

TATIANE SOUZA KAKUNAKA

ESTUDO DE REDUÇÃO DE GASTOS COM DEMURRAGE E FRETE
MORTO PARA O CASO DE UMA EMPRESA EXPORTADORA DE
CELULOSE

SÃO PAULO

2009

TATIANE SOUZA KAKUNAKA

**ESTUDO DE REDUÇÃO DE GASTOS COM DEMURRAGE E FRETE MORTO
PARA O CASO DE UMA EMPRESA EXPORTADORA DE CELULOSE**

Trabalho de formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Diploma de
Engenheiro de Produção

São Paulo

2009

TATIANE SOUZA KAKUNAKA

**ESTUDO DE REDUÇÃO DE GASTOS COM DEMURRAGE E FRETE MORTO
PARA O CASO DE UMA EMPRESA EXPORTADORA DE CELULOSE**

Trabalho de formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Diploma de
Engenheiro de Produção

Orientador:
Hugo Tsugunobu Yoshida Yoshizaki

São Paulo
2009

Aos meus pais, Getúlio e Elisabete, e às minhas irmãs Priscila e Danielle.

AGRADECIMENTOS

Aos professores do Departamento de Engenharia de Produção e em especial ao Professor Hugo T. Y. Yoshizaki, pelo apoio e aprendizado durante a graduação e orientação neste Trabalho de Formatura,

aos meus amigos Paulo José S. C. Borges, Gustavo C. F. Ferreira, Cheng Hsiang Yu e Sandro R. de Almeida por todo apoio, sugestões e orientação durante o estágio e neste Trabalho de Formatura,

ao Cypriano de Toledo pela oportunidade de estágio e realização deste trabalho na Suzano Papel e Celulose,

ao amigo Pablo Cezar Urbieto pela ajuda e dicas,

ao meu namorado Jun Ilyt T. Normanha, por todo o apoio,

os meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

A matéria prima do papel, a celulose de mercado é tratada como uma “*commodity*” no mercado de papel e celulose, dado o seu baixo grau de industrialização e a qualidade quase uniforme. Neste mercado, no qual a diferenciação entre os produtos é mínima e a produção e comercialização é feita em grandes quantidades, os clientes são sensíveis a preço e a vantagem de custo é o principal meio de ganhar mercado. Para o caso da empresa produtora de celulose abordada neste trabalho, cujo principal destino de suas vendas é a exportação, foi identificada a incidência de elevados custos de espera por sobreestadias de navios no porto (*demurrage*) e custos de frete morto (pagamento do frete de embarques cancelados), realizados por meio de multas, em função de problemas logísticos em seu canal de *outbound* da cadeia de suprimentos. O presente trabalho de formatura tem como objetivo estudar a estrutura da cadeia de suprimentos desta empresa, suas estratégias de vendas e de operação, para analisar os fatores que têm gerado esses custos e identificar meios para a redução ou eliminação dos mesmos. A metodologia escolhida para este estudo foi a construção de um modelo para simulação computacional da operação desse sistema. A modelagem e simulação computacional permitem a representação e a posterior análise de toda a complexidade, aleatoriedade e dinâmica das operações do canal logístico de *outbound* da empresa. Através da simulação, é possível realizar experimentos, mediante a alteração das variáveis de estado, tais como manutenção de estoques e perfil de embarques, observar e estudar o comportamento e respostas do sistema. Após avaliar diversos cenários, foi eleita a alternativa factível de menor custo com *demurrage* e frete morte como possível solução.

Palavras-Chave: 1. Logística. 2. Cadeia de Suprimentos. 3. Simulação de Sistemas. 4. Indústria de Celulose e Papel.

ABSTRACT

The paper raw material, market pulp is treated as a commodity in the pulp and paper market, due to its low level of industrialization and almost uniform quality. In this market, where product differentiation is minimum and the production and trade are done in large quantities, customers are price sensitive and cost is the main competitive advantage to success in the market. In the case of the pulp production company discussed in this project, that exports represents almost all of its sales, we identified the incidence of high demurrage costs (vessels waiting for cargo in the port) and dead freight costs (freight payment for canceled shipments), due to logistical problems in company's outbound supply chain. The main objective of this graduation project is to study the structure of the company's supply chain, its sales strategies and operations, to analyze the factors that have been causing such costs and identify solutions for reducing or eliminating those costs. The methodology chosen for this study was the creation of a computer modeling to simulate the system operation. By the modeling and the computer simulation it was possible to perform and also analyze all the complexity, randomness and dynamics of the company's outbound logistics operations. Through simulation, experiments could be performed by changing the state variables, such as maintaining inventories and shipments quantities, and we were capable to observe and study the system behavior and responses. After evaluating several scenarios, a feasible alternative of lower death freight and demurrage costs was elected as a possible solution.

Key-words: 1. Logistics; 2. Supply Chain. 3. Systems Simulation. 4. Pulp and paper industry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Etapas do método de condução da simulação computacional	37
Figura 2 - Processo de fabricação da celulose.....	43
Figura 3 – Principais etapas do processo de produção de celulose	44
Figura 4 - Canal logístico de <i>outbound</i> da cadeia de suprimentos de celulose da Suzano Papel e Celulose.....	47
Figura 5 - Rota da cidade de Mucuri, BA até o Porto de Barra do Riacho, ES.....	49
Figura 6 – Diagrama de Ishikawa para análise das principais causas do problema de demurrage e frete morto.....	51
Figura 7 - Interface gráfica do modelo	68
Figura 8 - Fluxo dos units de celulose no modelo	69
Figura 9 - Lógica para carregamento dos caminhões e destinos dos units na doca	70
Figura 10 - Fluxo de entrada e saída dos caminhões no modelo	70
Figura 11 - Fluxo dos navios no modelo e lógica para determinar o volume de embarque e dia dos lay days de chegada no porto	71

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Produção diária de celulose (tons) na Unidade de Mucuri de Jan/08 à Jul/09.....	56
Gráfico 2 - Produção diária durante o ano de 2008.....	57
Gráfico 3 - Histograma da produção diária de celulose (tons) na Unidade de Mucuri de Jan/08 à Jul/09 e aderência da distribuição $Beta(3,21; 1,46)*5.330$ aos dados.	58
Gráfico 4 – Quantidade de units de celulose em Portocel ao longo do ano simulado na Rodada 4	86
Gráfico 5 - Quantidade de units de celulose em Mucuri ao longo do ano simulado na Rodada 486	
Gráfico 6 – Total de vendas mensais para o mercado interno e tendência de crescimento da venda de celulose EP.....	94
Gráfico 7 - Histograma e aderência da distribuição Gama ao perfil de vendas diárias do MI.....	95
Gráfico 4 – Tratamento dos dados das colunas de 1 a 4 da Tabela 13 no.....	96
Gráfico 5- Resultado do tratamento dos dados da coluna 5 da Tabela.....	97
Gráfico 6 - Resultado do tratamento da coluna 6 da Tabela 13.	97
Gráfico 7 - Resultado do tratamento da coluna 7 da Tabela 13.	97
Gráfico 8 - Teste de aderência à curva normal para embarques EUR 1. EUR 2. MED 1 e MED 2	98
Gráfico 9 - Teste de aderência à curva normal para embarques ASIA 1. ASIA 2 e EUA.....	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Siglas de cada um dos embarques realizados mensalmente, com designação dos destinos, lay days e armador de cada um deles	63
Tabela 2 – Distribuições de probabilidade para as quantidades de cada um dos embarques.....	66
Tabela 3 - Distribuições de probabilidade para o dia dos lay days de chegada do navio no porto	67
Tabela 4 – Parâmetros da Rodada 1	77
Tabela 5 - Parâmetros da Rodada 2.....	77
Tabela 6 - Parâmetros da Rodada 3.....	77
Tabela 7 - Parâmetros da Rodada 4.....	78
Tabela 8 - Parâmetros da Rodada 5.....	78
Tabela 9 - Parâmetros da Rodada 6.....	78
Tabela 10 - Parâmetros da Rodada 7.....	79
Tabela 11 - Parâmetros da Rodada 8.....	79
Tabela 12 - Parâmetros da Rodada 9.....	79
Tabela 13 - Parâmetros da Rodada 10.....	80
Tabela 14 - Parâmetros da Rodada 11.....	80
Tabela 15 - Parâmetros da Rodada 12.....	80
Tabela 16 - Parâmetros da Rodada 13.....	81
Tabela 17 - Parâmetros da Rodada 14.....	81
Tabela 18 - Parâmetros da Rodada 15.....	81
Tabela 19 - Resumo dos resultados obtidos nas rodadas de simulação.....	84
Tabela 20 - Soma dos custos de demurrage e frete morto para cada um dos anos e destaque para o mínimo deles (em MM US\$).....	84
Tabela 21 – Comparação das capacidades de armazenagem e gastos com demurrage nas rodadas	87
Tabela 22 - Volume a ser transportado por ano para a América do Norte.....	91
Tabela 23 - Volume a ser transportado por ano para o Mediterrâneo	91
Tabela 24 - Volume a ser transportado por ano para a Ásia.....	91
Tabela 25 - Volume a ser transportado por ano para Europa do Norte.....	91
Tabela 26 - Fretes em US\$/t por ano contratados com a Westfal para EUA	92

Tabela 27 - Fretes em US\$/t por ano contratados com a Westfal para o Mediterrâneo	92
Tabela 28 – Fretes US\$/t por ano contratados com a SAGA para o Norte da Europa.....	92
Tabela 29 - Fretes US\$/t por ano contratados com a SAGA para a Ásia.....	93
Tabela 30 - Quantidades embarcadas mensalmente para cada uma das rotas contratadas no período de janeiro de 2008 à Agosto de 2009 (em toneladas).....	93
Tabela 31 - Dia de chegada no porto de cada um dos embarques mensais registrados.	94
Tabela 32 - Total de vendas mensais para o mercado interno no período de 1/01/2008 a 19/10/2009 e percentual de vendas de celulose EP.	95
Tabela 33 - Dia dos lay days de chegada do navio no porto	96
Tabela 34 - Resultados da rodada 4.....	105

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UNC –	Unidade de Negócio de Celulose da Suzano Papel e Celulose
FOB –	Free on Board
GSC –	Gerenciamento da cadeia de suprimentos
SCM –	Supply Chain Management
CSCMP –	Council of Supply Chain Management Professionals
CLM –	Council of Logistics Management
EP –	Extra Prime
P –	Prime
P1 –	Prime 1
OG –	Out of grade
MEAD –	Mead Paper
S –	Super
ECF –	Elemental Chlorine Free
MI –	Mercado Interno
ME –	Mercado Externo
L1 –	Linha 1
L2 –	Linha 2
HR –	Horas
MIN –	Minutos

LISTA DE SÍMBOLOS

t	Toneladas
h	Hora
γ	Gama
β	Beta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	15
INTRODUÇÃO	15
1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Introdução	16
1.2 A empresa	17
1.3 Diagnóstico da situação atual	18
1.4 Definição do problema	19
1.5 Objetivos do estudo	19
1.6 Escopo do estudo	20
1.7 Importância do estudo	21
CAPÍTULO 2	23
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	23
2 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	24
2.1 Importância do gerenciamento da cadeia de suprimentos	24
2.2 Aplicação da modelagem e simulação para análise da cadeia de suprimentos	27
2.3 O conceito de simulação	29
2.4 As vantagens e desvantagens da simulação	31
2.5 Principais elementos de um Modelo de Simulação	32
2.5.1 Modelo	32
2.5.2 Entidade	33
2.5.3 Atributo	33
2.5.4 Recurso	33
2.5.5 Processo	33
2.5.6 Evento	33
2.5.7 Decisão	34
2.5.8 Cronograma	34
2.5.9 Acumuladores	34
2.5.10 Relógio	34

