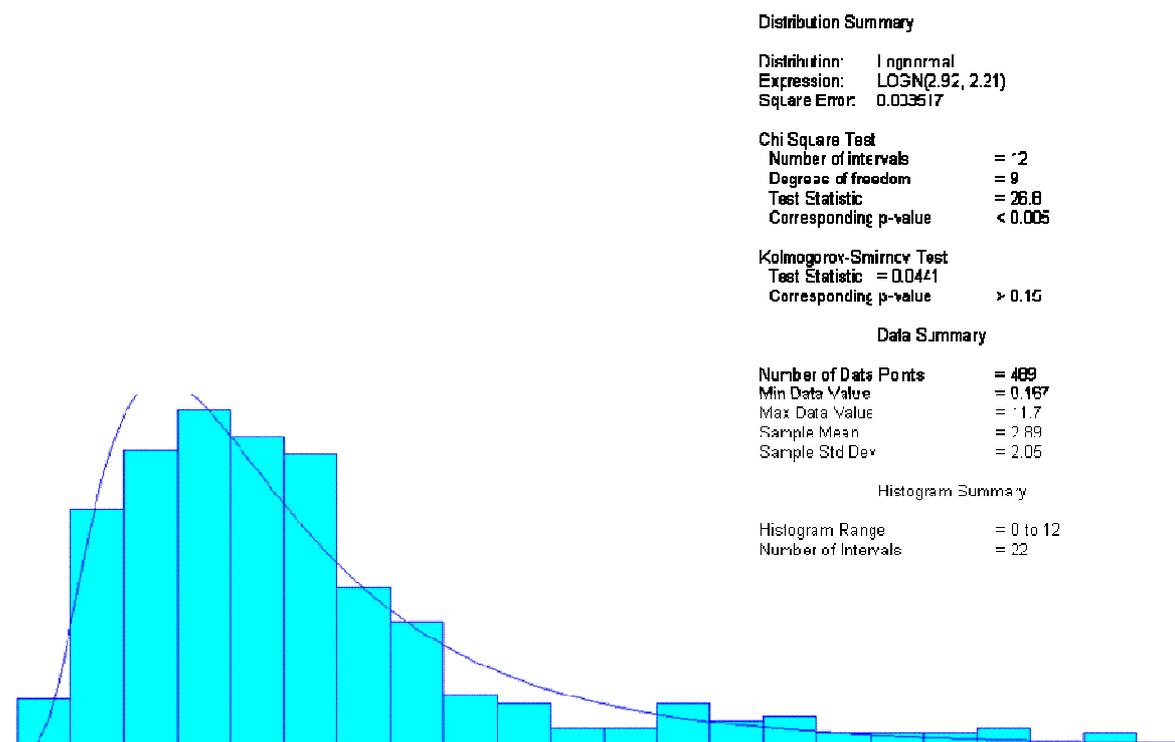
**Gráfico 23 – Taxa de carregamento global para navios panamax**

Estas curvas não foram utilizadas no modelo, mas os dados de saída do modelo foram comparados com estas curvas para auxiliar na validação do modelo.

### 3.5.2.8 Tempo entre final do carregamento e desatracação dos navios

Este tempo é composto pelas atividades de: arqueação final, levantamento da âncora, espera de maré para efetuar manobra, aguardo da chegada do práctico e emissão de documentação.

A curva de distribuição para este tempo obtida através dos dados históricos pode ser observada no gráfico 24:



**Gráfico 24 – Tempo entre fim de carregamento e desatracação do navio.**

Para o modelo foi considerada a curva: Lognormal (2.92 , 2.21) horas para este tempo.

### 3.5.3 Dados referentes ao empilhamento dos materiais nos pátios

#### 3.5.3.1 Volume de produção de pelotas de cada usina por hora

Abaixo os gráficos referentes à curva de distribuição de produção de cada usina por hora, estas curvas foram utilizadas no modelo para representar a produção horária de pelotas de cada usina.

- Usina 1:

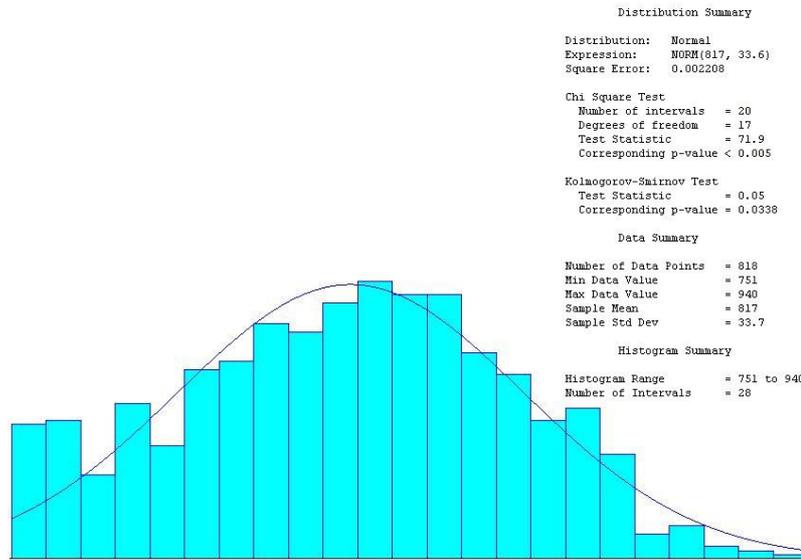


Gráfico 25 – Curva de distribuição de produção horária da usina 1

- Usina 2:

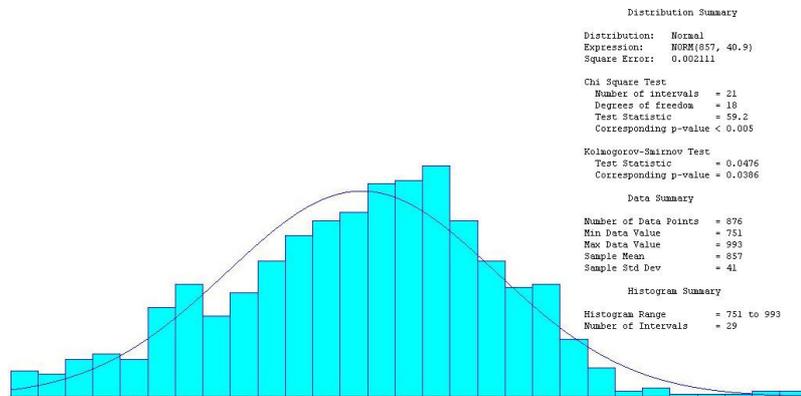
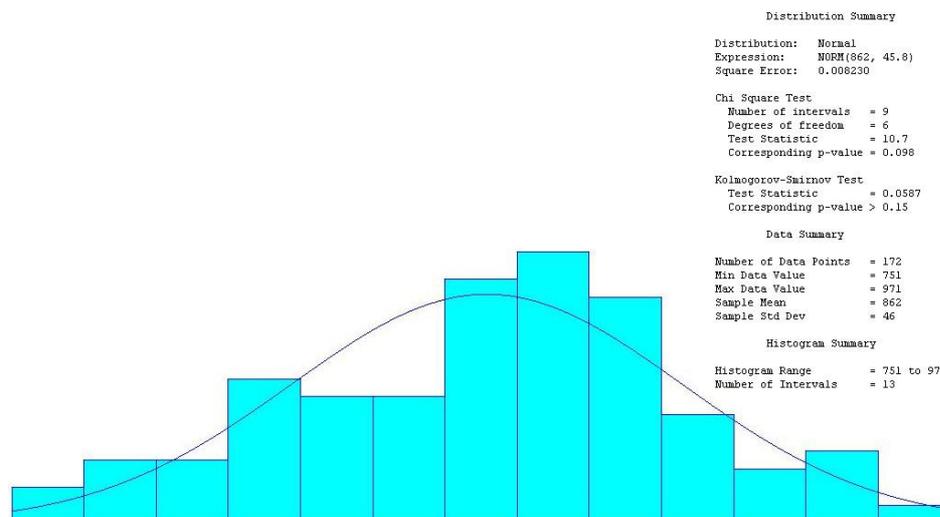


Gráfico 26 – Curva de distribuição de produção horária da usina 2

- Usina 3:



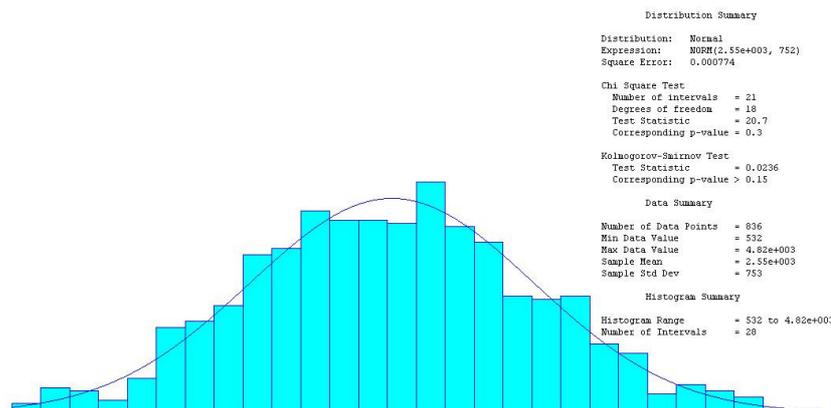
**Gráfico 27 – Curva de distribuição de produção horária da usina 3**

Desta maneira foram inseridas as três curvas no modelo: da seguinte maneira:

- Usina 1: Normal (817 , 33.6) toneladas / hora
- Usina 2: Normal (857 , 40.9) toneladas / hora
- Usina 3: Normal (862 , 45.8) toneladas / hora

### 3.5.3.2 Produção de pellet-feed por hora

A produção de *pellet-feed* para o pátio pode iniciar a qualquer hora do dia e o volume de produção durante o dia segue uma curva de distribuição normal com média de 2.550 toneladas/dia e desvio padrão de 752 toneladas/dia, como mostra o gráfico 28.

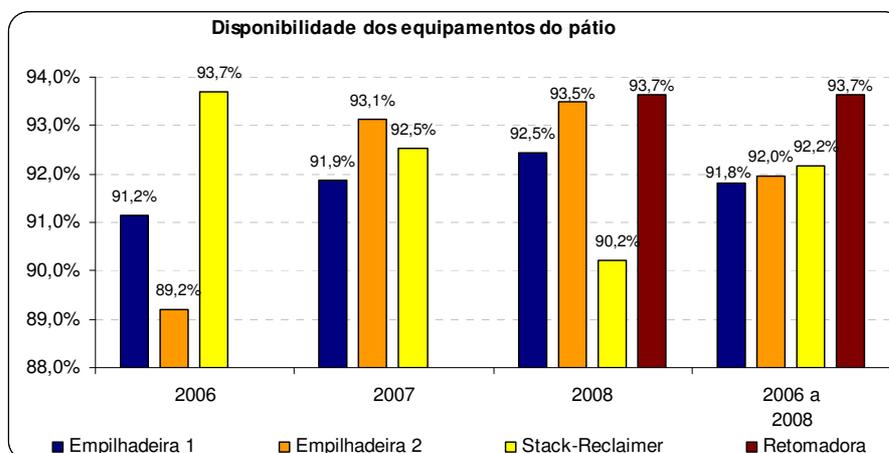


**Gráfico 28 – Curva de Distribuição de volume de produção de pellet-feed por dia**

Desta forma, a hora de início da produção do *pellet-feed* é escolhida de forma aleatória, o volume de produção do dia segue a distribuição mostrada no gráfico 28 e a duração da produção se dá até o final do dia a partir da hora de início da produção.

### 3.5.3.3 Disponibilidade dos equipamentos do pátio

A disponibilidade dos equipamentos do pátio durante o período estudado é mostrada no gráfico 29. A retomadora tem apenas dados de 2008, pois foi neste ano que este equipamento foi instalado.



**Gráfico 29 – Disponibilidade dos equipamentos do pátio**

Para o modelo de simulação foi considerada uma disponibilidade de 92% para os equipamentos do pátio. Para os cenários onde novos equipamentos serão adicionados manteve-se a disponibilidade de 92% para os novos equipamentos.

A seguir uma tabela resumo dos dados de entrada utilizados no modelo:

**Tabela 8 – Dados de entrada do modelo**

		Valor	Unidade
Operação	<i>Loading rate navios Panamax</i>	40.000	Toneladas/Dia
	<i>Loading rate navios Capesize</i>	60.000	Toneladas/Dia
	<i>Demurrage rate</i>	20.000	U\$/Dia
	<i>Turn time</i>	12	Horas
	Tamanho de Laydays	10	Dias
	Chegada dos navios em relação ao período de Laydays	normal(0.367, 0.468)	Dias
	Percentual de chegada de cada tipo de Navio ao porto	Tabela 6	Toneladas
	Tipo de produto que o navio irá carregar/descarregar	Gráfico 7	-
	Tempo de manobra de atracação	normal(1.19, 0.196)	Horas
	Tempo de manobra de desatracação	0.23 + lognormal(0.627, 0.342)	Horas
	Condições meteorológicas adversas	normal(6.13, 1.98)	Horas
	Necessidade de aguardar Maré para desatracação	1.41 + Lognormal(2.83, 1.46)	Horas
Carregamento	Tempo entre atracação e liberação	-0.001+ Lognormal(0.382, 0.363)	Horas
	Tempo entre liberação e início carregamento	normal(1.94, 0.517)	Horas
	Tempo de manutenção durante carregamento	82%	%
	Tempo intrínseco panamax	26%	%
	Tempo intrínseco capesize	16%	%
	Tempo perdido	17%	%
	Taxa efetiva panamax	normal(4150, 1280)	Toneladas/Hora
	Taxa efetiva capesize	normal(4790, 1040)	Toneladas/Hora
Tempo entre fim de carregamento e desatracação	Lognormal(2.92, 2.21)	Horas	
Empilhamento	Produção de pelotas usina 1	Normal(817, 33.6)	Toneladas/Hora
	Produção de pelotas usina 2	Normal(857, 40.9)	Toneladas/Hora
	Produção de pelotas usina 3	Normal(862, 45.8)	Toneladas/Hora
	Produção de pellet-feed por hora	Normal(2.550, 752)	Toneladas/Dia
	Disponibilidade da empilhadeira 1	92%	%
	Disponibilidade da empilhadeira 2	92%	%
	<i>Disponibilidade da Stack-Reclaimer</i>	92%	%
	Disponibilidade da retomadora	92%	%

### 3.6 VALIDAÇÃO DO MODELO

Durante o desenvolvimento de um modelo de simulação é preciso estar seguro de que ele esteja sendo corretamente implementado. Subentende-se que o modelo se encontra sem erros de sintaxe e/ou de lógica, bem como seja representativo do sistema real ou do projetado.

Segundo Freitas Filho (2001), a qualidade e a validade de um modelo de simulação são medidas pela proximidade entre os resultados obtidos pelo modelo e aqueles originados do sistema real. Uma vez que uma série de pressupostos e simplificações sobre o comportamento do sistema real costuma ser realizada no desenvolvimento do modelo, qualquer tomada de decisão com base em seus resultados deve ser precedida de uma avaliação de sua qualidade e apropriação. Consiste em avaliar se estes pressupostos e estas simplificações foram corretamente implementadas no modelo computacional e descobrir se, apesar dos pressupostos e das simplificações implementadas, o modelo ainda é válido, isto é, comporta-se à semelhança do sistema real.