2.5.11	Aquecimento.....	34
2.5.12	Replicação	34
2.5.13	Rodada	35
2.6	O Software de simulação: ProModel.....	35
CAPÍTULO 3		36
METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO		36
3	METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO	37
3.1	Formulação e análise do problema:	38
3.2	Identificação das variáveis:	38
3.3	Coleta de dados.....	39
3.4	Construção do modelo	39
3.5	Validação e verificação	40
3.6	Simulação	41
3.7	Análise dos resultados	41
CAPÍTULO 4		42
DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO		42
4	DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO.....	43
4.1	Introdução ao processo de fabricação de celulose.....	43
4.2	Classificação da Celulose de Mercado	45
4.3	Descrição do canal logístico de <i>outbound</i> da cadeia de suprimentos de celulose	47
4.4	Formulação e análise do problema	50
4.4.1	Incertezas Inerentes ao processo.....	51
4.5	Identificação das variáveis.....	54
4.6	Levantamento e análise de dados	54
4.6.1	Análise dos dados de Produção	55
4.6.2	Análise do tempo entre a saída dos fardos da enfardadora até a armazenagem	59
4.6.3	Análise da Desagregação de celulose de mercado	60
4.6.4	Análise das vendas para clientes do Mercado Interno (Brasil)	61
4.6.5	Análise do escoamento	62
4.6.6	Análise dos embarques	62
4.7	Construção do modelo	67

4.7.1	Entidade	68
4.7.2	Produção	69
4.7.3	Caminhões	70
4.7.4	Navios	71
4.8	Validação e verificação	73
4.9	Simulação	74
4.9.1	Etapa 1: Observação de como se comporta o sistema real	74
4.9.2	Etapa 2: Geração de cenários alternativos	74
CAPÍTULO 5		82
RESULTADOS		82
5	RESULTADOS	83
CAPÍTULO 6		88
CONCLUSÃO		88
6	CONCLUSÃO	89
Anexo I – Dados de entrada		91
Anexo II – Tratamento estatístico dos dados de entrada e distribuições de probabilidade		94
Anexo III – Modelo computacional na linguagem de programação do Software ProModel		99
Anexo IV – Dados de saída do resultado analisado		105
BIBLIOGRAFIA		107

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

1.1 Introdução

As condições de vida da população de um país estão intrinsecamente ligadas ao funcionamento da economia do mesmo. Em uma economia saudável, as empresas atuantes têm uma lucratividade positiva, o que as mantém em funcionamento, garante o emprego da população, o consumo e a continuidade dos mercados econômicos.

Conforme ressalta BESANKO (2006), “a lucratividade econômica de uma empresa dentro de um mercado em particular depende da atratividade ou inatratividade econômica do mercado no qual a empresa concorre e de sua posição competitiva nesse mercado”. O posicionamento dela no mercado pode ser de vantagem ou desvantagem competitiva, dependendo da capacidade da empresa em ser mais ou menos bem sucedida que suas rivais em criar valor econômico.

O valor econômico criado, segundo BESANKO (2006) é a diferença entre o benefício percebido pelo consumidor e o custo incorrido na fabricação e disposição do produto ao consumidor e o lucro do produtor é a diferença entre o preço e o custo.

De acordo com PORTER (1989), o Valor é criado à medida que as atividades da cadeia vertical da empresa adicionam valor ao produto. Compõem a cadeia de valor da empresa cinco atividades primárias: Logística interna, operações de produção, logística externa, marketing e vendas e Serviços, além das atividades de apoio.

Observa-se assim, que as atividades de Logística externa são extremamente importantes para a criação de valor e, conseqüentemente, para a lucratividade da empresa. BALLOU (2001) ressalta que, à exceção do custo de bens adquiridos, o transporte absorve, em média, a porcentagem mais elevada de custos do que qualquer outra atividade logística.

A bibliografia indica duas alternativas ao posicionamento da empresa para concorrer no setor em que atua: vantagem de custo ou/e vantagem de benefício. Para mercados nos quais a diferenciação entre os produtos é mínima e nos quais os consumidores são sensíveis a preços, como os setores de *commodities*, modestos cortes nos preços permitem expressivos aumentos de participação no mercado e a vantagem de custo torna-se muito importante.

Os dados da FUNCEX (Fundação Centro de Estudos do Comércio Exterior) revelam que as *commodities* representaram cerca de 37% do total das exportações brasileiras realizadas em 2008 (Em US\$ milhões FOB).

Diante disso, verifica-se que a busca por meios de redução de custos, através do estudo de certos custos logísticos, para uma empresa brasileira de exportação de *commodities* como a que é aqui abordada, pode trazer alternativas benéficas para a eficiência das operações da mesma.

1.2 A empresa

A empresa abordada neste trabalho é a Suzano Papel e Celulose, na qual a autora deste trabalho faz estágio na área de Planejamento Integrado da Unidade de Negócio de Celulose, que é responsável pelo planejamento de demanda, produção e distribuição de celulose para exportação.

A Suzano Papel e Celulose foi fundada em 1924 como um pequeno negócio familiar de revenda de papéis. Com o passar dos anos a empresa inicia seu processo de integração a montante investindo na produção de papel em larga escala e, na década de 50, a Companhia passa a ser a primeira produtora a nível mundial a utilizar a celulose de eucalipto em escala industrial.

As aquisições da companhia Bahia Sul e de 50% da Ripasa Papel e Celulose, somadas aos investimentos nas fábricas de Suzano e Mucuri resultaram em uma empresa que hoje detém de uma área de 175 mil hectares empregados no plantio de eucalipto, que é destinado à produção de 1,15 milhão de t/ano de papel e, aproximadamente, 1,7 milhão de t/ano de celulose de mercado.

A Suzano possui cinco unidades industriais. As unidades de Mucuri, no sul da Bahia, de Suzano, no interior de São Paulo e da Ripasa, em Americana, SP (da qual detém 50% do capital), são fábricas integradas produtoras de celulose e papel – sendo Mucuri a maior delas. As Unidades de Embu e Rio Verde, sediadas em São Paulo são fábricas não integradas de produção de papel.

Com cinco escritórios espalhados pelo mundo, a Companhia faturou, em 2008, R\$ 4,1 bilhões, dos quais 31% foram oriundos da exportação de celulose para uma ampla base de clientes em mais de 47 países.

As vantagens competitivas da Suzano, como baixos custos de produção, e reputação de qualidade e serviços superiores, aliadas a outros fatores econômicos têm favorecido o crescimento da demanda mundial de celulose de eucalipto. Diante disso, a empresa anunciou em 2008 projetos de expansão (como novas unidades no Maranhão e no Piauí), ampliação e modernização das operações, que visam o crescimento da capacidade anual de produção de celulose em 4,3 milhões de toneladas e a capacidade total de produtos passará a 7,2 milhões de toneladas por ano de papel e celulose até 2015.

1.3 Diagnóstico da situação atual

A Suzano Papel e Celulose, atualmente, está posicionada entre as maiores produtoras verticalmente integradas de papel e celulose da América Latina. Em 2008, 2,5 milhões toneladas de papel e celulose foram comercializados. Das 1,3 MM de toneladas das vendas de celulose, 82,5% foram destinadas ao mercado externo, representado por 120 clientes em 47 países; e das 1,2 MM ton de papel, 43% destinou-se a exportação para mais de 400 clientes em 60 países.

Para atender a essa diversidade de clientes posicionados em diferentes países, a empresa se utiliza principalmente dos modais rodoviário para clientes no Brasil e na América Latina, e o modal aquaviário para atender às demandas na América do Norte, Europa, Ásia, América Central e, eventualmente, América Latina.

Para transporte rodoviário, a Suzano trabalha com diversas transportadoras terceirizadas. Essas transportadoras atendem tanto o transporte dos produtos para o cliente final como o escoamento das cargas para os portos. Os portos utilizados para embarque, atualmente, são: Portocel na Barra do Riacho, ES, Porto de Vitória, ES e o porto de Santos, SP. Como modal aquaviário utiliza-se para a exportação de papel somente o transporte via contêineres, enquanto o transporte de celulose é feito tanto por contêineres quanto por cargas *break-bulk*.

Cada embarque via contêiner, para determinado volume e destino, exige a realização de uma cotação de fretes entre os principais armadores que prestam serviços a Suzano. A contratação da melhor oferta é pontual e não há severo controle sobre o nível de serviço. Esses embarques são realizados pelos portos de Santos, no caso de produtos originados das unidades

fabris do interior de São Paulo, e pelo Porto de Vitória, no caso de exportação de celulose e papel produzidos na fábrica de Mucuri, na Bahia.

Os transportes de carga *break-bulk* atendem somente às exportações de celulose produzidas em Mucuri e são feitos através de Portocel por dois armadores contratados pela empresa: a Saga Forest Carriers e a Westfal-Larsen Shipping. Os contratos assinados com cada uma delas especificam uma série de responsabilidades e direitos de cada uma das partes, que tornam a transação bastante restritiva.

Duas importantes características abrangidas nestes contratos e que são muitas comuns aplicadas ao descumprimento de um contrato de transporte marítimo são: o *demurrage* ou sobrestadia, que se refere a uma “penalidade líquida devida pelo afretador ao armador pelo fracasso daquele em carregar ou descarregar a mercadoria dentro de um determinado período” (SANTOS, 2009), e o *dead freight* ou frete morto, que representa a cobrança do valor do frete (menos as despesas de carga e descarga) pelo armador, nas situações em que o afretador cancele parcial ou totalmente o embarque da carga.

1.4 Definição do problema

O problema abordado neste trabalho se refere à busca, por parte a empresa, por identificar meios de reduzir ou eliminar os gastos incorridos anualmente com o pagamento de multa de *demurrage* e frete morto aos armadores de carga *break-bulk* contratados.

Dada a sua estrutura da cadeia de suprimentos e suas estratégias de vendas e de operação, a empresa precisa analisar os fatores que têm gerado esses custos de *demurrage* e frete morto e buscar soluções eficazes para a redução dos mesmos, considerando os aspectos contratuais estabelecidos com armadores e portos marítimos e a viabilidade econômica das opções.

1.5 Objetivos do estudo

O objetivo deste trabalho é analisar os fatores que interferem no planejamento de embarques de celulose nos navios de transporte de cargas *break-bulk*, realizado pela empresa de

papel e celulose aqui abordada. A partir desta análise, objetiva-se a identificação ou desenvolvimento de meios e soluções relacionadas ao processo de planejamento, estrutura da cadeia de suprimentos (limitada ao canal logístico de *outbound* da cadeia) quanto às capacidades de escoamento, armazenamento e outras, considerando as restrições legais e econômicas impostas à empresa.

1.6 Escopo do estudo

O estudo desenvolvido neste trabalho delimita-se aos processos realizados pelas áreas diretamente envolvidas no planejamento de logística, distribuição e produção de celulose de mercado produzida na Unidade de Mucuri, utilizando para embarque os armadores já contratados.

Não serão relevantes para este estudo os processos e aspectos de transportes marítimos realizados para exportação de papel ou de celulose proveniente das unidades produtivas de São Paulo e destinadas à exportação através do porto de Santos, via contêiner.

Também não serão analisados quaisquer aspectos, influências ou impactos relacionados às unidades de produção ainda em construção (Maranhão, Piauí e outra ainda não determinada pela empresa).

As razões para a restrição do escopo do trabalho incluem:

- Os custos de *demurrage* e frete morto a serem analisados são intrinsecamente relacionados aos termos estabelecidos nos contratos com os armadores, que são específicos para o transporte da celulose de Mucuri, a partir de Portocel ou do Porto de Vitória, para os portos destinos estabelecidos em contrato. Assim, os itens acima mencionados como não abrangidos pelo estudo, não têm influencia relevante sobre o estudo.
- Alguns aspectos são dados como restrições pela empresa, visto que podem não ser de seu interesse estratégico e ainda podem tornar a análise por demais

complexa e não trazer resultados satisfatórios para implantação em curto ou médio prazo.

1.7 Importância do estudo

A abordagem do problema a ser analisado neste trabalho apresenta-se bastante relevante, pois permitirá a empresa identificar cursos de ação que proporcionem uma melhor eficiência de suas operações logísticas.

Conforme mencionado anteriormente, os custos logísticos representam um dos principais elementos de custo para muitas empresas. Estima-se que, em 2008, a Suzano Papel e Celulose tenha gastado cerca de R\$ 405 MM com fretes e custos associados. Os gastos com *demurrage* e frete morto somaram cerca de R\$ 9 MM. Este montante compõe uma despesa que não agrega nenhum valor ao produto. Logo, os administradores da empresa, objetivam a sua eliminação.

No ano de 2008 foi a primeira vez, em 84 anos de história, que os gastos com *demurrage* e frete morto mostraram-se relevantes. Até setembro de 2007, os volumes de exportação de celulose contabilizavam 710 mil toneladas ao ano. A partir do início das operações da linha 2 e da ampliação da linha 1 da unidade de Mucuri, esse volume aumentou para 1,6 MM t/ano. A linha 2 está em uma curva de aprendizagem, de modo que se estima que a sua produção atinja a sua capacidade máxima, de 1,1 MM t/ano durante o ano de 2009 – um total de 1,7 MM t/ano.

Se o aumento no volume de produção anual tiver o impacto nos custos e despesas logísticas proporcional ao observado em 2008, a empresa incorrerá em grandes problemas para administrar adequadamente a sua cadeia e seus custos. Visto que a Suzano está trabalhando em grandes projetos de ampliação que visam aumentar, essencialmente, a produção anual de celulose dos 1,7 MM t/ano praticados em 2008 para, aproximadamente, 6 MM t/ano em 2015.

A identificação e análise dos fatores geradores destes gastos extras com *demurrage* e frete morto podem constituir um importante aprendizado para os departamentos de planejamento e logística da empresa.

Além disso, deve-se destacar que os contratos com os armadores de transporte de carga *break-bulk* começaram a vigorar em janeiro de 2008 e têm validade de, no mínimo, 5 anos. O primeiro ano de transação apresentou resultados desagradáveis para os gestores da empresa, logo, o estudo dos termos abrangidos nos mesmos e seus impactos para a operação da companhia necessitam ser bem avaliados para que sejam analisadas alternativas paliativas e para que os futuros contratos a serem assinados não constituam mais problemas.

CAPÍTULO 2

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

2 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão abordados os principais conceitos relacionados à modelagem da cadeia de suprimentos e ao uso da simulação como ferramenta para o desenvolvimento de soluções para o gerenciamento da cadeia de suprimentos.

A revisão bibliográfica desenvolvida neste capítulo tem como objetivos principais: (1) Apresentar a importância do gerenciamento da cadeia de suprimentos para o bom desempenho das empresas; (2) estudar a técnica da simulação como método de modelagem da cadeia de suprimentos; (3) identificar os principais aspectos necessários à análise e modelagem do sistema em estudo e, por fim, (4) levantar conceitos importantes a respeito de gerenciamento de estoques, que servirão de base para o desenvolvimento da solução do problema.

2.1 Importância do gerenciamento da cadeia de suprimentos

O Gerenciamento da cadeia de suprimentos (GCS, ou SCM, do inglês Supply Chain Management), referenciado neste trabalho por diversas vezes, é um termo relativamente recente cuja definição ainda pode diferir em alguns aspectos nas diferentes bibliografias.

De acordo com o *Council of Supply Chain Management Professionals* - CSCMP (antes Council of Logistics Management-CLM), uma associação internacional de gestores logísticos, educadores e profissionais das áreas de Logística e SCM, com mais de 10 mil participantes, o “Gerenciamento da cadeia de suprimentos engloba o planejamento e a gestão de todas as atividades envolvidas em identificar fornecedores, comprar, fabricar, e gerenciar as atividades logísticas. Inclui também a coordenação e a colaboração entre os parceiros do canal, que podem ser fornecedores, intermediários, provedores de serviços e clientes”. “Em essência”, destaca o CLM, “Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos integra a gestão da demanda e do suprimento dentro e através das empresas”.

A definição promulgada pelo CSCMP para GCS e para Logística implica que a logística é parte integrante ou subconjunto do processo da cadeia de suprimentos, conforme se verifica abaixo:

”Logística é a parcela do processo da cadeia de suprimentos que planeja, implanta e controla o fluxo eficiente e eficaz de matérias-primas, estoque em processo, produtos acabados, serviços e informações relacionadas, desde seu ponto de origem até o ponto de consumo, com o propósito de atender às exigências dos clientes”.¹

¹Definição de Logística do CSCMP, no site www.cscmp.org

Entretanto, importantes autores como BALLOU (2006) consideram indistinta a diferença entre os termos logística e cadeia de suprimentos, e trata como equivalentes a GCS e a Gestão integrada da Logística Empresarial.

Posicionando-se conforme o ponto de vista de BALLOU (2006), nota-se que, seja sob qualquer um dos títulos, o gerenciamento eficiente e eficaz do fluxo de produtos e serviços ao longo da cadeia de suprimentos é extremamente importante para gerar vantagem competitiva e lucratividade para as empresas individuais numa cadeia de suprimento e também para o conjunto de integrantes dessa mesma cadeia.

Diante disso, é importante destacar que essas definições sugerem a *gestão logística coordenada de atividades inter-relacionadas* para agregar valor aos bens e serviços e disponibilizá-los aos consumidores de forma a satisfazer suas necessidades. Este conceito estabelece que as decisões sejam tomadas considerando as interações logísticas entre as funções de marketing, logística e produção, ao invés de tratá-las em separado. Em extensão à idéia de integração e coordenação de atividades inter-relacionadas, essa linha de pensamento também admite que melhorias podem ser obtidas através da coordenação e colaboração não só entre as áreas da empresa, mas inclusive entre os integrantes do canal logístico.

A cadeia de suprimentos abrange todas as atividades relacionadas com o fluxo e transformação de mercadorias desde o estágio da matéria-prima até o usuário final (BALLOU, 2006), das quais pode-se ressaltar:

- a previsão de demanda;
- a gerência da informação;
- o controle de estoques;

- o manuseio de materiais;
- o processamento de pedidos;
- o suporte aos serviços oferecidos e a reposição de partes;
- a escolha de locais de fábricas e armazéns (análise de localização);
- o desenho da rede logística;
- a aquisição, a embalagem e o manuseio de produtos devolvidos;
- a gerência de tráfego e transporte inbound e outbound;
- a gerência de serviços logísticos terceirizados;
- a gerência das sobras, sucatas e reciclagem.

Em maior ou menor grau, dependendo da empresa, as seguintes atividades também podem fazer parte do escopo da logística empresarial:

- o serviço ao cliente;
- o Planejamento da produção;
- a administração de materiais;
- a aquisição de materiais;

O transporte e a gestão de estoques são atividades-chave da logística empresarial e, segundo BALLOU (2006), “são as atividades logísticas primárias na absorção de custos”. Como os custos logísticos são significativos para a maioria das empresas, a minimização deles tem feitos parte dos objetivos de muitos administradores. Através de um elevado desempenho das atividades da cadeia de suprimentos agrega-se mais valor aos clientes e outros envolvidos.

A logística trata da criação de valor em termos de tempo e lugar à medida que disponibiliza produtos e serviços quando (tempo) e onde (lugar) os clientes desejam. O transporte agrega valor de local aos produtos e a manutenção de estoque agrega valor de tempo.

A globalização e internacionalização das atividades industriais têm levado as companhias a atuar num mercado mundial e integrado que exige estratégias cada vez mais globais. Ao passo que isso ocorre, as atividades e, conseqüentemente, os custos logísticos de transporte e estoques tendem a aumentar.

Além de reduzir os custos, o gerenciamento adequado dos processos da cadeia de suprimentos pode proporcionar aumento nos lucros, quando promove condições para disponibilizar melhores níveis de serviço ao cliente, aumentar a fatia de mercado e a penetração e novos mercados.

A minimização dos custos, assim como a redução de capital e a melhoria de serviços ao cliente compõem os principais objetivos da boa estratégia de logística. Para atender a cada um desses objetivos, o planejamento logístico precisa enfrentar conflitos (trade-offs) entre os custos de cada opção. Por exemplo, ao buscar uma redução nos custos das vendas perdidas e conseqüentemente um aumento no nível de serviço ao cliente, a empresa precisa incorrer em aumento nos gastos com transporte, processamento de pedidos e níveis de estocagem.

Assim, o processo de redução de custos no planejamento da cadeia de suprimentos é sinônimo de gestão de conflitos entre os custos e a solução buscada consiste num equilíbrio adequado de custos combinados estoques, transportes e nível de serviço.

É com base neste conceito de custo total que serão analisadas alternativas à atual configuração das operações de exportações da Suzano Papel e Celulose em seu canal logístico de *outbound* da cadeia de suprimentos que abrange a Unidade de Negócio Celulose. Para isto, foi selecionada a metodologia de simulação como ferramenta para o planejamento e estudo desta cadeia de suprimentos.

2.2 Aplicação da modelagem e simulação para análise da cadeia de suprimentos

Conforme BALLOU (2006) destaca, entre todos os problemas de planejamento de cadeia de suprimentos, o problema de configurar a rede de instalações e definir o fluxo de produtos através dela é um dos mais importantes, uma vez que, a partir de seu planejamento será estabelecida a estrutura básica para a conformação de sistemas de transporte, estocagem e informação.

Embora existam inúmeros métodos gerais pelos quais podem ser efetivamente avaliadas as configurações alternativas, tais como (1) técnicas de gráfico, compasso e régua, (2) modelos heurísticos e (3) modelos de otimização e de modelos de sistemas especialistas, esse processo de

busca das melhores alternativas muitas vezes é complexo e requer o uso de modelos matemáticos e computadorizados. Diante disso, os (4) modelos de simulação se destacam como um dos métodos preferenciais e a segunda melhor técnica quantitativa em termos de uso para análise, depois da estatística (BALLOU, 2006), em casos nos quais o detalhamento é amplo, envolvem muita incerteza sobre as variáveis e a obtenção de uma solução matemática ótima não é fundamental.

Na pesquisa bibliográfica realizada por CASTRO NETO (2006), são apresentados diversos outros autores que favorecem a aplicação de modelagem em cadeia de suprimentos, com uso da técnica de simulação, para analisar e desenvolver previsões sobre o desempenho de sistemas logísticos. Isto porque, a simulação é vista como um poderoso instrumento capaz de expressar os muitos fatores incertos que se relacionam de forma complicada em uma complexa cadeia de suprimentos.

De acordo com os conceitos apresentados por MIN e ZHOU (2002), pode-se verificar que dificilmente um modelo conseguirá refletir todos os aspectos dos processos da cadeia de suprimentos, dado a complexidade inerente à modelagem integrada. Os autores também afirmam que são escassas as ferramentas analíticas que possam ser utilizadas para tirar proveito de todos os benefícios dos conceitos da cadeia de suprimentos integrada. Em função disso, os autores propõem o uso do modelo de simulação como uma das principais ferramentas necessárias para se obter bem sucedidos modelos de processos logísticos.

Deve-se destacar que a utilização da simulação computacional nem sempre é a melhor opção. Para situações em que o custo e impactos das experimentações no sistema real forem menores do que exige o desenvolvimento do modelo para simulação, ou casos em que a resolução do problema pode ser feita maneira simples e sem necessidade de dados confiáveis, a simulação pode ser evitada.

Porém, caso o sistema real não possa ser testado e a solução de um problema exija que o funcionamento do sistema vigente seja analisado e que hipóteses e alternativas sejam avaliadas, a simulação é uma das técnicas mais atraentes.