Para a validação, foram analisadas as principais saídas do modelo em comparação aos resultados reais do processo produtivo da Samarco Mineração referentes aos anos de 2006, 2007 e 2008 e comparando as saídas do modelo com o realizado nestes anos, em termos de ocupação dos berços, pagamento de multas de sobre estadia, tempo de espera, volume embarcado e produzido, estoque médio e o número de navios atendidos no ano. Os dados sobre ocupação dos pátios, ocupação dos equipamentos e distância média percorrida por cada equipamento não puderam ser confrontados uma vez que não existem dados históricos destas variáveis.

Alguns dos dados que serviram para validação e calibração do modelo são confidenciais e por este motivo a tabela abaixo mostra apenas a comparação em percentual do resultado do modelo em relação ao resultado real de cada uma das variáveis nestes anos:

Tabela 9 - Tabela comparativa com os dados reais e resultado modelo

<b>Proporção das variáveis em relação ao executado em cada ano (%)</b>			
<b>Ano</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
<b>Estoque médio (Ton./dia)</b>	98,6	99,4	97,9
<b>Volume embarcado (Ton.)</b>	99,98	100,3	100,01
<b>Volume produzido (ton.)</b>	100	100	100
<b>Demurrage total (US\$)</b>	98,7	100,5	101,2
<b>Demurrage médio por navio (US\$/Ton.)</b>	99,2	100,2	100,7
<b>Tempo de espera médio por navio (Dias)</b>	97,8	100,9	102,3
<b>Número de navios atendidos</b>	100,4	100,7	100,3
<b>Ocupação do berço Leste (%)</b>	96,3	97,8	99,1
<b>Ocupação do berço Oeste(%)</b>	101,8	102,4	103,5
<b>Média</b>	<b>99,2%</b>	<b>100,2%</b>	<b>100,6%</b>

O cenário de validação foi chamado de cenário base este cenário foi utilizado como base para montar todos os cenários de expansão do sistema. Na seção cenários de simulação esses cenários serão descritos em detalhes.

### 3.7 TAMANHO DAS REPLICAÇÕES E NÚMERO DE REPLICAÇÕES

Replicação: Representa o período de tempo em que uma simulação será gerada. Para o presente trabalho o tamanho da replicação é de um ano, período o qual se deseja saber a performance do sistema simulado.

Número de replicação: é uma repetição da simulação do modelo, com a mesma configuração, a mesma duração e com os mesmos parâmetros de entrada, mas com uma semente de geração dos números aleatórios diferente.

Apesar de os dados e dos parâmetros de entrada serem os mesmos, como os números aleatórios gerados são diferentes, cada replicação terá uma saída diferente também. Os dados de entrada do modelo são baseados em curvas estatísticas retiradas dos dados históricos da empresa, e devido aos desvios estatísticos adotados, os resultados de cada rodada de simulação serão diferentes. Para determinar qual o número suficiente de replicações para que se tenha consistência estatística dos seus resultados foi adotado o mesmo critério utilizado por Ribeiro (2003). No caso do presente trabalho, foram escolhidas algumas variáveis chave do modelo: tempos de espera médio por navio, ocupação do porto, valor do Demurrage médio e volume embarcado no ano. O critério adotado para determinação do número de replicações foi definido como a escolha da replicação em que se obtivesse pela terceira vez consecutiva o mesmo valor da média acumulada para as quatro variáveis escolhidas.

Foram rodadas 300 replicações, sendo que cada replicação consiste na simulação de um ano inteiro de operação do sistema. Para cada uma das replicações foi calculada a média das variáveis utilizadas no teste e na coluna seguinte, foi calculada a média acumulada. Os resultados obtidos podem ser vistos na tabela 10 e nos gráficos que mostram a evolução da média acumulada em função de cada replicação executada (figura 18).

Tabela 10– variação da média acumulada das variáveis

Replicação	Demurrage( US\$/ton)	Tempo de Espera (dias)	Volume embarcado (1000xton)	Taxa de Ocupação do Porto (%)
1	0,500	1,57	14320	63,4
2	0,533	1,49	14320	63,5
...			...	
10	0,555	1,27	14335	65,3
11	0,553	1,25	14336	65,9
12	0,553	1,24	14336	66,2
13	0,552	1,23	14336	65,5
...			...	
25	0,521	1,11		65,5
26	0,520	1,10		65,9
27	0,518	1,10		66,1
28	0,516	1,10		65,9
...			...	
33	0,507			66,2
34	0,506			66,5
35	0,505			66,5
36	0,504			66,5
...			...	
45	0,498			
46	0,497			
47	0,497			
48	0,497			

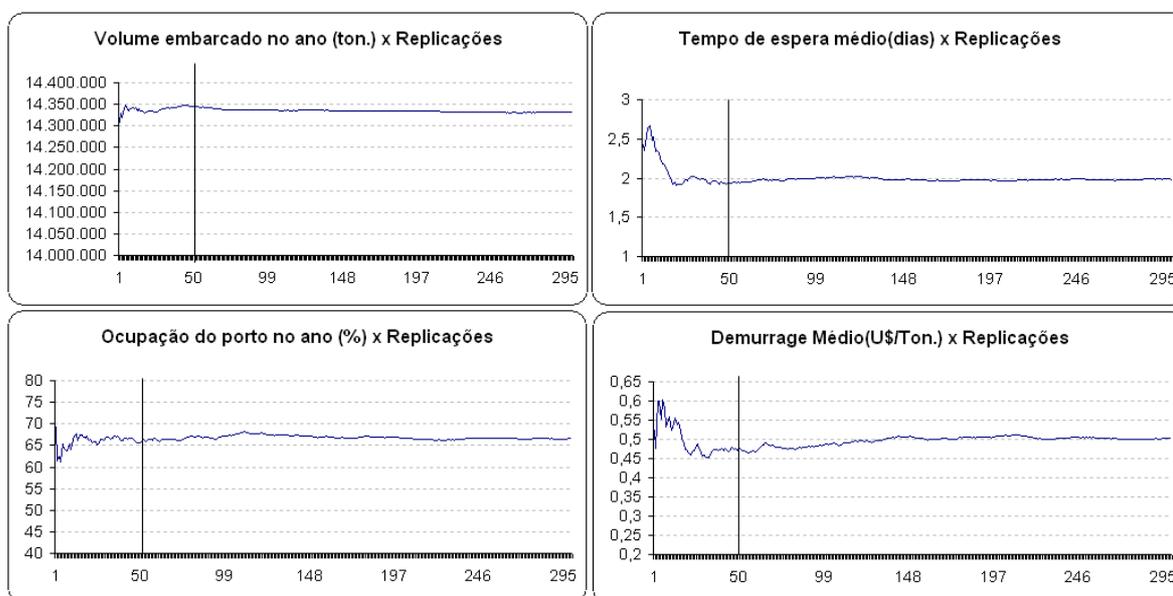


Figura 18 – Médias acumuladas para 300 replicações.

Dessa forma os resultados da simulação serão calculados pela média dos resultados de 50 replicações, garantindo a consistência estatística dos mesmos.

### 3.8 CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

Considerando que a empresa fosse aumentar sua capacidade de produção que hoje é de 23 milhões de toneladas, sendo 22 milhões de pelotas e 0.5 milhão de *pellet-feed* e 0.5 milhão de *pellet-screening*, para 34 milhões de toneladas sendo (32 milhões de pelotas, 0,6 de *pellet-screening*, e 1,4 milhões de *pellet-feed*) como descrito anteriormente foram construídos alguns cenários de simulação para analisar o comportamento do sistema quando são alteradas características originais do sistema.

Além de analisar o comportamento do sistema é possível testar a usabilidade do simulador construído para comparar os resultados dos cenários de simulação com relação as métricas definidas neste trabalho.

- Para o porto foram sugeridos seis cenários:
  - Manter o porto sem nenhuma alteração;
  - Aumentar a profundidade do berço Leste para suportar navios de até 200.000 toneladas;
  - Adicionar mais um *shiploder* no píer atual, aumentando o píer para que ambas as máquinas pudessem trabalhar sem interferência uma da outra;
  - Adicionar mais um *shiploder* no píer atual, e aumentar a profundidade do berço leste para suportar navios de até 200.000 toneladas, aumentando o píer para que ambas as máquinas pudessem trabalhar sem interferência da outra;
  - Adicionar novo píer com um sistema de embarque para navios de até 80.000 toneladas.
  - Adicionar novo píer com um sistema de embarque para navios de até 200.000 toneladas.
  
- Para o pátio de estocagem foram sugeridos cinco cenários distintos:
  - Manter o pátio de estocagem com seus equipamentos sem nenhuma alteração;
  - Transformar a retomadora em uma *stack-reclaimer*;

- Transformar a Empilhadeira 2 em uma *stack-reclaimer*;
- Transformar a empilhadeira 1 em uma *stack-reclaimer*;
- Adicionar uma recuperadora na mesma linha da *stack-reclaimer*;

O quadro 3, resume os cenários a serem estudados:

		Pátio				
		Pátio Atual	trocar Retomadora por Stack reclaimer	Trocar Empilhadeira1 por Stack Reclaimer	Trocar Empilhadeira2 por Stack Reclaimer	Adicionar Retomadora na linha da Stack Reclaimer
porto	Porto Atual	<b>1A, 1B e 1C</b>				
	Berço Leste para navios de até 200.000 ton.	<b>2A e 2B</b>				
	Adicionar Shiploader no Pier atual	<b>3A</b>	<b>5A</b>	<b>6A</b>	<b>7A</b>	<b>8A</b>
	Berço Leste para navios de até 200.000 ton. e adicionar Shiploader	<b>3B</b>	<b>5B</b>	<b>6B</b>	<b>7B</b>	<b>8B</b>
	Novo pier com novo sistema de embarque para navios de até 80.000 ton.	<b>4A</b>	<b>9A</b>	<b>10A</b>	<b>11A</b>	<b>12A</b>
	Novo pier com novo sistema de embarque para navios de até 200.000 ton.	<b>4B</b>	<b>9B</b>	<b>10B</b>	<b>11B</b>	<b>12B</b>

**Quadro 3 – Cenários de simulação**

Para todos os cenários foram rodadas 50 replicações de um ano e considerou-se o estoque inicial de 150.000 toneladas de pelotas BF, 150.000 toneladas de estoque DR, 50.000 de *pellet-feed* e 50.000 de *pellet-screening*, a distribuição de navios conforme realizado nos anos de 2006 a 2008 e a expansão do sistema produtivo da empresa conforme explicado anteriormente.

A seguir as considerações pertinentes a cada cenário:

**Cenário 1** – Este é o cenário base, no qual não existe nenhuma mudança no pátio e no porto. Neste cenário foi feita a validação do modelo com relação aos anos de

2006, 2007 e 2008. Além disso, o mesmo também foi utilizado para analisar a capacidade anual de embarque do sistema atual.

Foram realizadas duas variações deste cenário, chamadas de cenário 1B e 1C. O cenário 1B considerou apenas navios *capsize* (navios maiores que 75.000 toneladas), com o objetivo de avaliar o ganho de embarcar apenas navios deste tipo, uma vez que possuem maiores taxas de carregamento. O cenário 1C considerou uma capacidade de produção de 25 milhões de toneladas, considerando todos os produtos. Com isso, é possível avaliar o comportamento do sistema quando o mesmo trabalha no limite de sua capacidade estimada.

**Cenário 2** – Neste cenário, ambos os berços podem receber navios *capsize* e nenhuma alteração foi feita no pátio de estocagem.

**Cenário 3A** – Neste cenário é possível carregar dois navios ao mesmo tempo, uma vez que existem dois *shiploaders*. Para este cenário foi necessário alterar a prioridade da *stack-Reclaimer* que antes era de empilhar os produtos para carregar o navio caso existam dois navios atracados.

**Cenário 3B** – Neste cenário também é possível carregar dois navios ao mesmo tempo, uma vez que existem dois *shiploaders* e ambos os berços podem receber navios *capsize*. Neste cenário também foi necessário alterar a prioridade da *Stack Reclaimer* para atender o carregamento quando existem dois navios atracados.

**Cenário 4A** – Neste cenário existem dois píers de atracação, onde foi necessário alterar a priorização da *stack-reclaimer* para o carregamento quando dois navios estão atracados.

**Cenário 4B** – Neste cenário também existem dois píers de atracação e em ambos podem-se atracar navios do tipo *capsize*. Além de ser necessário alterar a priorização da *stack-Reclaimer* para o carregamento quando dois navios estão atracados.

Para a construção dos cenários de alteração no pátio de estocagem, foram escolhidos apenas os cenários do porto onde é adicionado um novo sistema de

carregamento, pois só faz sentido aumentar o número de equipamentos disponíveis no pátio se houver o acréscimo de uma nova linha de carregamento.

Em todos os cenários de alteração nos equipamentos do pátio de estocagem foi necessário alterar a priorização de equipamentos para o empilhamento e retiradas do material nos pátios de estocagem, para os novos equipamentos foi considerada a mesma disponibilidade dos equipamentos existentes.

**Cenários 5A, 5B, 9A e 9B** – Nestes cenários onde a retomadora foi trocada por uma *stack-reclaimer*, o novo equipamento terá o nome de *stack-reclaimer-2*. A seguir a tabela 11 mostra as novas prioridades de cada equipamento:

**Tabela 11 – Prioridade dos equipamentos do pátio para os cenários 5A, 5B, 9A e 9B**

	Empilhamento				Retirada do pátio	
	Pelotas		Pellet Feed		Pelotas, Pellet-feed e Pellet Screening	
	Equipamento	Prioridade	Equipamento	Prioridade	Equipamento	Prioridade
Pátio A	Stack-Reclaimer	5	Empilhadeira 1	1	Stack-Reclaimer	4
	* Empilhadeira 1	6	Stack-Reclaimer	2		
Pátio B	Stack-Reclaimer	1	Stack-Reclaimer	5	Stack-Reclaimer	2
	Stack-Reclaimer-2	2	Stack-Reclaimer-2	6	Stack-Reclaimer-2	1
Pátio C	Empilhadeira 2	3	Empilhadeira 2	3	Stack-Reclaimer-2	3
	Stack-Reclaimer-2	4	Stack-Reclaimer-2	4		

\* Empilhadeira 1 tem capacidade de empilhar apenas as pelotas das Usinas 1 e 2

**Cenários 6A, 6B, 10A e 10B** – Nestes cenários onde a empilhadeira 1 foi trocada por uma *Stack-Reclaimer*, este novo equipamento recebeu o nome de *Stack-Reclaimer-2*. Para esses cenários também foi retirada a restrição onde a empilhadeira 1 tem capacidade de empilhar apenas o material das usinas 1 e 2, a seguir a tabela 12 com as novas prioridades de cada equipamento.