2.3 O conceito de simulação

Embora sejam diversas as definições para Simulação disponíveis na Literatura, pode-se dizer que todos os autores têm pontos de vistas em comum quanto à aplicabilidade da técnica de simulação computacional para a análise e desenvolvimento de estratégias de operação de sistemas reais complexos.

Segundo SHANNON (1992), a simulação é uma ferramenta que permite projetar o modelo de um sistema real e conduzir experimentos com o mesmo, a fim de entender seu comportamento e avaliar estratégias para sua operação. O autor ainda define: “um modelo computacional é um programa de computador cujas variáveis apresentam o mesmo comportamento dinâmico e estocástico do sistema real que ele representa”, e complementa que, além da construção de um modelo, a simulação trata-se de um método experimental através do qual é possível:

- descrever o comportamento do sistema;
- construir teorias ou hipóteses baseadas nas observações efetuadas;
- utilizar o modelo para prever o comportamento futuro, ou seja, os efeitos produzidos por alterações no sistema ou em seus métodos de operação.

Sendo assim, verifica-se que, primeiramente, um modelo de simulação representa um sistema do mundo real. Um sistema é caracterizado em função do comportamento de um conjunto de variáveis que determinam o seu comportamento: as **variáveis de estado** do sistema.

As variáveis podem ser qualitativas ou quantitativas. Para representá-las em uma modelagem matemática é preciso que as variáveis sejam descritas de maneira quantitativa, ou seja, por meio de números ao invés de palavras. Através de funções, chamadas variáveis aleatórias, são associados números reais aos eventos de um sistema.

Quando o comportamento das variáveis pode ser predito, o sistema pode ser classificado como **determinístico**, e quando o comportamento de uma variável aleatória só pode ser descrito

em termos de *distribuições de probabilidade*, o sistema é classificado como **estocástico**, ou probabilístico.

Os sistemas ainda podem ser **estáticos**, quando não se alteram ao longo do tempo, ou **dinâmicos**, quando o estado do sistema varia ao longo do tempo. Neste caso, a sequência de eventos que ocorre na simulação é analisada em função do tempo.

Os modelos de sistemas dinâmicos podem ser classificados quanto ao seu comportamento em relação à passagem do tempo de duas maneiras:

- Sistemas **contínuos**: são sistemas nos quais as variáveis de estado se alteram continuamente ao longo do tempo e podem assumir qualquer valor em uma faixa contínua de possíveis valores.
- Sistemas **discretos**: são aqueles nos quais os possíveis valores das variáveis de estado formam um conjunto enumerável de valores, pois permanecem constantes durante determinadas faixas de tempo e mudam seus valores em pontos discretos e definidos no tempo.

Conforme menciona CASTRO NETO (2006), para que um sistema contínuo possa ser modelado e simulado nos atuais softwares, como Arena e ProModel, é preciso que o mesmo seja **discretizado**, ou seja, as variáveis de estado do sistema somente são estudadas em pontos discretos de tempo em que ocorrem eventos.

No caso do sistema de produção de celulose, pode-se observar que se trata de um sistema contínuo no qual a máquina opera por 24 horas diárias e gera uma grande folha de celulose que somente depois é cortada em folhas menores, para constituir os fardos e *units*. Para a modelagem adequada deste sistema, é possível analisá-lo considerando a produção de *units* ao longo do tempo, que ocorre em pontos discretos e é o que pode ser considerado como uma entrada no sistema de *outbound* da cadeia de suprimentos aqui estudada.

Por fim, FREITAS (2001) ainda divide os sistemas em **terminais** e **não-terminais**, quando apresentam ou não, respectivamente, condições iniciais fixas, às quais o sistema volta a assumir ao início de cada rodada de simulação.

2.4 As vantagens e desvantagens da simulação

Diante do exposto anteriormente, observa-se que a simulação estocástica, que reproduz as respostas de um sistema real a uma sucessão de eventos que ocorrem numa dimensão de tempo ao longo da cadeia de suprimentos, é, atualmente, uma das mais poderosas ferramentas de modelagem e análise de problemas disponível para o planejamento, projeto e controle de sistemas complexos (SHANNON, 1992). Logo, é possível enumerar uma série de vantagens quanto ao uso desta técnica.

Ao comparar a técnica da simulação aos métodos analíticos (modelagens matemáticas e heurísticas), verifica-se um ganho quanto à melhor captura de detalhes da operação real sem necessidade de muitas simplificações, quanto à maior capacidade de representar as incertezas no tempo dos fatos e o nível das variáveis desses mesmos fatos e na obtenção mais rápida de soluções satisfatórias para problemas reais ao invés de soluções ótimas para problemas adaptados.

Outro aspecto relevante quanto aos benefícios da simulação trata da possibilidade de observar fatos sobre como o sistema opera, eliminando assim mitos sobre o funcionamento do sistema real. Permite assim, que sejam identificados os gargalos e as variáveis mais relevantes para o desempenho do sistema, além da interação entre elas e com o sistema.

Uma vez desenvolvido, o modelo pode ser utilizado inúmeras vezes, pois:

- O tempo e recursos necessários para análise dos resultados é menor;
- Permite comparações com o sistema real;
- Permite ajustes e adaptações que contemplem a evolução do sistema;
- Possibilita que sejam realizados testes sem perturbar sistema real: novas políticas e procedimentos operacionais, regras de decisão, fluxos de informação, etc.

Enfim, sobre as vantagens da simulação, também é válido considerar a grande disponibilidade de softwares simuladores e contínua melhoria dos mesmos. Este desenvolvimento é impulsionado pela maior procura e interesse das empresas em utilizá-los no projeto,

planejamento e também obtenção de soluções urgentes para sistemas logísticos, além de outras aplicações.

Em alguns trabalhos como o de CASSEL (1996) há referência a algumas das desvantagens da técnica de simulação. Entre elas, pode-se destacar:

- o desempenho da simulação é dependente da validade do modelo elaborado, o que por sua vez, exige premissas coerentes e bem estruturadas, baseadas em conhecimentos sólidos sobre o funcionamento do sistema;
- necessidade de inúmeras rodadas de simulação, conseqüentemente, o tempo despendido para desenvolvimento e análise pode ser muito grande;
- os resultados obtidos com as simulações não são soluções ótimas, pois se tratam de testes sobre alternativas dadas pelo analista. Pode ser difícil interpreta-los;
- construção de modelos e pode requerer treinamento especial.

2.5 Principais elementos de um Modelo de Simulação

Para entender adequadamente a dinâmica de funcionamento de um modelo de simulação computacional é importante descrever a definição de seus principais elementos, conforme se observa a seguir:

2.5.1 Modelo

Modelo é a representação simplificada da realidade com a finalidade do sistema que representa. CASTRO NETO (2006) tipifica os modelos de três diferentes tipos de acordo com a maneira pelo qual as propriedades do sistema são representadas: icônicos (representação fiel em escala diferenciada), analógicos (representações equivalentes) e simbólicos (representado por símbolos). Além disso, conforme foi descrito anteriormente, os modelos ainda podem ser classificados como: estático ou dinâmico, discreto ou contínuo, determinístico ou estocástico, etc.

2.5.2 Entidade

A entidade é um elemento essencial no modelo, pois representa a unidade física do sistema cujo comportamento se deseja analisar. Este elemento possui um ciclo de vida no sistema, de forma que podem ser temporárias, se percorrem a lógica de programação e depois abandonam o modelo, ou permanentes, se exercem sua função sem deixar o sistema. A chegada das entidades é imposta ao sistema através de procedimentos externos.

2.5.3 Atributo

Atributos são informações que são atribuídas às entidades para caracterizá-las e diferenciá-las no sistema. Através dos atributos é possível trabalhar com um mesmo tipo de entidade e atribuir valores específicos a cada uma delas para personalização do modelo. Diferente das variáveis, que são disponíveis para todo o modelo, os atributos guardam valores individuais para cada entidade.

2.5.4 Recurso

O recurso é uma estrutura do modelo (equipamento ou pessoa) utilizada para permitir à entidade realizar alguma operação, na qual algum tempo será despendido. A capacidade de um recurso pode ser utilizada total ou parcialmente por um recurso.

2.5.5 Processo

Processo se refere à seqüência de eventos em ordem cronológica de seus acontecimentos, que causam uma mudança no sistema, representa uma ação ou uma atividade, que ocupará um recurso ou entidade por certo período de tempo.

2.5.6 Evento

Eventos são instantes no tempo os quais acontece alguma mudança significativa no estado do sistema, como o início ou o fim de um processo ou atividade. O processamento de um evento é realizado por uma rotina.

2.5.7 Decisão

Decisão é um bloco de programação que direciona as respostas do modelo em função de atributos das entidades, tempo simulação, valores das variáveis, etc. Representam as direções pelas quais o modelo pode seguir dadas as devidas condições.

2.5.8 Cronograma

Modulo de dados através dos quais é possível agendar acontecimentos que interfiram no comportamento do sistema a fim de simular situações reais do sistema representado, tais como paradas, greves, indisponibilidade de recursos, etc.

2.5.9 Acumuladores

Variáveis que acumulam valores no tempo, que podem ser tratadas estatisticamente para análise do desempenho do sistema.

2.5.10 Relógio

Variável que marca o tempo de simulação do modelo.

2.5.11 Aquecimento

O aquecimento se refere ao período inicial da simulação no qual o comportamento do sistema não pode ser considerado estável. As estatísticas geradas neste período são expurgadas pelo simulador para permitir uma análise adequada dos resultados.

2.5.12 Replicação

A Replicação é uma repetição da simulação do modelo no computador, com a mesma configuração, a mesma duração e com os mesmos parâmetros de entrada. Como a geração dos números aleatórios será diferente, assim serão os dados de saída. A replicação não inclui o período de aquecimento.

2.5.13 Rodada

É o período compreendido entre o início e o fim de uma execução da simulação no computador. Uma rodada inclui o aquecimento e pode envolver várias replicações.

2.6 O Software de simulação: ProModel

O *software* selecionado para a simulação neste trabalho foi o ProModel Student Versão 7 de 2007. Fornecido pela ProModel Corporation, este software de simulação de eventos discretos permite modelar diferentes tipos de sistemas, através de uma interface gráfica amigável e intuitiva, orientada a objetos, que permite rápida visualização e reduz a necessidade de programação.

Entre outros benefícios, este software oferece diversos objetos que facilitam o desenvolvimento de modelos para aplicações em sistemas logísticos, tais como: criação de filas, agrupamento e separação de entidades, agendamento de chegada de recursos e entidades, programação de falhas, além do uso de variáveis globais e atributos para a realização de cálculos auxiliares, definição de regras de roteamento de entidades, etc. O software também suporta a importação de dados de entrada a partir de arquivos texto e arquivos CSV e a configuração das principais distribuições de probabilidade, tais como Normal, Triangular, Exponencial, Lognormal, Erlang, Beta, Poisson, entre outras, necessárias para a reprodução das incertezas e variabilidades inerentes a muitos processos de uma cadeia de suprimentos. (SILVA, 2005)

Embora apresente um custo elevado para aquisição de licenças e treinamento, o software está disponível para alunos da Escola Politécnica nos computadores do Departamento da Engenharia de Produção. Em caso de instalação do software para uso particular, um aspecto positivo do ProModel é que pode ser instalado em um micro-computador comum (recomendado Pentium 4 ou melhor, 1 GB de RAM e 1 GB de memória de disco livre), suporte técnico e documentos técnicos podem ser obtidos on-line, porém questões relativas à modelagem, e à depuração de erros necessitam de uma consultoria, cujo custo pode ser mais alto.

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO

3 METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO

De acordo com as pesquisas mencionadas na referência bibliográfica, observa-se que algumas premissas são necessárias para o sucesso de um projeto de simulação. Dentre elas, é valioso ressaltar:

- disponibilizar de profundo conhecimento sobre o sistema que se deseja modelar, assim como suas principais características e seu funcionamento;
- conhecer os conceitos de pesquisa operacional, probabilidades e estatística;
- selecionar procedimentos adequados para análise e interpretação dos dados;
- saber selecionar e utilizar um software de simulação;
- empregar uma metodologia de condução de simulação computacional;

A Literatura propõe variados métodos para a condução de um projeto de simulação computacional. Embora apresentem algumas diferenças, a grande maioria dos autores converge suas propostas para metodologias que, em linhas gerais, são semelhantes e podem ser representadas pelo fluxograma da Figura 1. Esta será a metodologia a ser adotada neste trabalho.

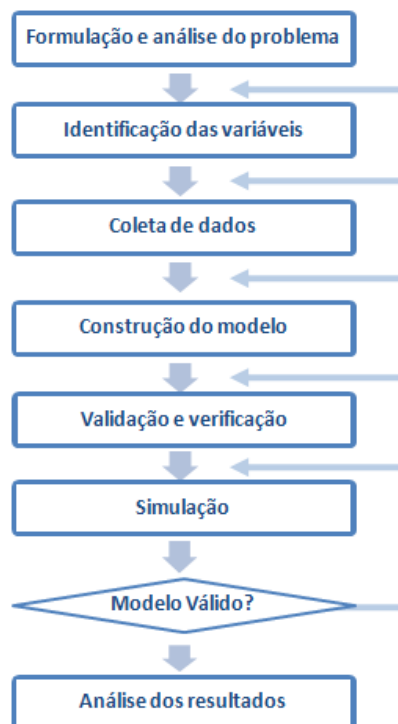


Figura 1 - Etapas do método de condução da simulação computacional

3.1 Formulação e análise do problema:

Nesta etapa devem ser definidos com clareza os propósitos e objetivos do estudo. A partir daí é preciso delimitar o projeto a ser desenvolvido, explicitando as premissas e pressupostos a serem adotados, os pontos específicos a serem verificados e as alternativas a serem testadas.

As metas estabelecidas nesta fase não precisam ser imutáveis. Diante das análises de dados e resultados, os objetivos podem ser revistos, caso seja necessário.

3.2 Identificação das variáveis:

Feita a análise do problema na etapa anterior, procede-se com o estudo detalhado do sistema, identificando os componentes e variáveis que interferem no processo e descrevendo as interações lógicas que constituem seu funcionamento.

Com o estudo das variáveis, será possível determinar o nível de detalhe do modelo a ser desenvolvido, ou seja, quais variáveis serão consideradas ou não, qual a disponibilidade de dados sobre estas variáveis, qual o grau de poder de controle que existe sobre estas variáveis, etc. Trata-se de um delineamento das restrições do modelo e do escopo da simulação.

Diante das metas definidas e dos limites encontrados em relação às variáveis do sistema, é preciso definir quais serão os tipos de experimentos a serem realizados e que tipos de resultados serão obtidos a partir deles. As decisões tomadas aqui terão impacto direto sobre a qualidade da resposta que será gerada a partir da simulação.

Muitos autores aconselham o que seja traçados um esboço do sistema e um fluxograma da lógica de programação para prosseguir com a modelagem para completar a análise adequada das informações sobre o sistema.

3.3 Coleta de dados

As variáveis identificadas no item 3.2 determinam quais os dados de interesse a serem coletados através de observações, amostras, arquivos históricos ou outro meio de obtenção.

Antes ou durante os tratamentos estatísticos dos dados, é preciso analisar criteriosamente a qualidade dos dados obtidos, para expurgar possíveis erros de medição ou registro, além de exceções que não se repetirão. Esta medida evitará que sejam desperdiçados recursos com modelagens errôneas.

Nem sempre os dados desejados estarão disponíveis ou ainda, a confiabilidade das informações pode não ser muito boa. Nestas situações, pode ser necessário realizar aproximações sobre o comportamento das variáveis para que a simulação seja possível. Esta medida é válida desde que os critérios assumidos para as aproximações sejam claros e coerentes. Uma das formas de obter distribuições de probabilidade bem representativas do sistema real é a realização de testes e a coleta de opiniões de pessoas experientes que conheçam o comportamento do sistema.

3.4 Construção do modelo

A construção do modelo em estudo é constituída pela codificação dos parâmetros e suas relações teóricas em um software de simulação, com base no esboço desenhado anteriormente, nas distribuições de probabilidades representativas do comportamento das variáveis, nos processos e restrições identificados.

O processo se inicia com a elaboração de um sistema simplificado que vai incorporando todos os aspectos da modelagem completa à medida que vai sendo testado e validado. Diferentes modelagens, combinações e lógicas podem ser experimentadas nesta etapa para a produção dos melhores resultados.

3.5 Validação e verificação

Embora sejam apresentados como uma etapa à parte, os processos de validação e verificação são realizados em paralelo à coleta de dados e à construção do modelo, conforme descrito nos itens 3.3 e 3.4. Com base nos conceitos apresentados por BOTTER (2001) e JAIN (1991), pode-se definir que a validação consiste na confirmação de que o modelo e os inúmeros pressupostos e simplificações adotados sejam plausíveis e produzam resultados semelhantes àqueles observados nos sistemas reais. Sendo assim, à medida que os dados foram sendo coletados e analisados e à medida que o modelo computacional foi sendo testado durante sua construção, a validação era feita.

As técnicas de validação do modelo são diversas, de modo que não uma prescrição exata sobre como realizá-la. Algumas das técnicas mais utilizadas são:

- apresentação dos dados de entrada e resultados obtidos com a simulação à especialistas e pessoas que conhecem a fundo o processo real. Com base em seus conhecimentos e intuição é possível validar a modelagem;
- realização de testes estatísticos, como testes de aderência, *Qui-quadrado* e *K-S*, para atestar a semelhança entre os resultados obtidos no sistema modelado e os dados do sistema real;

A verificação do modelo também pode ser feita de diversas maneiras. As técnicas de verificação são utilizadas para checar se há erros de lógica e sintaxe no modelo computacional e validar a consistência do mesmo quanto à geração de resultados similares em execuções diferentes com dados de entrada equivalentes. Este processo, como a validação, ocorre em paralelo à construção do modelo, por meio de procedimentos tais como:

- variações nos dados de entrada do modelo e verificação sobre a consistência das respostas;
- uso de modelos determinísticos, atribuindo valores às variáveis aleatórias para certificar a adequação da lógica;
- uso de rotinas de rastreamento: módulos dos softwares através dos quais é possível visualizar os eventos ocorridos em função do tempo da simulação;

3.6 Simulação

Confirmada a validação da modelagem computacional, o experimento definitivo deve ser programado, estabelecendo-se a quantidade de rodadas e replicações, o tempo total de cada uma delas, o tempo de aquecimento, os diferentes cenários, etc. A alteração de uma ou mais características do modelo e da configuração dos dados de entrada gerará os possíveis cenários a serem avaliados e suas possíveis respostas.

3.7 Análise dos resultados

Por fim, a última etapa de um projeto de simulação deve ser a análise dos resultados obtidos através das diversas rodadas e replicações dos cenários alternativos à configuração do sistema real.

O tratamento dos dados de saída do software de simulação pode ser feito por técnicas estatísticas ou por outros métodos mais adequados, estabelecidos nas etapas anteriores com base nas metas e nos objetivos do estudo. O propósito desta análise é colher informações que dêem condições para que sejam traçadas inferências sobre os resultados alcançados, conclusões sobre o sistema e insumos razoáveis para a tomada de decisão, quando necessária.

CAPÍTULO 4

DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO

4 DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO

Para identificar e expor os fatores que têm impacto na geração de custos de *demurrage* e frete morto para as operações de exportações da Suzano Papel e Celulose é preciso, primeiramente, analisar o canal logístico de *outbound* da cadeia de suprimentos que abrange a Unidade de Negócio Celulose. Entretanto, esta análise exige uma introdução ao processo de fabricação da celulose e da estrutura da unidade fabril de Mucuri.

4.1 Introdução ao processo de fabricação de celulose



Figura 2 - Processo de fabricação da celulose.

Fonte: Diário do Legislativo de 19/10/2004 da Assembléia Legislativa do Estado de Minas Gerais. Disponível em www.almg.gov.br/dia/A_2004/10/L191004.htm. Acessado em 2 de novembro de 2009. – Adaptado pelo autor.

O processo de fabricação de celulose consiste basicamente na transformação da madeira em material fibroso, que é denominado pasta, polpa ou celulose. Este processo pode ser dividido em quatro principais etapas, conforme ilustrado na Figura 3 e descrito abaixo:

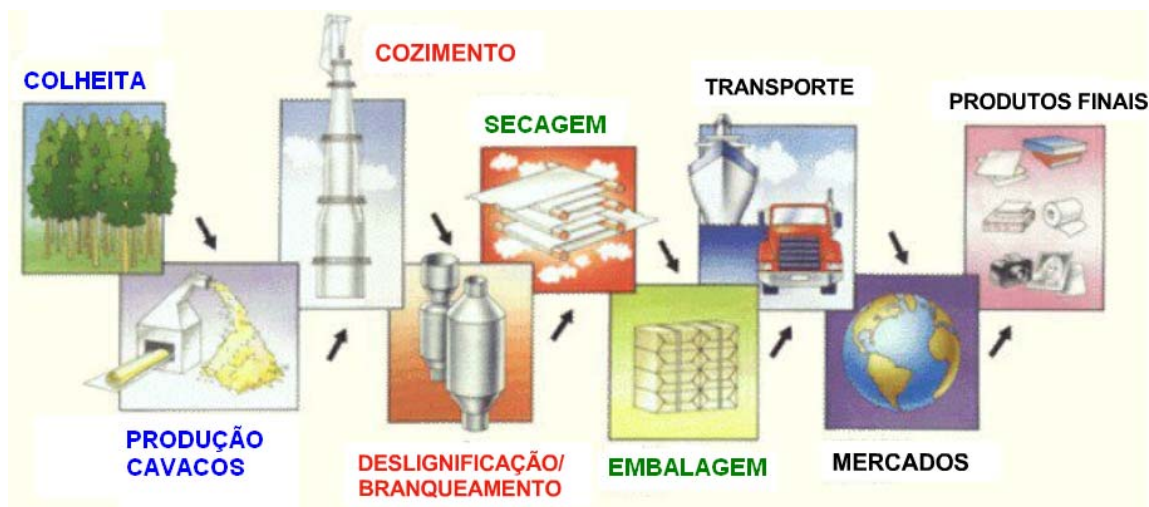


Figura 3 – Principais etapas do processo de produção de celulose

Fonte: MAPEL Jr., J. L. Processo de produção de celulose. Apresentação. – Adaptado pelo autor.

Etapa 1: Colheita e produção de cavacos

Na floresta, são feitos a colheita, o corte e o descascamento do eucalipto. As toras de eucalipto são então transportadas em caminhões até o Pátio de Madeira, onde serão encaminhadas ao Picador para que a madeira seja cortada em pequenos cavacos. Estes cavacos são depositados em um silo de estocagem antes de serem destinados ao cozimento.

Etapa 2: Cozimento e transformação em polpa marrom

Os cavacos são transferidos por esteira transportadora aos digestores, onde passam por um processo de cozimento designado Processo Kraft, no qual as fibras de celulose são separadas da lignina e resinas da madeira, produzindo a polpa marrom (celulose não branqueada/escura).

Etapa 3: Depuração, Deslignificação e Branqueamento

Numa fase de pré-branqueamento, através de um processo físico-químico, a celulose é lavada para remoção de impurezas e, em seguida, submetida a um processo de deslignificação por oxigênio que produzirá a celulose pré-branqueada.

A próxima fase do processo é o Branqueamento químico, que remove a maior parte da lignina e seus derivados, para melhorar as propriedades da celulose, tais como alvura, limpeza, pureza química, etc. A celulose branqueada ECF (livre de cloro elementar) resultante desta etapa é então transferida para torres de armazenagem ainda em forma líquida.