**Tabela 12 – Prioridade dos equipamentos do pátio para os cenários 6A, 6B, 10A e 10B**

	Empilhamento				Retirada	
	Pelotas		Pellet Feed		Pelotas, Pellet-feed e Pellet Screening	
	Equipamento	Prioridade	Equipamento	Prioridade	Equipamento	Prioridade
Pátio A	Stack-Reclaimer	3	Stack-Reclaimer-2	1	Stack-Reclaimer	4
	Stack-Reclaimer-2	2	Stack-Reclaimer	2	Stack-Reclaimer-2	5
Pátio B	Stack-Reclaimer	1	Stack-Reclaimer	4	Stack-Reclaimer	3
					Retomadora	1
Pátio C	Empilhadeira 2	4	Empilhadeira 2	3	Retomadora	2

**Cenários 7A, 7B, 11A e 11B** – Nestes cenários onde a empilhadeira 2 foi trocada por uma *stack-Reclaimer*, este novo equipamento recebeu o nome de *stack-Reclaimer-2*, a seguir a tabela 13 com as novas prioridades de cada equipamento:

**Tabela 13 – Prioridade dos equipamentos do pátio para os cenários 7A, 7B, 11A e 11B**

	Empilhamento				Retirada	
	Pelotas		Pellet Feed		Pelotas, Pellet-feed e Pellet Screening	
	Equipamento	Prioridade	Equipamento	Prioridade	Equipamento	Prioridade
Pátio A	Stack-Reclaimer	3	Empilhadeira 1	1	Stack-Reclaimer	5
	* Empilhadeira 1	4	Stack-Reclaimer	2		
Pátio B	Stack-Reclaimer	1	Stack-Reclaimer	4	Stack-Reclaimer	4
					Retomadora	1
Pátio C	Stack-Reclaimer-2	2	Stack-Reclaimer-2	3	Retomadora	2
					Stack-Reclaimer-2	3

\* Empilhadeira 1 tem capacidade de empilhar apenas as pelotas das Usinas 1 e 2

**Cenários 8A, 8B, 12A e 12B** – Para este cenário onde foi adicionada uma retomadora na mesma linha da *stack-reclaimer* esse novo equipamento recebeu o nome de retomadora 2. Nestes cenários a retomadora 2 foi adicionada na mesma linha, porém após a *stack-reclaimer*, pois caso fosse adicionado antes da *stack-reclaimer* o mesmo ficaria inutilizado quando a retomadora estivesse operando.

Nestes cenários a *stack-reclaimer* opera a maior parte do tempo apenas empilhando o material, sendo que, a *Stack-reclaimer* irá fazer a operação de retirar o material do pátio somente quando o novo equipamento chamado de retomadora 2 estivesse em manutenção, a seguir a tabela 14 com as novas prioridades de cada equipamento.

Para estes cenários a *Stack reclaimer* procura o local mais próximo ao início do pátio para empilhar. Ao contrário dos outros cenários, esta mudança na regra de empilhamento é necessária, porque a retomadora 2 só pode recuperar os materiais que estão localizados após a *Stack-reclaimer* pois ambos os equipamentos estão na mesma linha e desta maneira consegue-se diminuir esta restrição. A seguir a tabela 14 com as novas prioridades de cada equipamento.

Tabela 14 – Prioridade dos equipamentos do pátio para os cenários 8A, 8B, 12A e 12B

	Empilhamento				Retirada	
	Pelotas		Pellet Feed		Pelotas, Pellet-feed e Pellet Screening	
	Equipamento	Prioridade	Equipamento	Prioridade	Equipamento	Prioridade
Pátio A	Stack-Reclaimer	3	Empilhadeira 1	1	Retomadora 2	4
	Empilhadeira 1*	4	Stack-Reclaimer	2	Stack-Reclaimer**	6
Pátio B	Stack-Reclaimer	1	Stack-Reclaimer	4	Retomadora 2	2
					Retomadora	1
					Stack-Reclaimer**	5
Pátio C	Empilhadeira 2	2	Empilhadeira 2	3	Retomadora	3

\* Empilhadeira 1 tem capacidade de empilhar apenas as pelotas das Usinas 1 e 2

\*\* A stack-Reclaimer só opera retirando o material do pátio quando a retomadora esta parada por manutenção

Analisando as tabelas acima podemos perceber que os cenários onde a retomadora é substituída por uma *stack-Reclaimer* geram um maior número de opções de empilhamento enquanto nos cenários onde é adicionada uma retomadora, na mesma linha da *stack-reclaimer*, é gerado um maior número de opções de retirada do material dos pátios.

Desta forma, e o gargalo do sistema estiver nas opções de empilhamento espera-se um resultado melhor nos cenários 5A, 5B, 6A e 6B e se o gargalo estiver no sistema de carregamento espera-se um resultado melhor nos cenários 11A, 11B, 12A e 12B.

A seguir serão apresentados todos os resultados dos cenários citados acima.

## 4 RESULTADOS

Os resultados obtidos serão descritos da seguinte forma:

Inicialmente será mantida a configuração atual do pátio de estocagem, variando-se as opções de mudanças no porto, o que corresponde a avaliação dos cenários de 1 a 4. A seguir, para cada alternativa do porto, serão avaliadas as modificações nas máquinas do pátio, de maneira que os seguintes cenários serão comparados entre si:

- 3 x 5 x 6 x 7 x 8
- 4 x 9 x 10 x 11 x 12

Os cenários foram organizados no quadro 3 propositalmente para que o desempenho do sistema seja melhorado de forma progressiva, facilitando a comparação com o cenário anterior.

Após a avaliação dos resultados obtidos, algumas métricas propostas inicialmente para medir o desempenho do sistema não sofreram alterações significativas para comparação entre os cenários. São elas: volume embarcado, deslocamento médio dos equipamentos do pátio, ocupação dos pátios e tempo médio de residência de cada pilha no pátio.

- Volume embarcado: somente relevante para os cenários 1 e 2, nos quais não é possível embarcar toda produção. Nos demais cenários, toda a produção anual foi embarcada.
- Deslocamento médio dos equipamentos no pátio: essa variável se manteve constante devido à política pré-definida de estocagem, que estabelece o critério de sempre empilhar a partir do final do pátio.
- Tempo médio de residência de cada pilha no pátio: o modelo não foi capaz de traduzir essa métrica para a realidade, devido a duas situações: primeiro, nos casos em que uma pilha não é totalmente consumida, e em seguida inicia-se

empilhamento no mesmo local, o modelo considera aquela pilha como sendo nova, o que mascara os resultados. Segundo, na prática tenta-se minimizar o tempo dos produtos no pátio, o que não é considerado pelo modelo. Dessa forma, os resultados obtidos para essa variável não retratam a realidade estudada e por isso foram descartados.

## 4.1 CENÁRIO 1

Os resultados obtidos no cenário 1 são apresentados na tabela 15. Conforme descrito anteriormente este cenário foi dividido em três cenários chamados 1A, 1B e 1C. Para o cenário 1A, no qual se utilizou a distribuição de tipos de navio conforme dados dos anos de 2006 a 2008, observa-se que a capacidade de embarque é de 24,5 milhões de toneladas/ano, sendo que no cenário 1B onde são considerados apenas navios do tipo *capsize* (navios maiores que 75.000 toneladas) a capacidade máxima é de 26,2 milhões de toneladas/ano. Essa capacidade pode ser considerada uma capacidade teórica uma vez que não é possível receber apenas navios grandes durante todo o ano, pois alguns clientes possuem restrições físicas em seus portos que não permitem receber tal tipo de navio.

Em ambos os casos são gerados tempos de espera maiores que 25 dias e pagamento de *demurrage* maior que 60 milhões de dólares, com ocupação dos berços maior que 95%, além de ocupação dos equipamentos maior que 90%. Nestes cenários o sistema produtivo iria expandir para 34 milhões de toneladas, e foram inseridos navios para suprir tal demanda, porém não foi feita nenhuma alteração no sistema pátio-porto. Por este motivo estas variáveis assumem valores tão elevados, não condizentes com a realidade.

Com estes números os cenários não seriam possíveis, pois é inaceitável para os clientes ter seus navios aguardando para carregar por mais de 20 dias, além de ser inviável para a empresa o pagamento tão elevado de *demurrage*.

No cenário 1C, foram considerados apenas navios suficientes para cobrir a capacidade do porto e a produção da empresa aumentou apenas para suprir esta capacidade, tornando assim o cenário mais realista. Pode-se observar que o *demurrage* reduziu para 15 milhões de dólares e o tempo de espera reduziu para 10 dias conforme mostra a tabela 15, o que torna este cenário possível de ser realizado, embora o tempo de espera ainda esteja elevado.

Mesmo para o cenário 1C a ocupação dos equipamentos e do berço continua elevada o que significa um risco para empresa, pois com valores tão elevados de ocupação dificilmente os equipamentos iriam conseguir manter suas disponibilidades e taxas de carregamento / empilhamento.

Tabela 15 – Resultado do cenário 1

		Cenário 1A	Cenário 1B	Cenário 1C	Unidade
Ocupação média dos equipamentos do pátio para empilhamento		80,1%	80,9%	90,4%	%
Ocupação média dos equipamentos do pátio para embarque		91,8%	81,9%	85,7%	%
Ocupação média dos equipamentos do pátio		86,0%	81,4%	86,0%	%
ocupação dos pátios		96,8%	97,3%	46,5%	%
Ocupação dos berços		98,6%	75,9%	85,5%	%
deslocamento total		52.851	54.353	71.209	Metros
Navios	% navios Panamax	58%	60%	60%	%
	% navios Capesize	42%	40%	40%	%
	% carga em navios Panamax	17%	20%	20%	%
	% carga em navios Capesize	83%	80%	80%	%
Volume Embarcado		24.545.378	26.155.788	24.048.692	Toneladas
Volume de pelotas enviado a pilha de emergência		3.741.222	2.992.568	403.368	Toneladas
Volume de produção descartado		5.759.473	4.865.215	87.636	Toneladas
Tempo médio em fila		31,02	25,83	10,06	Dias
Demurrage total		\$75.235.740	\$61.991.762	\$23.484.508	Us\$
Demurrage Específico		\$3,07	\$2,37	\$0,98	Us\$/Tonelada
Taxa de carregamento global média		3.127	3.345	3.136	Toneladas/Hora

O cenário 1C foi de extrema importância para verificar uma das questões levantadas no início do presente trabalho, que estava relacionada a mensurar a capacidade de embarque atual do sistema pátio-porto. Nesse caso, baseado nos resultados simulados, pode-se inferir que a capacidade estimada do sistema é em torno 24 milhões de toneladas por ano, como a empresa estimava.

## 4.2 CENÁRIO 2

Este cenário considera apenas um píer, um *shiploader*, o pátio sem alterações porém o berço leste passa a ter capacidade para receber navios de até 200.000 toneladas. Para o cenário 2A foi considerada a distribuição de navios conforme o período estudado e no cenário 2B foram considerados apenas navios *capsize*.

Nestes cenários também não é possível embarcar toda a capacidade do sistema produtivo expandido (34 milhões), sendo que no cenário 2A são embarcadas 27,9 milhões de toneladas e no cenário 2B são embarcadas 28 milhões de toneladas. Nota-se que a capacidade do sistema aumenta quando a restrição de atracação de navios grandes no berço leste é retirada, mas este aumento é pouco representativo. Da mesma forma que no cenário 1 os números de pagamento de *demurrage*, tempo em fila, ocupação dos berços e dos equipamentos continua muito elevada tornando ambos os cenários inviáveis.

**Tabela 16 – Resultado do cenário 2**

		Cenário 2A	Cenário 2B	Unidade
Ocupação média dos equipamentos do pátio para empilhamento		81,6%	82,1%	%
Ocupação média dos equipamentos do pátio para embarque		92,0%	91,8%	%
Ocupação média dos equipamentos do pátio		86,8%	87,0%	%
ocupação dos pátios		99,6%	98,0%	%
Ocupação dos berços		98,5%	98,9%	%
Navios	% navios Panamax	62%	58%	%
	% navios Capsize	38%	42%	%
	% carga em navios Panamax	18%	21%	%
	% carga em navios Capsize	82%	79%	%
Volume Embarcado		27.945.654	28.045.654	Toneladas
Volume de pelotas enviado a pilha de emergência		2.657.914	2.356.915	Toneladas
Volume de produção descartado		3.485.349	3.749.526	Toneladas
Tempo médio em fila		24,89	22,61	Dias
Demurrage total		\$57.735.676	\$52.222.163	Us\$
Demurrage Específico		\$2,07	\$1,86	Us\$/Tonelada
Taxa de carregamento global média		3.144	3.202	Toneladas/Hora

Com base nos cenários 1 e 2 é possível afirmar, que para a empresa conseguir aumentar sua capacidade produção é necessário investir no sistema pátio-porto. A seguir serão mostrados os cenários de expansão do sistema.

### 4.3 CENÁRIO 3

Cenário 3A e 3B – Estes cenários consideram apenas um píer, mas com dois equipamentos para realizar o carregamento dos navios, sendo que nestes cenários dois navios podem ser carregados simultaneamente e o pátio continua sem alterações. Para o cenário 3B foi considerado que o berço leste tem capacidade para receber navios de até 200.000 toneladas e a distribuição de navios para ambos os cenários foi feita conforme o período estudado.

**Tabela 17 – Resultado do cenário 3**

	Cenário 3A	Cenário 3B	Unidade
Ocupação média dos equipamentos do pátio para empilhamento	91,1%	92,1%	%
Ocupação média dos equipamentos do pátio para embarque	90,1%	90,0%	%
Ocupação média dos equipamentos do pátio	90,6%	91,0%	%
Ocupação dos berços	89,4%	92,4%	%
Volume de pelotas enviado a pilha de emergência	994.259	980.330	Toneladas
Tempo médio em fila	12,95	12,20	Dias
Demurrage total	\$29.094.781	\$27.127.264	Us\$
Demurrage Específico	\$0,86	\$0,80	Us\$/Tonelada
Taxa de carregamento global média	3.129	3.210	Toneladas/Hora

Com o acréscimo de um *shiploader* no píer atual é possível embarcar toda a produção da empresa após a expansão. Neste caso não foi considerada nenhuma interferência entre os *shiploaders* quando ambos estão sendo utilizados para carregar os navios atracados.

Neste cenário os equipamentos do pátio continuam com sua ocupação elevada e o pagamento de *demurrage* continua muito elevado. Apesar de possível, este também pode ser considerado um cenário crítico, mesmo considerando o cenário 3B onde é retirada a restrição de atracar navios *capesize* no berço leste. O *demurrage* elevado é causado pela alta ocupação dos berços e o elevado tempo médio de espera em fila (12,95 no cenário 3A e 12,20 no cenário 3B).

Pode-se concluir a partir dos resultados até aqui obtidos que não é interessante investir na capacidade do berço leste em poder receber navios *capesize* pois o ganho com esta alteração é muito baixo.

#### 4.4 CENÁRIO 4

Cenário 4A e 4B – Em ambos os cenários é possível escoar toda a produção da empresa e observa-se uma redução significativa da ocupação média dos berços quando um novo píer é adicionado. Da mesma forma que nos cenários anteriores, como não foi instalado nenhum novo equipamento no pátio observa-se que a ocupação dos equipamentos continua muito elevada.

**Tabela 18 – Resultado do cenário 4.**

	Cenário 4A	Cenário 4B	Unidade
Ocupação média dos equipamentos do pátio para empilhamento	91,2%	91,5%	%
Ocupação média dos equipamentos do pátio para embarque	90,0%	90,1%	%
Ocupação média dos equipamentos do pátio	90,6%	90,8%	%
Ocupação dos berços	87,4%	88,0%	%
Volume de pelotas enviado a pilha de emergência	844.215	832.987	Toneladas
Tempo médio em fila	11,43	10,81	Dias
Demurrage total	\$24.969.391	\$23.537.079	Us\$
Demurrage Específico	\$0,74	\$0,69	Us\$/Tonelada
Taxa de carregamento global média	3.115	3.211	Toneladas/Hora

Para o sistema portuário o cenário onde um novo píer é adicionado é o melhor cenário identificado, pois apresenta os melhores resultados com relação ao pagamento de multas, ocupação média dos berços, tempo médio em fila e taxa global de carregamento. Mesmo assim a ocupação dos equipamentos continua elevada o que corrobora a necessidade de investimentos no pátio de estocagem.

## 4.5 CENÁRIO 5

Conforme citado no início do presente capítulo, a partir desse ponto será comparada cada modificação no porto com as alterações nas máquinas de pátio. Sendo assim, analisando os cenários 3A, 5A, 3B e 5B, é possível observar que com a alteração da retomadora por uma *stack-reclaimer* a ocupação média dos equipamentos no pátio e o volume de pelotas enviado a pilha de emergência diminui consideravelmente devido ao maior número de opções para realizar a operação de empilhamento no pátio.

Desta forma é possível afirmar que é necessário o aumento do número de opções para empilhamento caso a empresa aumente a sua capacidade produtiva. Por outro lado, o valor do *demurrage*, apesar de ter diminuído ainda é elevado, assim como o tempo médio em fila para cada navio. Tal fato inviabiliza esse cenário a longo prazo, pois a empresa teria que desembolsar a cada ano valores expressivos com pagamento de *demurrage*, além de correr o risco de ter o número de vendas perdidas aumentado já que os tempos de espera médio serão elevados. Para que seja possível reduzir o *demurrage* e o tempo médio em fila, faz-se necessário avaliar alternativas que possibilitem aumentar o número de equipamentos capazes de realizar a operação de retirar o material dos pátios de estocagem, aumentando as opções para carregamento, o que poderá ser visto nos cenários de 7 a 12.

**Tabela 19 – Resultado do cenário 5.**

	Cenário 5A	Cenário 5B	Unidade
Ocupação média dos equipamentos do pátio para empilhamento	75,4%	76,0%	%
Ocupação média dos equipamentos do pátio para embarque	90,0%	90,2%	%
Ocupação média dos equipamentos do pátio	82,7%	83,1%	%
Ocupação dos berços	88,7%	90,9%	%
Volume de pelotas enviado a pilha de emergência	447.499	442.373	Toneladas
Tempo médio em fila	12,10	11,46	Dias
Demurrage total	\$26.487.772	\$24.858.270	Us\$
Demurrage Específico	\$0,78	\$0,73	Us\$/Tonelada
Taxa de carregamento global média	3.165	3.225	Toneladas/Hora

## 4.6 CENÁRIO 6

Comparando o cenário 6 com os resultados obtidos para o cenário anterior, percebe-se uma redução de 16% no desembolso com o *demurrage* enquanto que o tempo médio em fila diminui 15%. Quando a empilhadeira 01 é substituída pela *stack-reclaimer* a ocupação média dos equipamentos não diminui de forma significativa a ocupação dos equipamentos da linha de carregamento. O fator limitador deste cenário se deve ao fato de a nova *stack-reclaimer* somente operar no pátio A, que é o de menor prioridade para o empilhamento de pelotas, de forma que não é possível obter ganhos na ocupação dos equipamentos da linha de carregamento, pois a disponibilidade de pelotas que é o principal produto embarcado é menor no pátio A que nos outros pátios.

Para que os resultados deste cenário pudessem melhorar seria necessário alterar a prioridade de empilhamento das pelotas no pátio, que é uma premissa do modelo.

A comparação entre os cenários 6A e 6B mostra que a alteração do berço leste para que o mesmo possa receber navios de até 200.000 ton. Apresenta apenas uma pequena melhoria em relação às métricas propostas no presente trabalho para medir a eficiência do sistema, por este motivo tal modificação não se justifique.

**Tabela 20 – Resultado do cenário 6.**

	Cenário 6A	Cenário 6B	Unidade
Ocupação média dos equipamentos do pátio para empilhamento	80,6%	81,0%	%
Ocupação média dos equipamentos do pátio para embarque	85,6%	85,4%	%
Ocupação média dos equipamentos do pátio	83,1%	83,2%	%
Ocupação dos berços	87,0%	89,4%	%
Volume de pelotas enviado a pilha de emergência	417.143	412.211	Toneladas
Tempo médio em fila	10,22	9,51	Dias
Demurrage total	\$22.226.235	\$20.255.188	Us\$
Demurrage Específico	\$0,65	\$0,60	Us\$/Tonelada
Taxa de carregamento global média	3.540	3.628	Toneladas/Hora

## 4.7 CENÁRIO 7

Como uma alternativa às limitações da modificação sugerida no cenário 6, propõe-se substituir a empilhadeira 02 pela *stack-reclaimer*. Neste caso obteve-se um melhor resultado, pois, as pelotas poderão ser empilhadas e recuperadas no pátio C pela nova *stack-reclaimer* e pela retomadora, além do fato de o pátio C possuir prioridade de empilhamento de pelotas em relação ao pátio A. Porém neste cenário nota-se que a taxa global de carregamento e o tempo médio em fila não se alteraram. Em relação à ocupação média dos equipamentos do pátio também não houve alteração significativa, pois nesse caso, a nova *stack-reclaimer* opera a maior parte do tempo recuperando material do pátio enquanto que a antiga *stack-reclaimer* tem prioridade de empilhamento, que é o pátio que possui maior prioridade para empilhamento de pelotas.

Da mesma forma que nos cenários anteriores, a alteração da capacidade do berço leste não apresenta diferenças no desempenho do sistema que justifiquem realizar a modificação.

**Tabela 21 – Resultado do cenário 7.**

	Cenário 7A	Cenário 7B	Unidade
Ocupação média dos equipamentos do pátio para empilhamento	80,2%	80,8%	%
Ocupação média dos equipamentos do pátio para embarque	85,7%	85,4%	%
Ocupação média dos equipamentos do pátio	82,9%	83,1%	%
Ocupação dos berços	86,7%	89,3%	%
Volume de pelotas enviado a pilha de emergência	412.083	405.877	Toneladas
Tempo médio em fila	9,98	9,35	Dias
Demurrage total	\$21.509.677	\$19.626.037	Us\$
Demurrage Específico	\$0,63	\$0,58	Us\$/Tonelada
Taxa de carregamento global média	3.540	3.628	Toneladas/Hora

#### 4.8 CENÁRIO 8

O cenário 8 é o único a considerar a inclusão de um novo equipamento no pátio, ao invés de propor alterações nos já existentes. Nesse caso, considera-se a instalação de uma retomadora na mesma linha da *stack-reclaimer*, entre os pátios A e B. A ocupação dos equipamentos da linha de embarque reduziu de 85,7% para 68,7%. Com isto, a taxa de carregamento global aumentou em 200 ton/hora. Essa maior taxa de carregamento possibilita a diminuição do tempo médio em fila em 1 dia e conseqüentemente do *demurrage* em 27%. Outro ganho possibilitado neste cenário foi o volume de material enviado para a pilha de emergência, que diminuiu 23 % para o cenário 8A e 8B. A redução do material na emergência gera considerável diminuição de custos para o sistema, pois para que esse material seja enviado para o pátio é necessário o uso de caminhões e carregadeiras.

**Tabela 22 – Resultado do cenário 8.**

	Cenário 8A	Cenário 8B	Unidade
Ocupação média dos equipamentos do pátio para empilhamento	80,3%	81,0%	%
Ocupação média dos equipamentos do pátio para embarque	68,7%	68,6%	%
Ocupação média dos equipamentos do pátio	74,5%	74,8%	%
Ocupação dos berços	75,3%	75,7%	%
Volume de pelotas enviado a pilha de emergência	320.488	317.207	Toneladas
Tempo médio em fila	8,62	7,92	Dias
Demurrage total	\$17.869.441	\$16.231.486	Us\$
Demurrage Específico	\$0,53	\$0,48	Us\$/Tonelada
Taxa de carregamento global média	3.765	3.785	Toneladas/Hora

## 4.9 CENÁRIO 9

A partir desse cenário, será considerada uma nova modificação no porto, no caso será adicionado um novo píer. Da mesma forma que para as análises anteriores, para essa nova situação do porto, será avaliada cada modificação proposta para as máquinas de pátio. Sendo assim, esse cenário será comparado com o cenário 4, que representa apenas a modificação no porto. A substituição da retomadora por uma *stack-reclaimer* faz com que a ocupação dos equipamentos para empilhamento diminua, permitindo maior flexibilidade para essa operação. Observa-se uma melhora na taxa global de carregamento em torno de 400 ton/h, e o tempo de espera médio e *demurrage* são reduzidos. Este poderia ser um cenário viável, porém deve-se atentar para a taxa de ocupação dos equipamentos da linha de carregamento, que ao se manterem na faixa de 90%, passam a ser o gargalo do sistema, o que não é desejável.

Diferente dos demais cenários, neste caso, o aumento da profundidade do novo berço para recebimento de navios capesize, possibilita reduzir o *demurrage* em 14%, fato explicado pela maior taxa global de carregamento e o menor tempo médio em fila.

**Tabela 23 – Resultado do cenário 9.**

	Cenário 9A	Cenário 9B	Unidade
Ocupação média dos equipamentos do pátio para empilhamento	76,9%	78,0%	%
Ocupação média dos equipamentos do pátio para embarque	89,9%	90,1%	%
Ocupação média dos equipamentos do pátio	83,4%	84,1%	%
Ocupação dos berços	84,1%	84,9%	%
Volume de pelotas enviado a pilha de emergência	435.928	431.978	Toneladas
Tempo médio em fila	6,39	5,72	Dias
Demurrage total	\$12.991.490	\$11.433.286	Us\$
Demurrage Específico	\$0,38	\$0,34	Us\$/Tonelada
Taxa de carregamento global média	3.575	3.675	Toneladas/Hora

Dessa forma, serão avaliadas outras configurações nas quais o circuito de carregamento dos navios não seja gargalo para o sistema.

#### 4.10 CENÁRIO 10

A troca da empilhadeira 1 pela *Stack-reclaimer* em conjunto com o novo píer aumenta o número de opções de carregamento do sistema, mesmo considerando que o pátio A é o de menor prioridade para empilhamento de pelotas. Neste caso, o tempo médio em fila reduz em 32% e o *demurrage* 45% quando comparado ao cenário anterior. Na medida em que se aumentam as opções de carregamento, observa-se que se torna mais relevante a modificação do novo berço para o recebimento dos navios capesize, situação na qual o *demurrage* é reduzido em 37,5% do cenário 10B em relação ao cenário 10A.

Outro ponto relevante para este cenário é a redução da taxa de ocupação média dos equipamentos da linha de embarque, que ficam em 85% contra 90% do cenário anterior. Essa redução é significativa e diminui a vulnerabilidade do sistema.

**Tabela 24 – Resultado do cenário 9.**

	Cenário 10A	Cenário 10B	Unidade
Ocupação média dos equipamentos do pátio para empilhamento	80,8%	81,3%	%
Ocupação média dos equipamentos do pátio para embarque	85,4%	85,4%	%
Ocupação média dos equipamentos do pátio	83,1%	83,4%	%
Ocupação dos berços	83,2%	84,0%	%
Volume de pelotas enviado a pilha de emergência	411.699	406.654	Toneladas
Tempo médio em fila	3,63	2,74	Dias
Demurrage total	\$7.152.476	\$5.266.008	Us\$
Demurrage Específico	\$0,21	\$0,16	Us\$/Tonelada
Taxa de carregamento global média	3.585	3.666	Toneladas/Hora

#### 4.11 CENÁRIO 11

Da mesma forma que no cenário anterior, nesse caso, é feita a substituição de uma máquina de empilhamento por uma *stack-reclaimer*. Os resultados obtidos são similares, porém observa-se uma pequena melhora, aproximadamente de 5% para o *demurrage* e tempo médio em fila, explicada pelo fato de a nova *stack-reclaimer* ficar instalada para atender o pátio C, que possui maior prioridade de empilhamento de pelotas do que o pátio A.

**Tabela 25 – Resultado do cenário 11.**

	Cenário 11A	Cenário 11B	Unidade
Ocupação média dos equipamentos do pátio para empilhamento	80,7%	81,1%	%
Ocupação média dos equipamentos do pátio para embarque	85,8%	85,6%	%
Ocupação média dos equipamentos do pátio	83,2%	83,4%	%
Ocupação dos berços	82,1%	83,0%	%
Volume de pelotas enviado a pilha de emergência	403.196	399.488	Toneladas
Tempo médio em fila	3,48	2,54	Dias
Demurrage total	\$6.790.997	\$4.803.716	Us\$
Demurrage Específico	\$0,20	\$0,14	Us\$/Tonelada
Taxa de carregamento global média	3.584	3.683	Toneladas/Hora

## 4.12 Cenário 12

O cenário a ser apresentado foi o que apresentou os melhores resultados entre todos os cenários analisados. A inclusão de um novo píer em conjunto com a instalação de uma nova retomadora na mesma linha da atual *stack-reclaimer*, possibilita diminuir o *demurrage* e o tempo médio em fila em 17%, ao mesmo tempo em que a taxa média de ocupação dos equipamentos da linha de embarque passa para 68,7% contra 85% do cenário anterior. Também nesse cenário observa-se a maior taxa global de carregamento e o menor volume de material escoado para as pilhas de emergência.

**Tabela 26 – Resultado do cenário 12.**

	Cenário 12A	Cenário 12B	Unidade
Ocupação média dos equipamentos do pátio para empilhamento	81,5%	82,1%	%
Ocupação média dos equipamentos do pátio para embarque	68,7%	68,7%	%
Ocupação média dos equipamentos do pátio	75,1%	75,4%	%
Ocupação dos berços	79,2%	79,7%	%
Volume Embarcado	33.947.500	33.947.500	Toneladas
Volume de pelotas enviado a pilha de emergência	318.554	314.042	Toneladas
Tempo médio em fila	2,98	2,19	Dias
Demurrage total	\$5.784.465	\$4.059.350	Us\$
Demurrage Específico	\$0,17	\$0,12	Us\$/Tonelada
Taxa de carregamento global média	3.795	3.826	Toneladas/Hora

Apresentados os cenários simulados, a seguir será feita uma análise geral dos resultados obtidos, bem como as recomendações pertinentes para a tomada de decisão em relação à ampliação da capacidade de embarque de pelotas do sistema pátio-porto estudado.