Etapas 4: Secagem e embalagem

A partir das torres de armazenagem, a celulose pode ser destinada diretamente para as máquinas de papel, no caso de Fábricas Integradas de Papel e Celulose, como as unidades de Mucuri e Suzano, ou então destinadas às secadoras, onde a celulose é então secada, moldada em folhas, cortada e embalada em fardos com 250kg de celulose, oito dos quais constituem uma unidade de carga (1 unit de 2 toneladas) para fins de transporte marítimo. Esta celulose seca e embalada em fardos, destinada à comercialização, é chamada Celulose de Mercado.

Quando a Celulose de Mercado é enviada para a produção de papel nas unidades papelarias da própria Suzano (Mucuri, Suzano ou Embu), este processo é chamado de **desagregação**. Ou seja, a celulose que antes seria destinada para venda no mercado é desagregada do estoque e destinada para as máquinas de papel.

4.2 Classificação da Celulose de Mercado

Quando todas as etapas de produção ocorrem conforme o planejado e, em complemento, a qualidade da madeira e de todos os insumos necessários à produção de celulose é adequada, o produto final é uma celulose classificada como “Extra Prime”.

Entretanto, alguns problemas podem acontecer no processo produtivo de fabricação da celulose de forma que afete a qualidade do produto acabado. Estes produtos que não atendem a todas as especificações das celuloses a serem classificadas como “Extra Prime” (EP) são desclassificados para qualidades “P” (Prime), “P1” (Prime 1) e “OG” (Out of Grade).

Essencialmente, a celulose de mercado é caracterizada como uma “*commodity*”, ou seja, pode ser tratada como um produto de base (matérias-primas) com pequeno grau de industrialização, de qualidade quase uniforme, produzida em grandes quantidades.

Na Unidade de Mucuri da Suzano Papel e Celulose, a celulose de mercado embora seja uma *commodity*, pode ter outras classificações em função de pequenas diferenciações no produto final. A diferenciação dos produtos acabados de celulose pode ser feita da seguinte maneira:

- Celulose Com ou Sem Capa: consiste na presença ou não de uma folha de papel encapando as folhas de celulose (fardo). Esta diferenciação é feita na enfardadora da máquina, de forma que não causa grandes impactos no tempo de setup ou no atendimento dos embarques;

- Celulose EP, EP MEAD ou EP “S”: produtos que se diferenciam quanto a algum item de especificação de forma mais restrita. A separação e classificação desses produtos são feitas no laboratório com o produto acabado. Consiste num processo de seleção dos produtos que atendem ou não às especificações mais severas. Esta diferenciação também não exige nenhuma mudança significativa seja na produção, no armazenamento ou no embarque.

O conhecimento básico sobre o processo de produção e sobre o produto em estudo dá condições para a melhor compreensão da cadeia de suprimentos da Suzano Papel e Celulose. Conforme declarado no escopo do trabalho, a descrição que se segue abrange apenas o canal logístico de *outbound* da cadeia de suprimentos da celulose de mercado produzida na Unidade fabril de Mucuri da empresa.

4.3 Descrição do canal logístico de *outbound* da cadeia de suprimentos de celulose

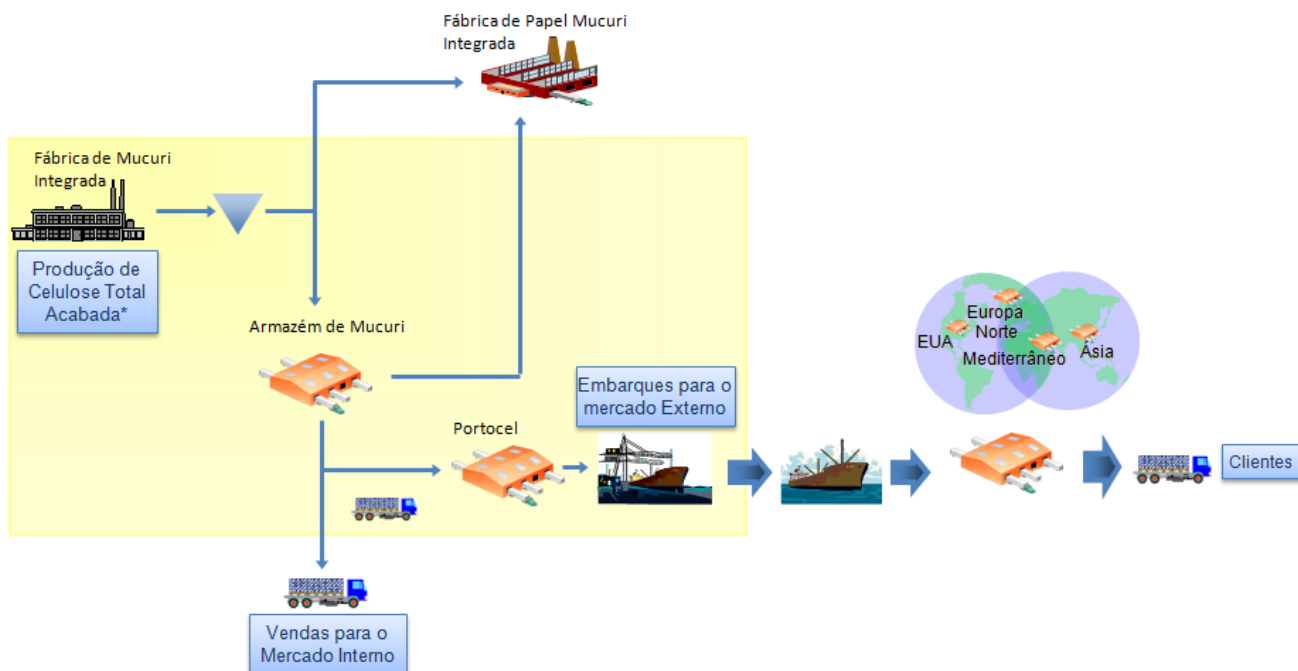


Figura 4 - Canal logístico de *outbound* da cadeia de suprimentos de celulose da Suzano Papel e Celulose

Fonte: Apresentações da UNC – Suzano Papel e Celulose. – Adaptado pelo autor.

Na Unidade produtora de Mucuri, localizada no sul da Bahia próximo ao Espírito Santo, a celulose é produzida em duas linhas de produção. A fábrica de Mucuri é uma unidade Integrada porque a máquina de papel é integrada à linha produção de celulose, de forma que ela consome a polpa de celulose necessária à produção de papel diretamente da torre de armazenamento. Assim, verificamos que parte da produção total de celulose é destinada à máquina de papel e parte é extraída na secadora em forma de folhas para a venda nos mercados nacionais e internacionais.

Uma das políticas da empresa é de que o atendimento da máquina de papel seja sempre priorizado em relação à extração de celulose para a comercialização, portanto o consumo da máquina de papel só pode ser monitorado e não controlado pelo Departamento de Planejamento Integrado da Unidade de Negócio de Celulose. Desta maneira, observa-se que a capacidade de extração de celulose pela secadora sofre interferência da disponibilidade de polpa de celulose na

torre de armazenamento, variável em função do desempenho da máquina de papel (além de outras interferências do funcionamento da própria linha de produção de celulose).

A capacidade de produção diária de celulose para o mercado na secadora de Mucuri, descontando-se o consumo da unidade de papel, é de aproximadamente 4.400 toneladas (1.500t na Linha 1 e 2.900t na linha 2). A operação da planta de Mucuri é programada para ocorrer de modo ininterrupto, com exceção das paradas programadas para manutenção, que devem ocorrer apenas uma vez por ano em cada uma das linhas, com duração de, aproximadamente, nove dias cada uma. Assim, a produção estimada mensal é de 132.000t para os meses em que não há paradas programadas e, para o ano, a produção é de 1.566 mil toneladas, descontando-se os dias de parada.

Todos os fardos de celulose de mercado são armazenados no Armazém da fábrica de Mucuri, que fica ao lado das linhas de produção. Essa movimentação da celulose da saída da enfardadora até o armazém é realizada com o uso de empilhadeiras e leva apenas alguns minutos.

A capacidade do armazém de Mucuri é de cerca de 40.000t de celulose seca. Este produto pode ser encaminhado a três destinos a partir deste armazém: a desagregação da celulose para as máquinas de papéis, a venda direta para clientes do mercado interno (Brasil) ou o escoamento para o Porto de Barra do Riacho.

A desagregação de celulose é uma ocorrência não planejada e infrequente. Quando as unidades de papel necessitam de mais celulose do que dispõem, é necessário transferir celulose de mercado para estas unidades. Estima-se que este processo aconteça cerca e três vezes por ano e consuma em média 2.400t por ocorrência.

As vendas para os clientes localizados no Brasil a partir da Unidade Mucuri consomem em média 6.300 toneladas de celulose por mês. Parte desta tonelagem é atendida por produtos de qualidade EP, enquanto parte dela pode ser atendida por celulose desclassificada.

Por fim, o principal direcionamento da celulose de Mucuri é o escoamento para os Portos de Barra do Riacho (Portocel) e, eventualmente, Vitória para atender aos embarques de exportação. Até junho de 2008, o Porto de Vitória era utilizado para alguns embarques para o

Mediterrâneo com o armador Westfal Laersen, entretanto o contrato com a CODESA – autoridade portuária de Vitória, foi rompido em 2009. Sendo assim, as análises dos dados de embarque, a descrição e a simulação da situação atual levará em consideração apenas a exportação através do Porto de Barra do Riacho. Como o Porto de Vitória pode ser utilizado de acordo com os contratos com os armadores, este ao ser considerado na análises de soluções alternativas, estará sujeito à negociação de um novo contrato com a CODESA.

O transporte da celulose do armazém de Mucuri até o Porto de Barra do Riacho é feito através de caminhões Bi-trem (52t ou 46t), principalmente, mas também podem ser utilizados caminhões do tipo Rodotrem (40t) ou Carreta (26t). O tempo despendido nesta rota é de, aproximadamente, 7 horas. O carregamento dos veículos para retirada de carga do armazém é de 200 toneladas por hora, em média. Isto equivale a uma capacidade de escoamento para os portos de até 4.800 tons/dia.

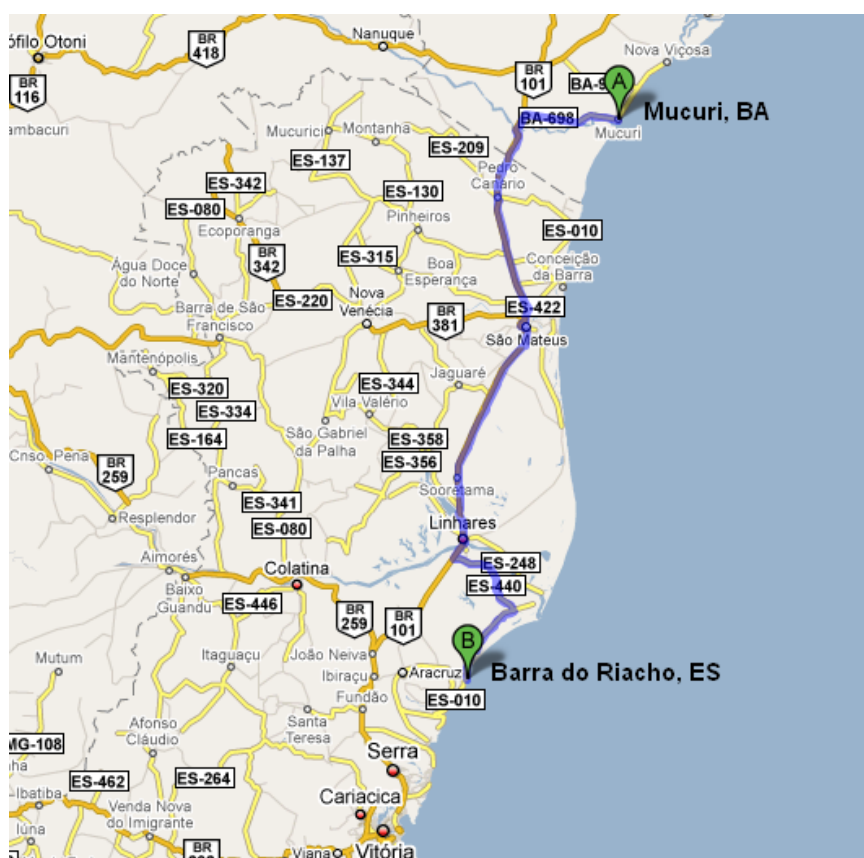


Figura 5 - Rota da cidade de Mucuri, BA até o Porto de Barra do Riacho, ES

Fonte: Google Maps - ©2009 Dados cartográficos MapLink/Tele Atlas. – Adaptado pelo autor.