#### 4.13 ANÁLISE DOS RESULTADOS

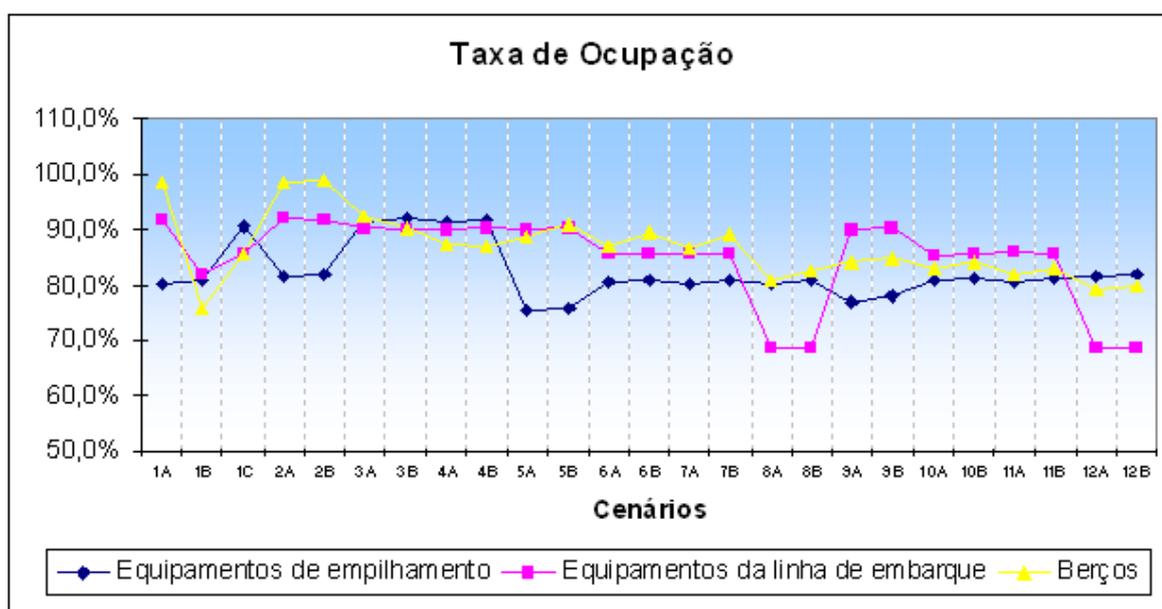
A partir dos resultados gerados em cada cenário, é possível fazer uma análise geral das principais variáveis de saída do modelo, sendo elas: taxa de ocupação dos equipamentos de empilhamento e carregamento, taxa de ocupação dos berços, *demurrage*, tempo em fila e taxa global de carregamento.

Em relação às taxas de ocupação, apresentadas no gráfico 30 abaixo, pode-se inferir que:

- Em relação à ocupação dos berços, considerando os cenários de 3 a 12, onde é possível embarcar toda produção anual, observa-se que a ocupação média dos berços se mantém em torno de 90% para os cenários nos quais não é considerado um novo píer, com exceção do cenário 8, que consegue reduzir a ocupação dos berços para 80%, pois considera uma nova retomadora, o que aumenta significativamente a disponibilidade da linha de embarque e conseqüentemente a taxa de carregamento global. Para os cenários onde um novo píer é adicionado a ocupação dos berços passa para 80%, com exceção do cenário 4, no qual não foi realizada nenhuma alteração no pátio. A análise integrada do sistema pátio-porto mostra que para diminuir a taxa de ocupação dos berços não necessariamente deve-se construir um novo píer, mas que o mesmo pode ser alcançado ao se aumentar as opções da linha de embarque (cenário 8). Por outro lado, caso não haja nenhuma modificação no pátio, os resultados não são satisfatórios, mesmo quando um novo píer é adicionado, o que indica que os cenários de 1 a 4 podem ser descartados.
- O aumento das opções de empilhamento não gera ganhos significativos para o desempenho do sistema. Mesmo nos cenários que apresentaram as menores taxas de ocupação para estes equipamentos, não foi possível observar ganhos para o sistema. Dessa forma, identifica-se que o foco da análise deve ser nos cenários que relacionam maior disponibilidade da linha de embarque e aumento da capacidade do porto. Sendo assim, pode-se descartar os cenários 5 e 9.

- Em relação à ocupação dos equipamentos da linha de embarque, percebe-se que as maiores reduções foram obtidas nos cenários 8 e 12, cenários nos quais foi adicionada uma nova retomadora na mesma linha da *stack-reclaimer*. Para os cenários 6,7, 10 e 11, mesmo aumentado-se as opções de recuperação de produtos dos pátios A e C através da modificação das empilhadeiras, observa-se redução de 5% na ocupação dos equipamentos da linha de embarque, porém esta redução não reflete ganhos significativos para as demais variáveis do sistema, principalmente quando comparados aos resultados obtidos nos cenários 8 e 12.

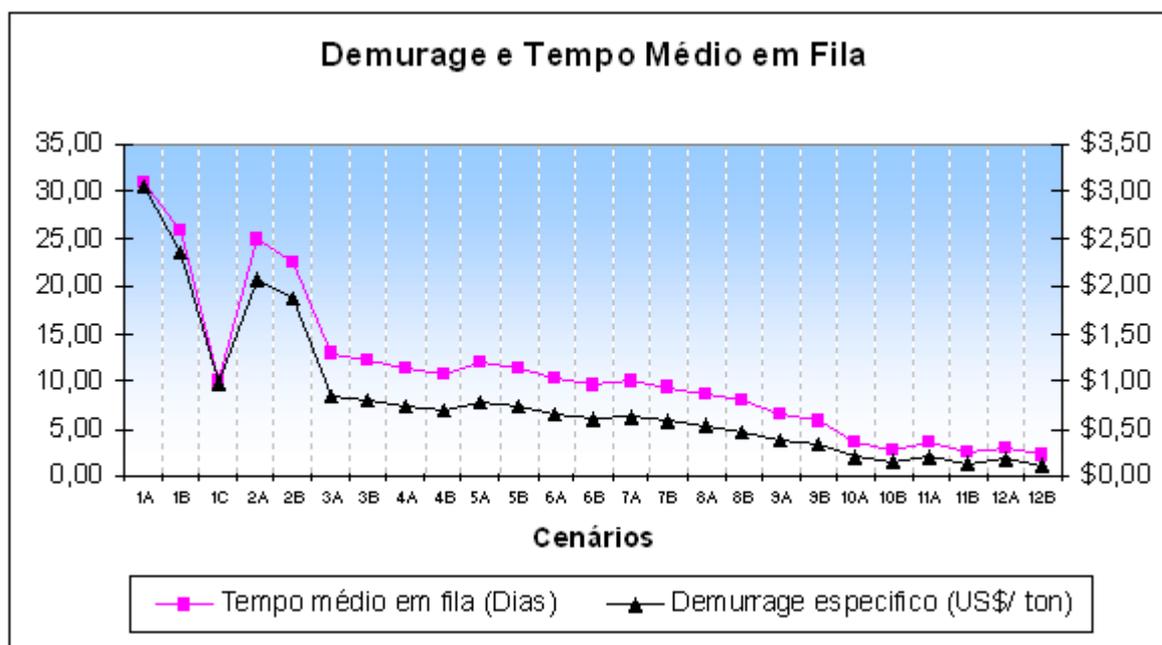
A análise descrita acima, permite inferir que pelas variáveis referentes à taxa de ocupação, as opções que atendem o desempenho esperado do sistema são as propostas nos cenários 8 e 12.



**Gráfico 30 –Ocupação dos berços, e dos equipamentos do pátio**

Observando o gráfico 31 abaixo, contata-se a relação direta entre o *demurrage* e o tempo médio em fila, de modo que essas saídas serão analisadas em conjunto. Os cenários que apresentaram melhor desempenho são aqueles nos quais é adicionado um novo píer e mais uma opção de retomada de material, correspondendo aos cenários 10, 11 e 12.

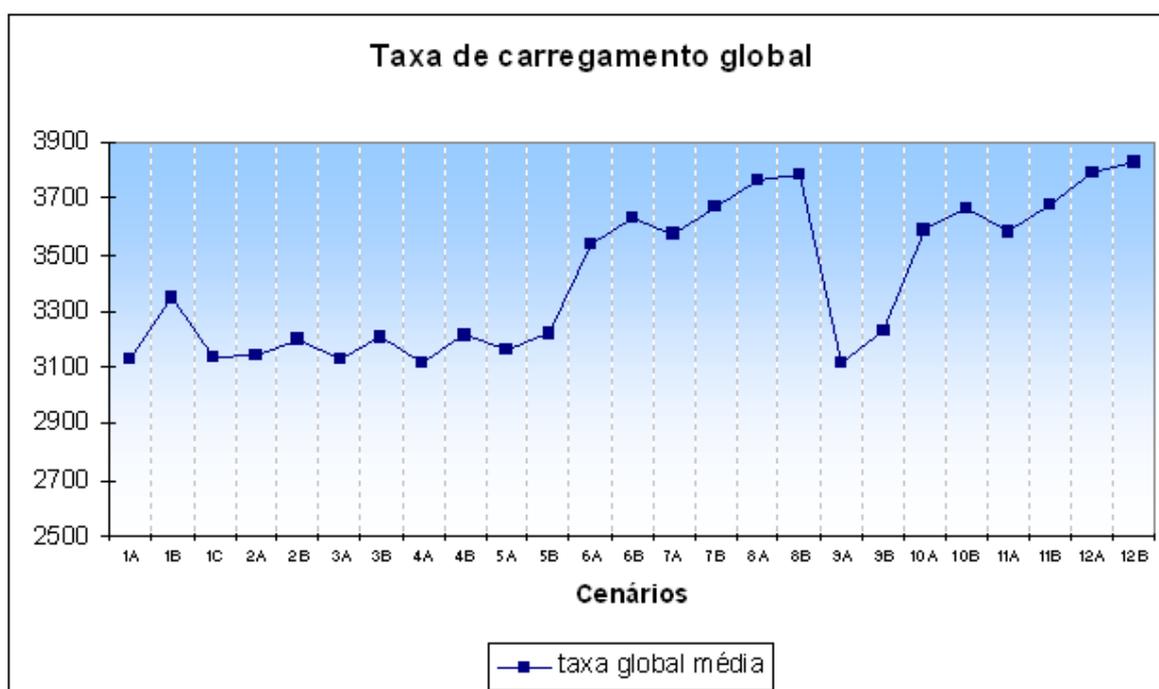
Uma observação importante é que ao se comparar a opção A com a opção B de cada cenário, na qual considera-se a retirada de restrição dos berços para navios de até 80.000 ton, percebe-se reduções da ordem de 6 a 8% para os cenários de 3 a 8, onde não é adicionado um novo píer e para o cenário 9 onde é adicionado um novo píer mas não é adicionada mais uma opção de recuperação do material do pátio. Para os cenários onde é adicionado um novo píer e também é adicionada mais uma opção de retomada do material do pátio, cenários 10 a 12, a retirada desta restrição representa redução em torno de 35% nos valores de *demurrage* e tempo médio em filas. Sendo assim, a escolha de adequar os berços para recebimento de navios capesize dependerá do cenário a ser escolhido e também de uma análise para avaliar se as reduções obtidas compensam o investimento necessário para adequação do berço. A definição do melhor cenário que atenda as condições de *demurrage* e tempo de espera também está relacionada ao nível de serviço que a empresa deseja prestar a seus clientes com relação ao tempo de espera e ao montante que a empresa está disposta a desembolsar com o pagamento de *demurrage* ao longo dos anos.



**Gráfico 31 – Análise do demurrage e do tempo de espera de cada cenário**

A última saída a ser analisada reflete diretamente a eficiência do sistema quanto ao carregamento dos navios. Como citado anteriormente, a taxa global de

carregamento envolve os tempos parados durante o carregamento dos navios, por manutenção, tempos perdidos durante o carregamento, tempos intrínsecos e o tempo em que o navio esta sendo carregamento efetivamente. Quando o número de opções para realizar a operação de retomada do material dos pátios aumenta, a taxa global também aumenta. Neste sentido os cenários nos quais a taxa de carregamento aumenta são 6, 7, 8, 10, 11 e 12, conforme gráfico 32 abaixo.



**Gráfico 32 – Análise da taxa de carregamento global de cada cenário.**

Para facilitar a definição da escolha do melhor cenário foi elaborado o figura 19, apresentado a seguir. Apesar de a análise financeira não fazer parte do escopo do presente trabalho, a tabela apresenta uma coluna que tenta mostrar uma ordem de grandeza comparativa entre as configurações propostas, de forma que a escolha não seja apenas baseada nos resultados do simulador. Para os dados de saída do modelo, quanto maior o número de setas, significa melhor desempenho da variável de saída para o sistema. No caso do investimento, quanto maior o número de setas, menor será o investimento necessário.

Cenário	taxa global	demurrage	ocupação berços	ocupação embarque	ocupação empilhamento	investimento
3	↑	↑	↑↑	↑	↑	↑↑↑
4	↑	↑	↑↑	↑	↑	↑
5	↑	↑	↑↑	↑	↑↑↑	↑↑
6	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
7	↑↑	↑↑	↑↑	↑	↑↑	↑↑
8	↑↑↑	↑↑	↑↑↑	↑↑↑	↑↑	↑↑
9	↑	↑↑	↑↑↑	↑↑	↑↑↑	↑
10	↑↑	↑↑↑	↑↑↑	↑↑	↑↑	↑
11	↑↑	↑↑↑	↑↑↑	↑↑	↑↑	↑
12	↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑	↑↑	↑

Figura 19 – Comparação entre os cenários

Com os resultados obtidos acima é possível observar que o melhor cenário é o 12 que considera a construção de um novo píer com a inclusão de uma retomadora na mesma linha da atual *stack-reclaimer*. Como estima-se que o investimento em um novo píer seja elevado, pode ser que essa situação seja economicamente inviável, de forma que o cenário 8 passa a apresentar os melhores resultados. Ainda em relação ao cenário 8, após estudos de engenharia pode ser constatado que não é possível adicionar o novo equipamento na mesma linha da *stack-reclaimer*, seja por problemas de construtibilidade, interferências, riscos, etc. Nesse caso, então o melhor seria optar pelo cenário 11, no qual a empilhadeira 2 é substituída por uma *stack-reclaimer* além da construção do novo píer ou o cenário 7, caso o píer não seja viável. Em relação à modificação de restrição dos berços, a decisão fica a cargo do cenário escolhido, conforme citado anteriormente.

## 5 CONCLUSÕES

O presente trabalho utilizou a simulação para modelar um sistema pátio-porto integrado com o objetivo de auxiliar na tomada de decisão entre diversos cenários para aumento da capacidade de embarque de uma empresa do ramo da mineração. Os diversos cenários consideraram alterações em ambos subsistemas (pátio e porto), sendo elas: construção de novo píer, retirada de restrição dos berços, substituição e inclusão de novas máquinas no pátio.

Um dos pontos comprovados pelo modelo, foi a capacidade atual do sistema, que é de 24 milhões de toneladas por ano, indicando que para o atendimento à expansão da capacidade produtiva para 34 milhões de toneladas é necessário realizar modificações no sistema atual.

A aplicação do modelo para a avaliação do aumento de eficiência e capacidade do sistema pátio-porto fornece resultados operacionais, através dos quais é possível estimar a eficiência e analisar o comportamento dos diversos recursos e equipamentos do sistema para cada cenário estudado. As principais variáveis de saída monitoradas pelo modelo foram: taxa de ocupação dos berços, dos equipamentos de empilhamento e carregamento, tempo médio em filas e *demurrage*. De posse dessas informações, foram definidos os melhores cenários para ampliação da capacidade do sistema. Os cenários escolhidos servem como base para a tomada de decisão e planejamento futuro do sistema pátio-porto estudado.

A escolha do cenário mais adequado dependerá de decisões relacionadas principalmente à construção de um novo píer e da possibilidade de operação de duas máquinas de pátio em uma mesma linha.

Os resultados obtidos mostram a importância da análise integrada do sistema pátio-porto. Foi visto que em determinados cenários, realizar investimentos somente em um dos subsistemas, não aumenta o desempenho global do sistema.