A celulose enviada para o porto é estocada no armazém do mesmo até a chegada do navio no qual será embarcada. A capacidade de armazenagem disponível para Suzano em Portocel é de 60.000 toneladas.

Atualmente, a empresa planeja o escoamento de celulose à Portocel com a intenção de disponibilizar toda a carga necessária para determinado embarque no primeiro dia dos Lay days do navio. Assim, deve haver prontidão da carga total no momento em que o capitão do navio emite o NOR (Notice of Readiness), declarando que o navio está pronto para carregar. O tópico de Análise dos embarques detalhará as características dos principais embarques de celulose realizados mensalmente pela Suzano.

As principais rotas realizadas pelos embarques contratados têm o propósito de abastecer os armazéns da empresa localizados na Europa, nos Estados Unidos e Ásia. São eles: Flushing - Holanda, La Pallice – França, Monfalcone - Itália, Livorno - Itália, Tarragona - Espanha, Baltimore, Beaumont e Mobile nos Estados Unidos, Qingdao e Changshu na China.

Conforme mencionado anteriormente, o escopo deste trabalho se limitará ao fluxo do produto acabado celulose originado da fábrica de Mucuri, BA, até o embarque do mesmo em navios *break-bulk* através do Porto de Barra do Riacho, ES.

4.4 Formulação e análise do problema

Conforme mencionado no item 1.4, o problema tratado neste trabalho se refere aos elevados gastos com o pagamento de multa de *demurrage* e frete morto aos armadores de carga *break-bulk* contratados. Com esta definição em mente, o canal logístico descrito no item 4.3 foi analisado a partir de uma visão mais crítica, a fim de delimitar os aspectos que geram incertezas no processo e que têm impactos sobre a disponibilidade de cargas para embarque e sobre o carregamento dos navios no porto.

4.4.1 Incertezas Inerentes ao processo

O processo de transferência de celulose da fábrica em Mucuri, na Bahia, para os terminais internacionais engloba diversas incertezas quanto ao resultado da operação. Para identificar as principais incertezas do sistema em estudo, foi elaborado um Diagrama e Ishikawa com a ajuda dos principais envolvidos com as atividades de planejamento e controle da produção, embarques, expedição e operações portuárias. O objetivo do diagrama apresentado na Figura 6 foi identificar as principais causas das ocorrências de *demurrage* e frete morto já registrados na Suzano e, conseqüentemente, conhecer as principais variáveis e incertezas inerentes às mesmas.

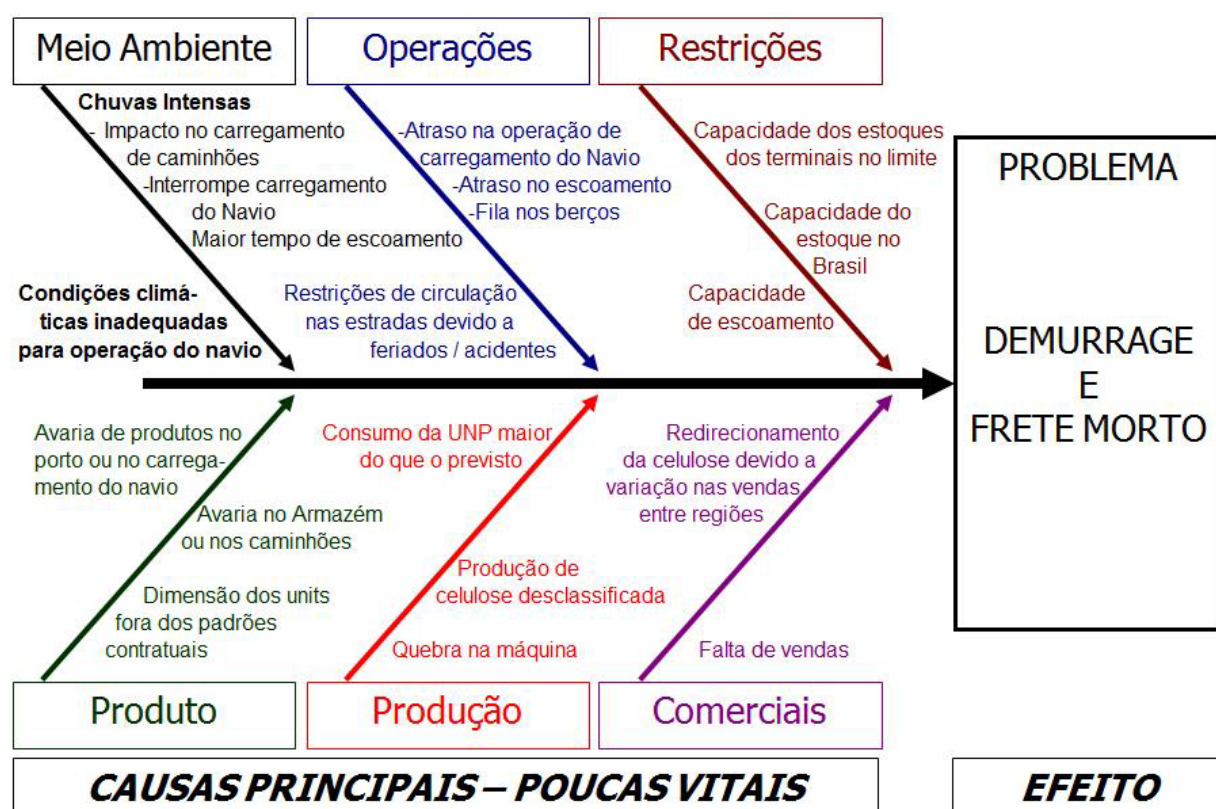


Figura 6 – Diagrama de Ishikawa para análise das principais causas do problema de demurrage e frete morto.

Fonte: Criado pelo autor.

Frente à análise das informações obtidas sobre o processo, foi possível observar as seguintes variáveis:

- Processo produtivo: incerteza quanto ao volume de produção diário, quanto à qualidade da celulose produzida, quanto à ocorrência de acidentes e paradas das máquinas, etc.
- Consumo da máquina de papel: incerteza quanto à demanda diária da máquina de papel, que pode ficar acima ou abaixo da previsão, o que altera a quantidade de celulose seca (produto acabado) final disponível para comercialização;
- Escoamento da celulose da fábrica até o porto: podem ocorrer variações quanto ao tempo total de percurso das carretas devido às condições das estradas, devido às paradas dos motoristas, acidentes, ou ainda em razão de exigências fiscais, nos pontos de checagem da polícia rodoviária. O escoamento também pode ser afetado por greves dos funcionários do porto e também pela quantidade de caminhões a serem carregados para os clientes do mercado interno. Quanto maior a quantidade de carretas para o MI, menor a disponibilidade para escoamento para Portocel;
- Quantidade a ser embarcada em cada um dos navios: do momento da declaração da quantidade a ser transferida ao momento do embarque podem ocorrer alterações nos mercados e nas demandas de cada região fazendo com que haja necessidade de revisar os embarques planejados e redirecionar os produtos a outros mercados a fim de tirar proveito de novas oportunidades de vendas e novas estratégias de mercado;
- Chegada dos navios ao porto de origem para carregamento: os navios devem, por contrato, chegar ao porto de origem dentro de uma janela de tempo (Lay days) que pode ter de 8 a 11 dias. Além da imprecisão quanto a real data na qual se efetivará o embarque, os navios ainda podem atrasar além dos lay days e

declarar “motivo de força maior”, tais como acidentes marítimos, eventos da natureza, etc.

- Condições climáticas inadequadas para a operação dos navios como chuvas intensas podem atrasar as diversas operações envolvidas a causar algum gasto com *demurrage*. Entretanto, como este é um fator fora do controle da empresa, não será abrangido neste trabalho.
- Outra possível causa para as ocorrências de *demurrage* e frete morto é a inadequação das dimensões das unidades de carga (estrutura composta por oito fardos de celulose) às especificações contratuais para embarques com os armadores. Embora haja o registro de três dessas ocorrências, a empresa considera que este problema está sob controle.
- Também é importante lembrar que os produtos que têm qualidade EP, mas que sofreram algum tipo de avaria nos processos de armazenamento ou movimentação, não podem ser exportados. Em comunhão com os analistas do processo, determinou-se que não há necessidade de inserir esta incerteza no modelo do sistema, pois as ocorrências foram irrelevantes e estão bem controladas.
- As restrições quanto às capacidades máximas de armazenagem dos armazéns de Mucuri e Portocel também foram consideradas como potenciais causas para o problema de *demurrage* e frete morto porque, para atender a dois ou mais embarques de grande quantidade num curto período de tempo pode ser necessário disponibilizar mais celulose do que comporta o armazém, obrigando algum dos navios a aguardar para carregar.

Diante dos comentários acima, concluímos que o problema a ser abordado com a técnica da modelagem e simulação consiste em encontrar maneiras como as incertezas devem ser trabalhadas no processo de planejamento de embarques, como devem ser as configurações de

estoques, de volumes de navios, e outras componentes da cadeia para que sejam minimizados os custos de multa por sobreestadia de navios e pagamento de frete morto.

4.5 Identificação das variáveis

Em consideração às informações levantadas e ao escopo do trabalho, indentificou-se que as variáveis de estado do sistema a serem trabalhadas nas rodadas de simulação serão principalmente o perfil de volumes dos embarques e os níveis de estoques nos armazéns. Também procederemos com breves análises sobre a variabilidade de produção, sobre a variabilidade das vendas diárias para o mercado interno, além dos termos dos contratos com armadorés e o porto de embarque.

4.6 Levantamento e análise de dados

Diante da análise do problema aqui proposto e das variáveis envolvidas nos processos da cadeia de suprimentos da empresa nas etapas do canal logístico de *outbound*, verificou-se a necessidade em levantar os dados a respeito de cada uma dessas etapas, tais como:

- Comportamento da produção de celulose;
- Características do escoamento e as principais interferências em suas operações;
- Perfil dos embarques no porto quanto ao volume de cada embarque, perfil de chegada dos navios, etc.
- Operações portuárias.

Os dados a serem analisados e utilizados na modelagem foram coletados na Suzano Papel e Celulose em planilhas e nos softwares da empresa. Tanto os dados de produção quanto os de embarques referem-se ao período de 1º de janeiro de 2008 a 31 de julho de 2009. Este intervalo de tempo pôde fornecer uma base histórica consistente para a construção dos parâmetros necessários à modelagem do sistema, visto que representa 18 meses de funcionamento da Linha 2 de Mucuri e da operação de embarques com os dois armadores contratados.

O tratamento estatístico das informações foi realizado com o uso dos softwares Minitab® 15.1.30.0. e Input Analyzer Versão 7.0, este é um componente do software de simulação Arena Versão 7.0.