A escolha da simulação como ferramenta para análise do sistema integrado pátio-porto foi fundamental para o desenvolvimento da pesquisa, devido à complexidade do sistema real e pelos fatores aleatórios das variáveis que

influenciam o sistema. Além disso, o uso dos recursos de animação gráfica do ARENA facilitaram o entendimento e a validação do modelo.

A utilização de um simulador para eventos discretos para a simulação de um sistema de produção contínuo mostrou-se satisfatório, sendo que, a discretização dos eventos contínuos não interferiu nos resultados obtidos, fato esse comprovado pelo cenário de validação.

O modelo proposto considerou dados reais e os resultados obtidos se aproximam da realidade estudada, mesmo com as simplificações assumidas. O presente trabalho contribui tanto na área acadêmica quanto na prática. Academicamente, ao propor um modelo integrado de pátio-porto para granéis sólidos, considerando as interações entre os subsistemas, modelo este que até então não havia sido identificado na literatura. Na prática, ao se tornar uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão para o planejamento futuro de um sistema com alto grau de complexidade.

## 6 TRABALHOS FUTUROS

Em seguida serão sugeridos alguns pontos que podem ser objeto de estudo de trabalhos futuros e que preenchem algumas lacunas do presente trabalho.

- Incorporar um modelo de otimização para determinar o local onde deverão ser estocadas as pilhas no pátio de estocagem. No modelo desenvolvido, as pilhas são estocadas de acordo com apenas uma regra, que define o empilhamento a partir do final do pátio.
- Desenvolver um modelo considerando sequenciamento de produção, permitindo que o modelo possa considerar cada tipo de produto e não apenas as famílias de produtos. Com isto o modelo se aproxima ainda mais da realidade e possibilita controlar a produção de acordo com a chegada prevista dos navios de cada cliente. Além disso, seria possível determinar políticas de tempo de estocagem para cada tipo de produto.
- Assumir novas premissas e regras que possibilitem novas configurações do pátio.
- Otimização para determinar os níveis de estoque de segurança necessários para amortizar possíveis variações na produção e chegada de navios.
- Aplicar o modelo em outros sistemas que possuam características similares, o que ajudará a comprovar que o modelo pode ser generalizado, bastando adequar às particularidades de outra realidade estudada.

## REFERÊNCIAS

ALFREDINE, P. *Obras e gestão de portos e costas*. Editora Edgard Blucher, Companhia Vale do Rio Doce. 2005

AME, Mineral Economics. Disponível em: <<http://www.ame.com.au/>>. Acesso em: Mar. 2009

ARAÚJO, D. R. *Desenvolvimento de um modelo computacional de otimização e predição do valor de uso de pelotas de minério de ferro na rota redução direta – aciaria elétrica*, Tese de Doutorado, Engenharia Metalúrgica e de Materiais pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica do Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia da PUC-Rio, out. 2007.

BAUSCH D. O. *Scheduling short-term marine transport of bulk products*. Maritime Policy & Management - Online Publication Date: 01 oct. 1998.

BERGER, M. *Aplicação da busca Tabu no gerenciamento de Pilhas em Pátios de Armazenamento de Placas de Aço*. Universidade Federal do Espírito Santo. 2007

BOTTER, R. C. et al. *Análise da utilização de janelas de tempo na chegada de navios e sua influência sobre o desempenho das operações portuárias*. In: CONGRESSO NACIONAL DE TRANSPORTES MARÍTIMOS, CONSTRUÇÃO NAVAL E OFFSHORE, 20., 2004, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: SOBENA, 2004. p. 1 - 11.

BOTTER, R. C. *Introdução às técnicas de simulação e ao programa ARENA*. Apostila do curso oferecido Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

BOYD, B. W. *The Canadian Encyclopedia*. Canadá. Disponível em: <<http://www.thecanadianencyclopedia.com/index.cfm?PgNm=TCE&Params=A1ARTA0004058>>. Acesso em: Fev. 2009.

BUGARIC, U. *Increasing the capacity of terminal for bulk cargo unloading, Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, Belgrade, Serbia*. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 2007.

CAMPOS, D. S. *Integração dos problemas de carregamento e roteamento de veículos com janela de tempo e frota heterogênea* - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2008.

CARDOSO, J.; FARINES, J. M.; CURY, J. E. *Controle de sistemas de manufatura*. Apostila do curso oferecido pelo Curso de Pós-Graduação em Automação Industrial da Universidade Federal de Santa Catarina & Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 1994.

CASSEL, R. A. *Desenvolvimento de uma abordagem para a divulgação da simulação no setor calçadista gaúcho*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996. 133 p.

CHAVES, A. P. . *Teoria e Prática do Tratamento de Minérios*. 3. ed. São Paulo: Editora Signus, 2006. vol. 1. 270 p.

CHOWDHURY, K. H. *Simulation in marine transportation system*. Marine technology, 1989. vol. 26, nº. 1, p. 74-85.

CHWIF, L.; MEDINA, A. *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria & Prática*, São Paulo: Bravarte, 2006.

CUI, L., SYED, M. *The Shifting Structure of China's Trade and Production*. IMF Working Paper, Washington, Sept. 2007. p. 1-29

CUNHA, L.M.S. *et al. Mercado Mundial de Sucata*. BNDES, Gerência Setorial de Mineração e Metalurgia. Nov. 2000. p. 1 – 10.

DEMIRCI, Emrullah, SIMULATION 2003; 79; 94; Simulation Modeling and Analysis of a Port Investment, /society for Modeling and Simulation International (SCS). 2003.

FAGERHOLT, K. *Optimal fleet design in a ship routing problem* - Department of Marine Systems Design, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway - International Transactions in Operational Research 6, 1999. p. 453-464. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/orms>>.

FERNANDES, M. G. *Modelo econômico-operacional para análise e dimensionamento de terminais de contêineres e veículos* – Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2001.

FERREIRA, F.M. *Otimização do projeto de pátios de homogeneização através do método da simulação condicional* – Escola Politécnica da USP, 1989

FERREIRA, F.M.; Chaves, A.P. *Conditional simulation method for design blending piles*. In: Kim, Y.C (e.d.) Application of computer and operational research in the minerals industry, APCOM92, SME/AIME, 1992, ch. 59, p. 615-23.

FIEC - *Federação das Indústrias do Estado do Ceará*. Disponível em: <<http://www.fiec.org.br/>>. Acesso em: Nov. 2008;

FIORONI, M. M. *Estudo estratégico de dimensionamento da infra-estrutura do pátio ferroviário de tubarão através de simulação*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2008

FISCHER, J. F. *Method for making a cone for a rock bit and product* - United States Smith International, Inc. Newport Beach, CA, 1981

*Flender Brasil*. Disponível em: <<http://www.flenderbrasil.com/>>. Acesso em: Mar. 2009.

FORRESTER, J. W. *World dynamics*. Cambridge: Wright-Allen Press, 1971.

FREITAS FILHO, P. J. *Introdução à modelagem e simulação de sistemas*. Florianópolis: Visual Books, 2001.

GEERDES, M. *et al. Modern Blast Furnace Ironmaking*. Verlag Stahleisen GmbH, 2004. p. 17- 32.

GERSTEL, A.W. *Bed Blending theory*. In Wohlbier R.H. Stacking, blending and reclaiming of bulk materials. Clausthal-Zellerfeld, Trans Tech Publications, *Serials on bulk materials*,1, 5. 1977 p. 321–441.

GONÇALVES, G. I. *Perspectivas de integração modal rodo-hidro-ferroviária na exportação de produtos agrícolas e minerais no estado de Mato Grosso do Sul*. Departamento de Transportes da escola de engenharia de São Carlos, 2008

HOLLOCKS, B. *A well-kept secret? simulation in manufacturing industry reviewed*. OR Insight, Warrick , oct./dec. 1992 vol. 5, p. 12 – 17.

IBGE, *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas* – Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: Jan. 2009.

IBRAM, *Instituto Brasileiro de Mineração*, site <<http://www.ibram.org.br>>. Acesso em: maio. 2009.

JOURNEL, A. G 1974 – *Geostatistics for conditional simulation of ore bodies*. *Economic Geology*, 69 5: 673 – 87, aug.

KELTON, W. D. *et al. Simulation with ARENA*. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2002.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A., *Metodologia do trabalho científico*. São Paulo: Atlas, 1991.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. *Simulation modeling e analysis*. 3th ed. New York: McGraw-Hill, 1991.

LAW, A. M.; MCCOMAS, M. G. *How to select simulation software for manufacturing applications*. *Industrial Engineering*, New York, jul. 1992. vol. 24, nº 7, p. 29 – 35.

LEAL FILHO, L.S. *Pesquisa de Metodologias de Monitoramento de Efluentes de Usinas de Tratamento de Minérios*. Relatório FAPESP 93/4230-5. São Paulo, 1994.

LÜDKE, Menga; ANDRÉ, Marli, E. D. A. *Pesquisa em Educação: Abordagens Qualitativas*. Editora Pedagógica e Universitária LTDA. 2005

MARASINI, R. 2000 - *Stockyard layout planning in precast concrete products industry: a case study and proposed framework*, *Construction Management and Economics*. 2001. 19, 365–377

MENEZES, A.; RODRIGUES, L. H. *Breves considerações sobre a flexibilidade e o grau de especialização técnica das ferramentas de simulação computacional*. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 16., 1996, Piracicaba. Anais... Piracicaba: SOBRAPO, 1996.

Ministério dos transportes, disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/>>, Acesso em: Jan. 2009.

MOLCK, P. H. R. *Métodos heurísticos em Programação de atividades em Pátios de Estocagem*. Universidade Estadual de Campinas, 2002

MOSER, R. F. *Simulação e análise de configurações aeroportuárias utilizando visual simmod: aplicação ao aeroporto internacional de São Paulo/Guarulhos* - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007

ONO, R. T. *Modelagem sistêmica e Planejamento Logístico da cadeia de suprimentos de petróleo* – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.

PCQ, *Ports corporation of Queensland*. Disponível em: <<http://www.pcq.com.au/>>. Acesso em: Mar. 2009.

PEGDEN, C. D. et al. *Introduction to simulation using SIMAN*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1995.

PIDD, M. *Computer simulation in management science*. 4th ed. New York: John Wiley & Sons, 1998.

PINSONNEAULT, A.; KRAEMER, K. L., *Survey research methodology in management information systems: an assessment*. Journal of Management Information Systems, 1993. vol. 10, nº. 2, Autumn, p.75-105.

*Portos do Brasil*. Disponível em: <[www.portosdobrasil.gov.br](http://www.portosdobrasil.gov.br)>. Acesso em: Abr. 2009.

POVEROMO, J.J.; SWANSON, A.W. *Iron Bearing Raw Materials*. Direct Reduction Iron. Technology and Economics of Production and Use. ISS. PA, Warrendale, USA, 1999. p. 59 – 79.

RIBEIRO, F. R. *Modelo de Simulação para Análise Operacional de Pátio de Aeroportos*. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, São Paulo. 2003

RIOS, J. L. P. – *Modelos Matemáticos em Hidráulica e no Meio Ambiente no Simpósio Luso-Brasileiro sobre Simulação e Modelação em Hidráulica*. APRH – LNEC. Lisboa,(1986).

RODRIGO, J. *Estudo de Caso: fundamentação teórica* - Vestcon Editora. Disponível em: <<http://www.vestcon.com.br>>. Acesso em: 2008

ROSA, R. de A. *Uma abordagem baseada em negociação de agentes para a resolução do problema de alocação dinâmica de navios em berços de terminais Portuários* - Universidade Federal do Espírito Santo, 2006.

SALIBY, E. *Repensando a simulação: a amostragem descritiva*. São Paulo: Atlas, 1989. São Carlos da Universidade de São Paulo, 2005.

SCHOFIELD, C.J. *Homogeneization / blending systems design and control for minerals processing: With fortran programs*. Clausthal-Zellerfeld, TransTech Publications. 1980. 321 p.

SERRA, J.; Huijbregts, C.; Ivanier, L. *Laws of linear Homogeneization in ore Stock yards*. In International mineral Processing Congress, 11. Proceedings. Cagliari, Instituto di Arte Mineraria, Università de Cagliari, 1975. p. 261 -91.

SHARPE, E. M. *Toward a General Theory of Marketing*. 1. ed. New York: Armonk, 2002. 344 p.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M., *Metodologia de Pesquisa e Elaboração de Dissertação*. Florianópolis : UFSC, PPGE, LED, 2000. 113 p.

SILVA, V. B. *Distribuição modal rodo-ferroviária em uma rede de exportação de açúcar a granel para o porto de Santos* - Escola de Engenharia de

SIMON, H. *The sciences of the artificial*. Cambridge: MIT Press, 1969.

TOLEDO C. F. M. *Um modelo de otimização para o problema integrado de dimensionamento de lotes e programação da produção em fábricas de refrigerantes* - Pesqui. Oper. Rio de Janeiro, jan./abr. 2007. vol. 27 nº. 1.

UNCTAD. *The Iron Ore Market 2007-2009*. 1. ed. Genebra: UNCTAD Publications, 2008. 100 p.

USIMINAS: *Avaliação de Matérias-Primas para Altos-Fornos*, Curso, Outubro, 2000, p. 1-11.

VENTURA, M. M. *O Estudo de Caso como Modalidade de Pesquisa* - Faculdade de Educação da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) – Rio de Janeiro (RJ), Brasil, 2007

WORSLEY, School. Disponível em: <<http://www.worsleyschool.net>>. Acesso em: 2009.

YIN, R. K. *Fourth Edition Case Study Research: Design and Methods*, Publicado por SAGE, 2008.

ZADOR, A.T *Technology and economy of blending and mixing*. Bulk solids, mar. 1991. vol .11, nº. 1. p. 193-208.

ZHAO, Xiaobo 2005, *Storage-sapce capacitated inventory system with (r,Q) Policies* OPERATIONS RESEARCH, sept./oct. 2007. vol. 55, nº. 5, p. 854–865.

## **ANEXO A - Modelo De Simulação**

O modelo de simulação desenvolvido no ARENA 8, foi dividido em três grandes blocos como explicado no corpo do texto. Para facilitar o entendimento da lógica do modelo estes três grandes blocos foram subdivididos da seguinte Maneira:

Bloco 1 – Operação dos navios:

Sub-Bloco 1.1 – Criação de Navios

Sub-Bloco 1.2 – Ordenação dos Navios

Sub-Bloco 1.3 – Atracação dos Navios

Bloco 2 – Carregamento dos navios:

Sub-Bloco 2.1 – Carregamento dos Navios

Sub-Bloco 2.2 – Recuperação de material

Sub-Bloco 2.3 – Cálculo do *Demurrage*

Bloco 3 – Operação de estocar material nos Pátios:

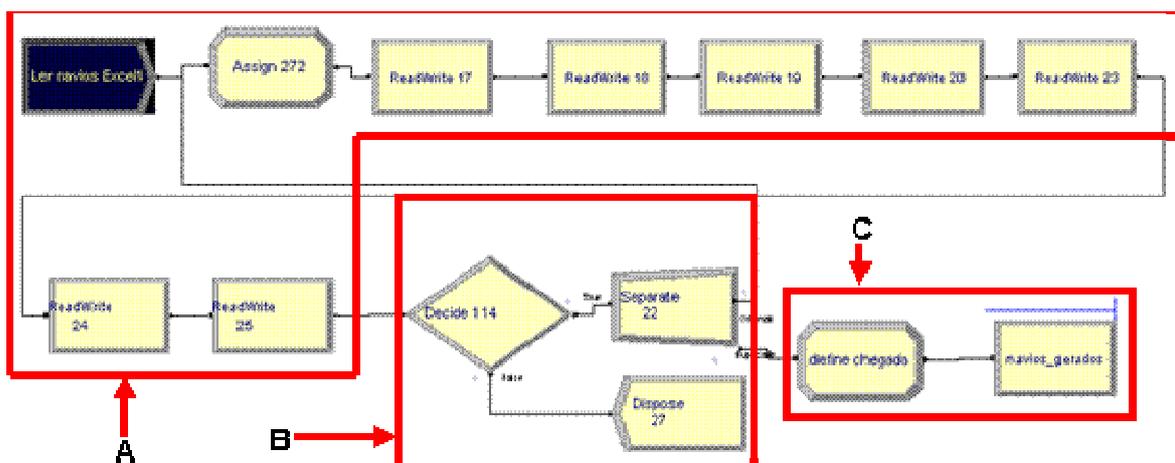
Sub-Bloco 3.1 – Empilhamento de Material

Sub-Bloco 3.2 – Pilha de Emergência

Sub-Bloco 3.3 – Animação do modelo

Estes sub-blocos serão descritos em detalhes abaixo através das telas do modelo desenvolvido em Arena, onde estão destacadas as etapas de cada sub-bloco

### Sub-Bloco 1.1 – Criação de Navios

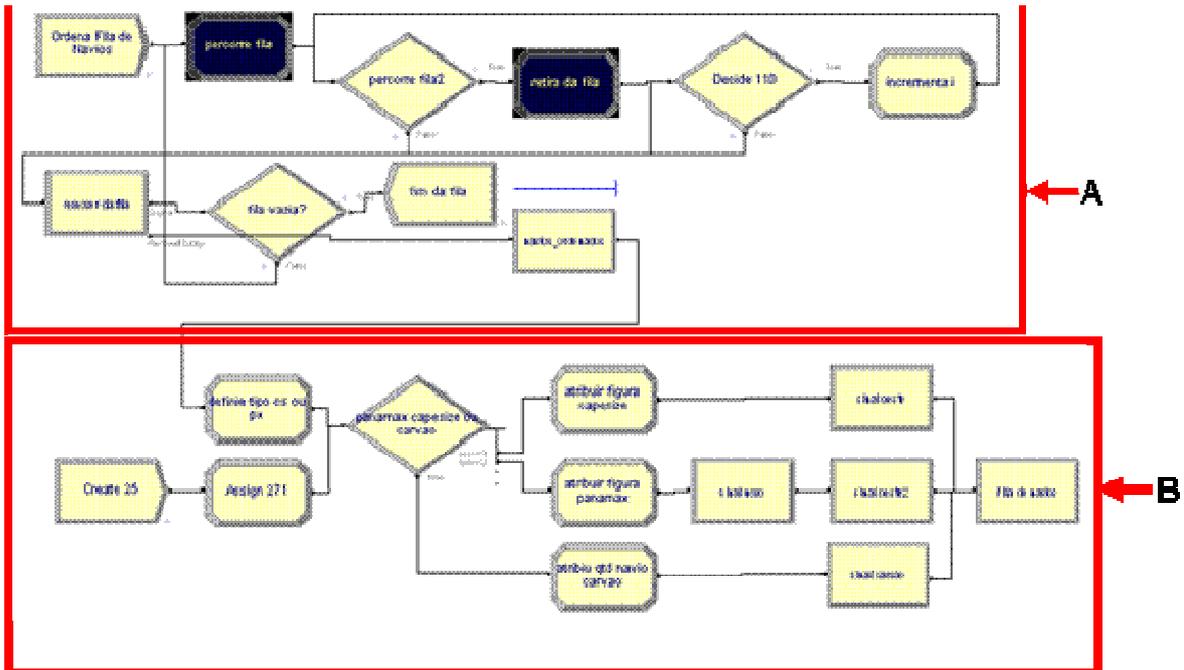


**A** – Nesta etapa são transferidos os dados de entrada de um arquivo Excel para o Arena. Esse arquivo Excel contém os seguintes dados: número do Navio, o tipo de produto que o navio irá levar, o início e o final de cada Laydays, a quantidade de produto que o navio irá embarcar, *loading rate* (que é a taxa de carregamento prevista no contrato) e o *turn time* (que é o tempo permitido em contrato para o porto se preparar após a chegada do navio).

**B** – Verifica se acabou de ler o arquivo ou se ainda existe algum navio a ser lido no arquivo Excel.

**C** – De posse do início e do Fim do Laydays de cada navio é sorteada a chegada do navio a partir de uma curva de distribuição obtida a partir dos dados históricos da empresa, como demonstrado na secção 3.5.1.5.

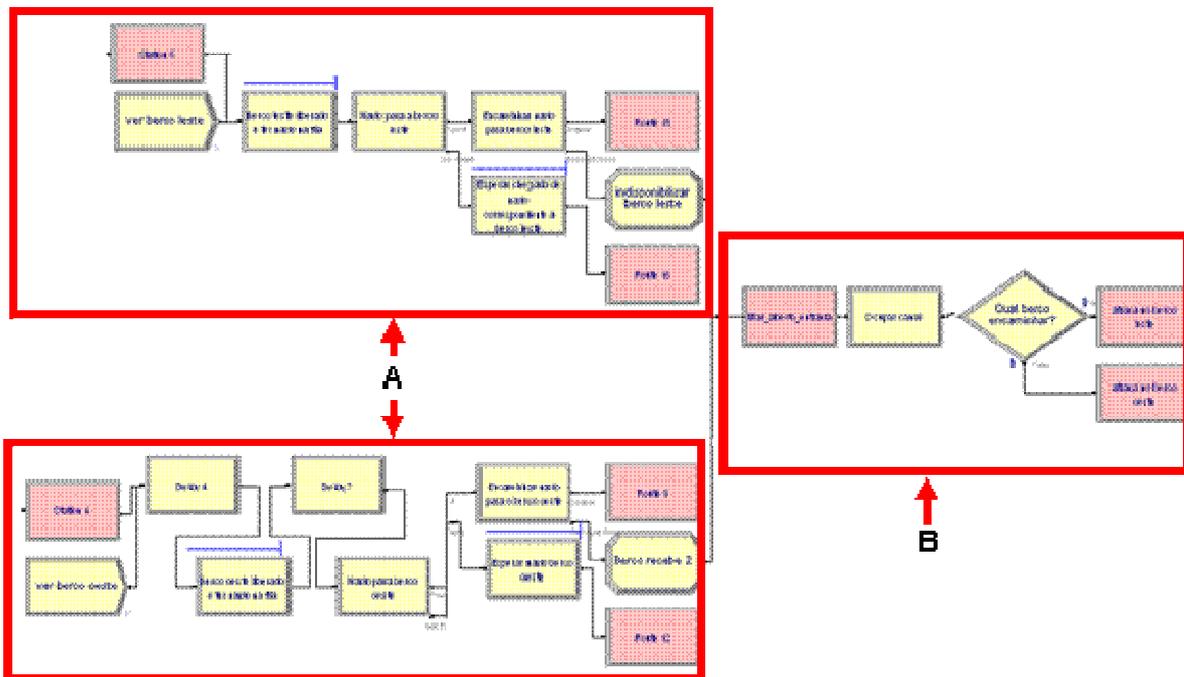
### Sub Bloco 1.2 – Ordenação dos Navios



**A** – Esta etapa ordena os navios criados no sub-bloco anterior através da data de chegada dos navios. A última caixa desta etapa é uma fila de navios ordenados que são liberados para o sistema assim que a hora de chegada dos navios é igual a hora atual do modelo, desta forma é possível simular as chegadas reais no porto, podendo-se observar a formação de filas e a ociosidade do porto em alguns momentos.

**B** – Após serem liberados para o sistema os navios são classificados em relação ao seu tamanho e tipo de carga (navios que vão descarregar insumos são diferenciados dos navios que irão carregar os produtos). E cada um deles recebe uma figura correspondente para que a animação do modelo possa ser mais facilmente entendida.

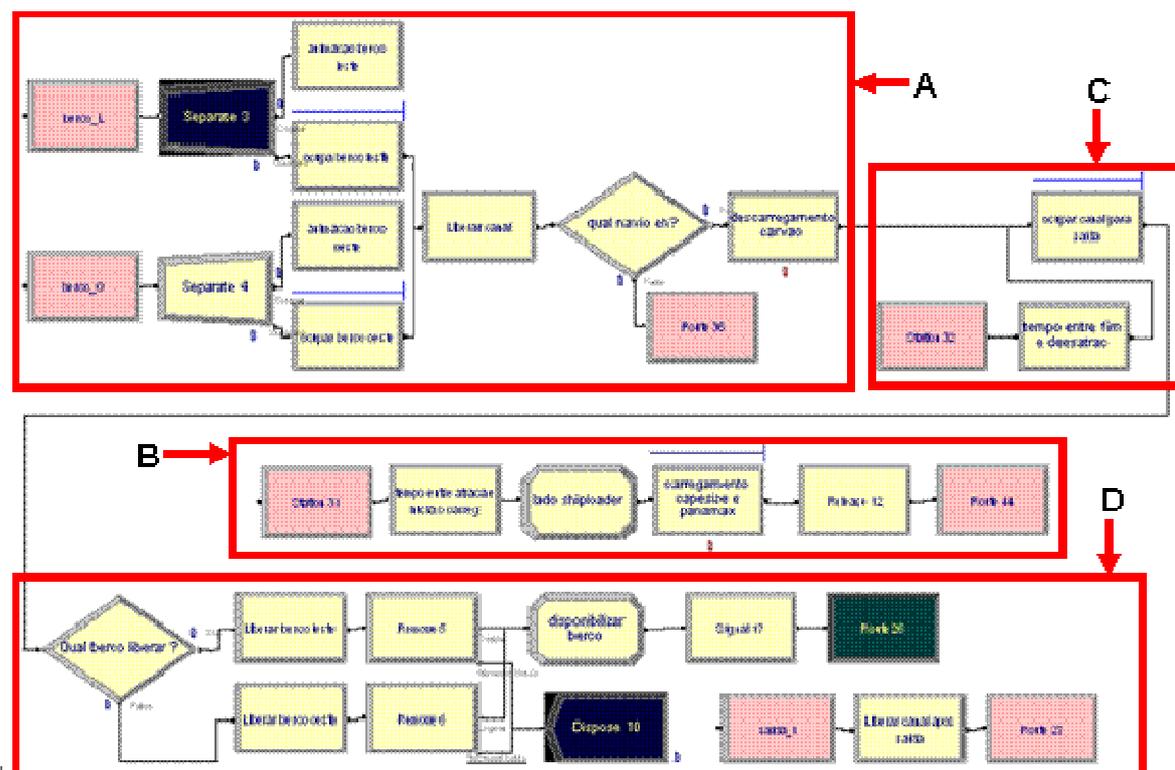
### Sub-Bloco 1.3 – Atracação dos Navios



**A** – Esta etapa é dividida em duas partes, pois cada uma representa um dos berços da empresa. Sendo que esta etapa é responsável por direcionar os navios que chegam ao sistema para os berços correspondentes, e caso os berços já estejam ocupados, o navio aguarda na fila.

**B** - Após a decisão de qual berço será utilizado o navio deve ser deslocado da barra para um dos berços através do canal de acesso. Caso o canal esteja disponível, deve-se ocupá-lo e levar o navio ao respectivo berço.

### Sub-Bloco 2.1 – Carregamento dos Navios



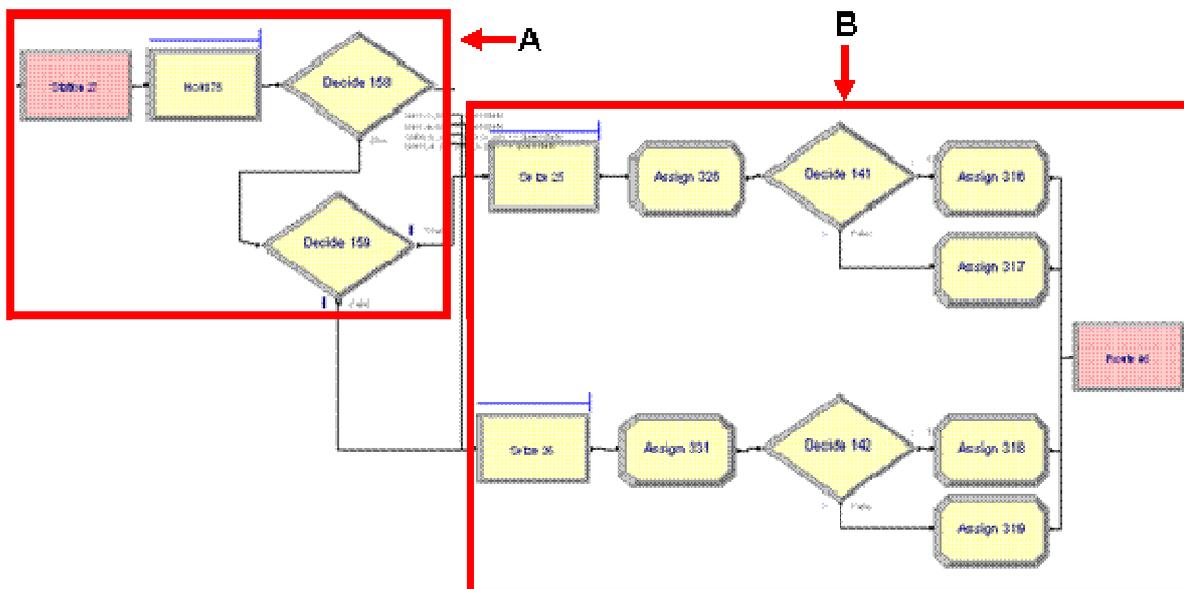
**A** – Nesta etapa o navio após ser atracado no berço correspondente, libera o canal de acesso para que possa ser utilizado novamente. Em seguida faz-se a verificação se o navio deverá carregar um produto ou descarregar um insumo. Caso o navio deva carregar um produto o modelo passa para a etapa B e caso contrário, o navio apenas ocupa o berço por tempo necessário para fazer o descarregamento, sem ocupar os equipamentos do porto e passa para a etapa C.

**B** – Uma vez que o navio atracado irá carregar um produto, é necessário ocupar o carregador de navios, chamado de *shiploader*, e um equipamento que irá retirar o material do pátio e transferi-lo para o carregador de navios. O sub-bloco que demonstrará a lógica da escolha de tais equipamentos será descrito a seguir. Nesta etapa temos apenas os tempos gastos desde o início do carregamento até o final do carregamento.

**C** – Após o fim do carregamento ou descarga do navio, é necessário ocupar o canal de acesso novamente para a saída do navio, sendo que esta operação tem prioridade para ocupar o canal.

**D** – A etapa D é responsável por retirar o navio do berço na animação e fazer com que o navio saia do sistema através do canal, além de recolher os dados necessários para o cálculo do *demurrage*, que será descrito a seguir.

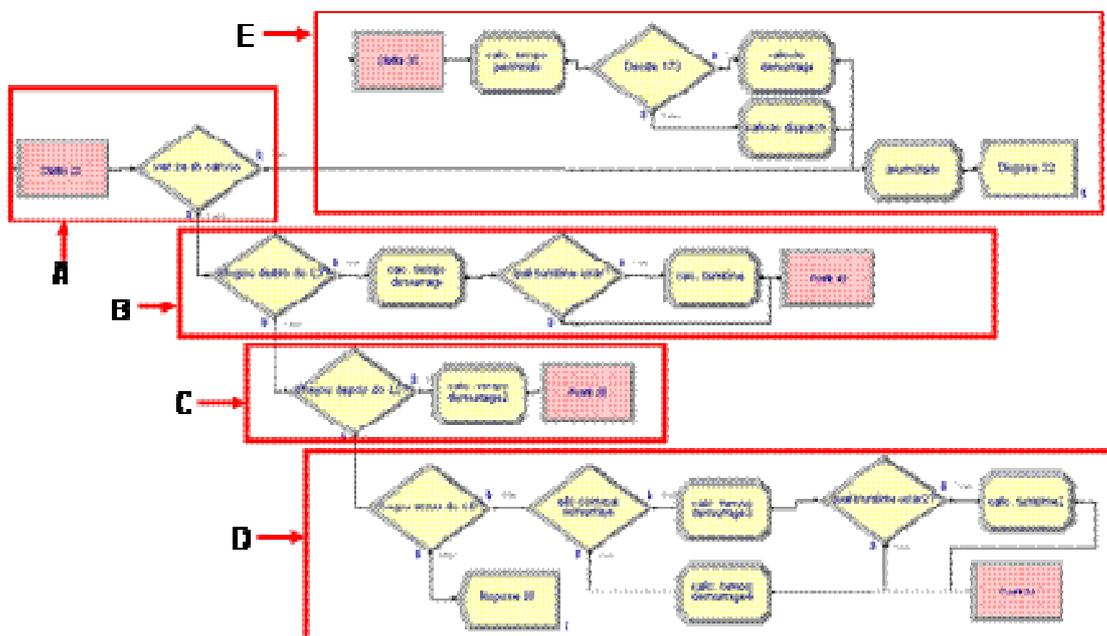
### Sub-Bloco 2.2 – Recuperação de material



**A** – Primeiramente, é necessário saber o local onde está armazenado o material destinado ao navio que irá iniciar o carregamento. Se o material estiver disponível em mais de um local é necessário priorizar o local de onde o material será retirado. De acordo com as regras estabelecidas na secção 3.5.2.

**B** – Em seguida é necessário ocupar o equipamento que fará a retirada do material do pátio e o enviará para o carregador de navios. Esta decisão é feita a cada hora do carregamento, pois durante essa operação é possível trocar o equipamento responsável pela retirada do material do pátio.

### Sub-Bloco 2.3 – Cálculo do Demurrage



**A** - Após ser carregado e sair do canal de acesso é feito o cálculo da multa de sobre-estadia de cada navio chamado de *demurrage*. Esta etapa verifica se o navio que está deixando o sistema é um navio que carregou ou descarregou no porto, pois os navios que descarregam no porto não possuem tais multas.

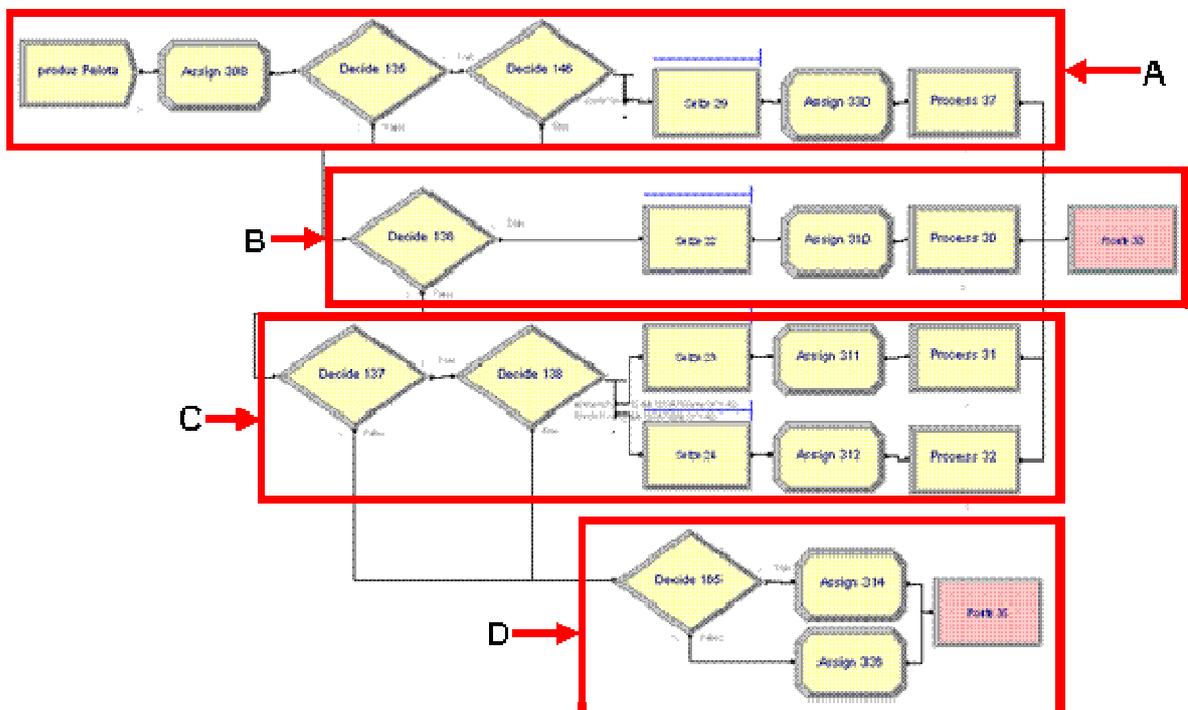
**B** – Caso o navio tenha carregado no porto é necessário verificar se o mesmo chegou antes, durante ou depois de seu *Laydays*. Nesta etapa são tratados os navios que chegaram durante o *Laydays*. Para esses navios o tempo em demurrage começa a contar na sua chegada. É necessário ainda saber se o navio utilizou o *turn time* totalmente ou parcialmente. Para isto, deve-se verificar se o tempo entre a chegada e a atracação do navio é maior que o *turn time*, caso afirmativo sabe-se que o mesmo utilizou o *turn time* total.

**C** – Para os navios que chegam depois do *Laydays*, o tempo em demurrage inicia no início do carregamento dos navios, não importando assim o *turn time*.

**D** – Para os navios que chegaram antes do *Laydays*, o tempo em *demurrage* começa a contar no início do carregamento. E caso o navio atraque durante ou depois do *Laydays* o tempo em *demurrage* começa a contar no início do *Laydays* do navio, sendo necessário ainda verificar a utilização do *turn time*.

**E** – De posse das informações de tempo em *demurrage* e uso do *turn time* verifica-se se o tempo utilizado é maior que o tempo permitido em contrato. Caso afirmativo, então o valor do *demurrage* é calculado através do valor da multa estabelecida em contrato. Se o tempo utilizado for menor que o permitido então se tem um prêmio que também é calculado com base nos valores estabelecidos em contrato. Geralmente o prêmio diário equivale à metade do valor da multa diária.

### Sub-Bloco 3.1 – Empilhamento de Material



**A** – Esta etapa verifica qual o produto a ser empilhado. Se o empilhamento for de pelotas, então é verificada a disponibilidade de espaço no pátio B e caso afirmativo, verifica-se a disponibilidade da *Stack-Reclaimer*, único equipamento capaz de empilhar no pátio B. Caso o produto seja *Pellet-feed* é verificada a disponibilidade de espaço no pátio A e a disponibilidade da empilhadeira 1 que é o equipamento prioritário para o empilhamento de *Pellet-feed*.

**B** – Caso o produto a ser empilhado seja Pelota e o Pátio B não tenha espaço ou não tenha equipamento disponível, verifica-se a disponibilidade de espaço no pátio C com o empilhamento através da empilhadeira 2.

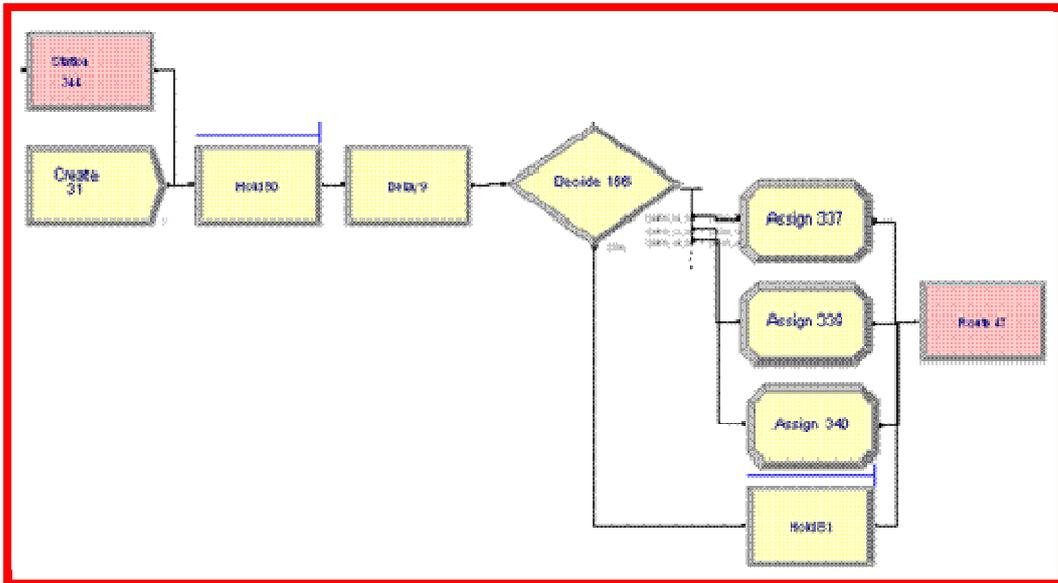
**C** – Se nos pátios B e C não tiverem espaço então se verifica a possibilidade de empilhamento das pelotas no pátio A através da *Stack-Reclaimer* e por último verifica a possibilidade de empilhar as pelotas através da empilhadeira 1. Caso esta última opção seja utilizada, é necessário transferir a produção da usina 3 para a pilha de emergência, pois devido a questões logísticas não é possível empilhar material da usina 3 de pelotização através da empilhadeira 1.

No caso do *Pellet-feed* caso a empilhadeira 1 não esteja disponível tenta-se utilizar a *stack-reclaimer* para empilhar o material no pátio A, caso não seja possível a produção é descartada.

**D** – Se nenhum dos equipamentos ou pátios está disponível para o empilhamento das pelotas daquela hora as mesmas são enviadas para a pilha de emergência se esta pilha tiver capacidade disponível. Caso contrário a produção de pelotas daquela hora é descartada.

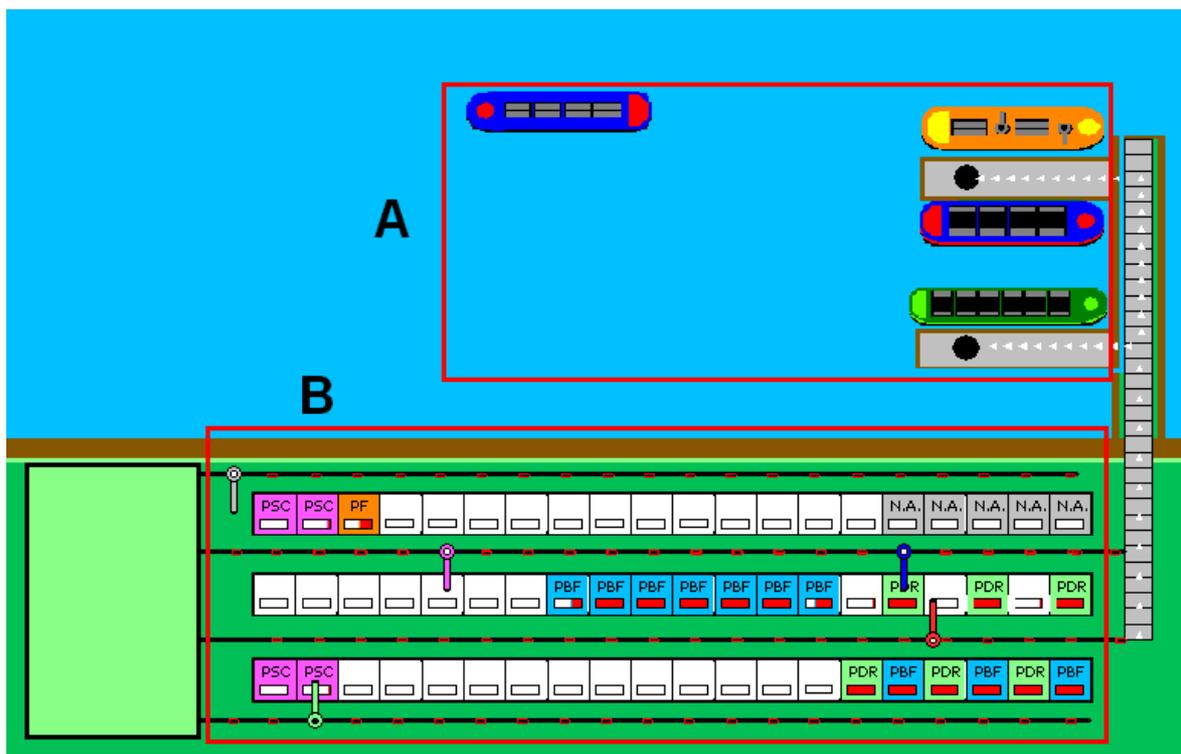
Na prática caso não haja nenhum equipamento, pátio ou a pilha de emergência para empilhar o material, as usinas são desligadas. A parada repentina das usinas de pelotização gera grandes prejuízos, pois equipamentos podem se danificar durante a parada ou retomada de produção, além dos custos para religar as usinas. Por este motivo é altamente indesejável que este tipo de evento aconteça, podendo o mesmo ser utilizado como uma métrica para medir a eficiência de um cenário.

### Sub-Bloco 3.2 – Pilha de Emergência



**A** – É verificado se existe material na pilha de emergência então este material é retirado da pilha e transportado para os pátios de estocagem através de caminhões. Toda vez que as pelotas são enviadas para a pilha de emergência são adicionados custos extras, pois todo material é retirado da pilha de emergência através de caminhões, que têm um custo muito mais alto que correias transportadoras. Por este motivo o volume enviado para emergência durante o ano poderá ser utilizado como métrica para avaliar o desempenho de cada cenário.

### Sub-Bloco 3.3 – Animação do modelo



**A** – Nesta parte da animação pode-se observar a fila de navios e os navios que estão carregando / descarregando nos berços. Os navios azuis representam os navios com capacidade de carregar até 75.000 toneladas (navios panamax, que na figura encontra-se na fila e carregando no berço Oeste). Em verde os navios com capacidade de carregar até 200.000 toneladas (navio que está carregando no novo berço, que é o berço de baixo da figura). Em amarelo são representados os navios de insumos que apenas descarregam no porto (navio atracado no berço Leste, berço representado na parte superior da figura).

**B** – Aqui é possível observar os equipamentos do pátio além do nível estoque de cada produto em cada pátio e a ocupação dos pátios. Quando os equipamentos apresentam falhas ou estão em manutenção preventiva a figura do mesmo aparece marcada com um “X”.