4.6.1 Análise dos dados de Produção

4.6.1.1 Pressupostos

Para analisar o comportamento da produção de celulose de mercado na fábrica de Mucuri, foram coletados os dados de produção diária de Celulose Extra Prime realizada no período de 1º de janeiro de 2008 a 31 de julho de 2009. A Suzano sempre planeja a produção de celulose qualidade Extra Prime que pode ser usada para exportação (portanto, nos embarques). Celulose com qualidade P, P1 e OG são resultados não desejados de problemas no processo de fabricação. Como estas celulosas desclassificadas não podem ser usadas para a exportação, foram desconsiderados nesta análise.

Através de conversas com pessoas responsáveis pelo planejamento de embarques e produção, concluiu-se que seria razoável modelar o perfil de produção com base nos valores produção de celulose de qualidade EP. Os dados coletados revelaram que a média de desclassificação mensal é de 5% da produção mensal, o que equivale a, aproximadamente, 5,8kt. A maior parte desta produção é destinada para as vendas do MI. Cerca de 25% desta celulose desclassificada, de 1kt a 2kt pode ser utilizada para exportação, porém, esta alocação só ocorre caso haja falta de produto para atender a um navio prestes ou já atracado no porto. Na modelagem desenvolvida, este percentual não foi considerado para a definição da distribuição de probabilidade da produção diária.

Outra simplificação que pôde ser utilizada a partir da análise dos dados trata-se da unificação (soma) da produção diária de Linha 1 com a produção da Linha 2. Isto pode ser feito porque ambas as linhas são aptas a produzir os mesmos produtos e, para os embarques considerados neste trabalho, não há diferenciação entre os produtos provenientes das duas linhas de produção. Ou seja, os embarques podem ser atendidos por produtos tanto da linha 1 quanto da linha 2. Além disso, outra justificativa para esta simplificação é o fato de que o próprio planejamento de produção considera o inter-cambiamento dos produtos das duas linhas para

atendimento dos embarques. Pesquisas revelaram que, nos casos em que uma das linhas apresentou algum problema e não conseguiu atender à programação planejada a tempo de carregar um dado navio, o plano de produção é alterado para transferir o saldo pendente de uma linha para outra.

Com base nas informações descritas quanto ao processo produtivo da unidade de Mucuri, as classificações dos produtos e nos dados de quantidade produzida de cada uma dessas especificações de celulose, estabeleceu-se que, na modelagem deste trabalho, o produto pode ser tratado como único. Descontando-se a porcentagem de celulose desclassificada, os dados históricos revelam uma média mensal de produção de celulose EP MEAD e EP “S” (com capa e sem capa) de apenas 7,5% do total, evidenciando que tratar o sistema como a cadeia de apenas um item - uma *commodity* – é bastante plausível.

4.6.1.2 Tratamento dos dados

O primeiro passo na análise do comportamento da produção diária consistiu na observação da variação do volume de produção diário em ordem cronológica. No Gráfico 1 e no Gráfico 2, pode-se observar que a variabilidade da tonelagem produzida diariamente é consideravelmente alta e aparentemente não segue nenhuma correlação com o dia do mês ou o mês do ano. Diante disso e do fato de que diversas variáveis impactam no resultado da produção de maneira aleatória, considera-se que a produção diária de celulose em Mucuri pode ser tratada como uma variável estocástica.

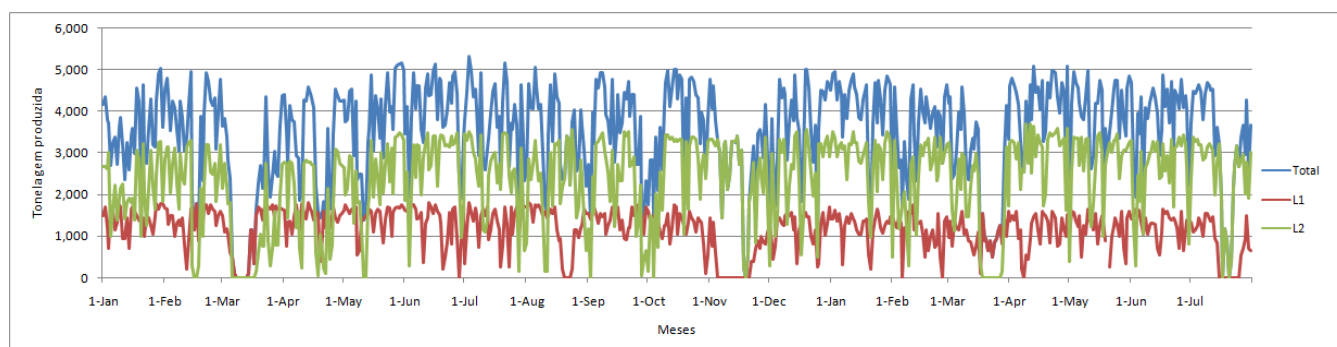


Gráfico 1 - Produção diária de celulose (tons) na Unidade de Mucuri de Jan/08 à Jul/09

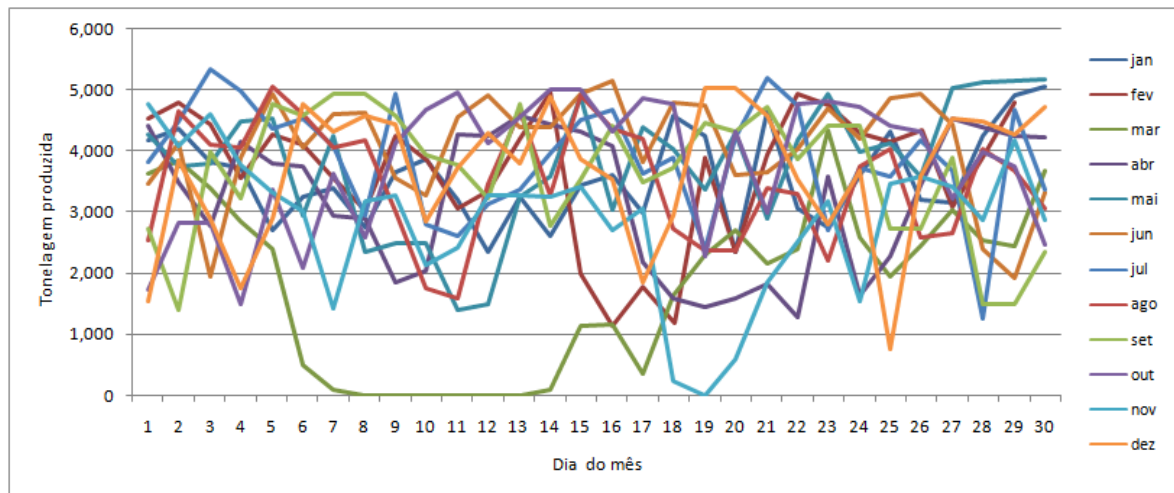


Gráfico 2 - Produção diária durante o ano de 2008.

*Segundo Juran (1998), todos os processo industriais exibem alguma variação composta por uma componente permanente no tempo, inerente aos processos, e por outra intermitente. São atribuídas à componente permanente, chamada de variação aleatória, causas acidentais e indetermináveis, e à componente intermitente causas determináveis. O autor também diz que essa variação pode ser convenientemente quantificada por amostragem dos dados de saída dos processos e pela estimativa dos parâmetros de sua distribuição estatística.*¹

¹Trecho retirado da dissertação de mestrado de Castro Neto (2006).

Com base nas informações acima, pode-se assumir a variável produção como estocástica, e então utilizar uma distribuição de probabilidades para representar o comportamento da mesma numa modelagem deste sistema. Com o uso do software Input Analyzer foram feitos os teste de aderência dos dados às distribuições Beta, Triangular, Weibull, Normal, Erlang, Gama, Uniforme, Lognormal e Exponencial. Como pode ser observada no gráfico XX, a distribuição que melhor se adequou aos dados de produção é a Beta, com a função:

$$Pr\ odução_do_dia = \beta(3,21;1,46) \times 5.330 \quad (1)$$

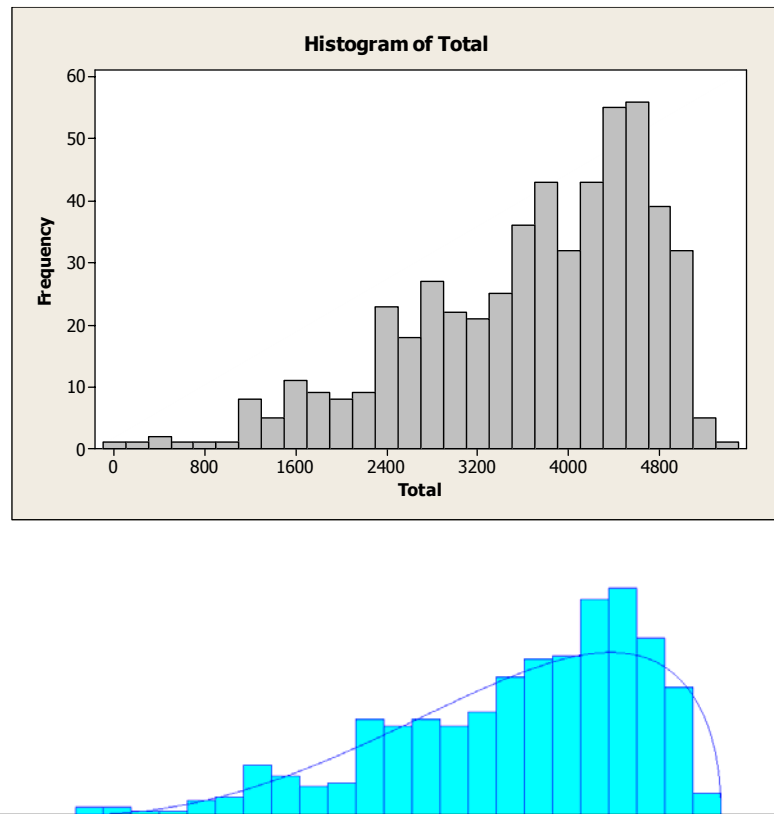


Gráfico 3 - Histograma da produção diária de celulose (tons) na Unidade de Mucuri de Jan/08 à Jul/09 e aderência da distribuição Beta(3,21; 1,46)*5.330 aos dados.

Depois de gerar dados aleatórios com esta função no MINITAB, simular a produção diária no modelo piloto do ProModel e comparar os resultados com os valores de 2009, verificou-se a necessidade de adaptar os parâmetros da função. Como a linha 2 de produção passou por uma curva de aprendizagem no período Janeiro à Setembro de 2008, foi feita uma segunda análise da produção no período de 1º janeiro à 20 de outubro de 2009, através da qual detectou-se uma pequena melhora na estabilização do nível de produção.

A partir desta segunda análise, e utilizando-se dos mesmos métodos para validação (geração de dados aleatórios com esta função no MINITAB, simular a produção diária no modelo piloto do ProModel e comparar os resultados com os valores de 2009), estabeleceu-se a função (2) que se segue:

$$Pr odução_do_dia^* = \beta(3,1;1,05) \times 5.000 \quad (2)$$

Todo mês, o departamento de produção revisa o número de produção para os três próximos meses. Este processo é chamado de *Rolling Forecast (RF)*. A primeira declaração de embarque é realizada considerando o plano base (4.400t/dia), mas com 30 e 15 dias antes do embarque o embarque pode ser ajustado em 10 e 5% com base no RF.

A análise dos dados de produção do período de Janeiro de 2008 a Outubro de 2009 deixou evidente que o nível de produção diário da fábrica não está estabilizado. Considerando a amostra representativa e suficientemente grande para permitir conclusões sobre a produção, nota-se que o planejamento de embarques ainda incorrerá em gastos com demurrage e frete morto se continuar a usar o valor base de produção para declaração dos embarques sem considerar a variabilidade inerente ao processo. Em 2008, a produção realizada ficou 10% inferior ao plano base e 11% inferior ao RF. Em 2009, a tendência é de que a produção termine o ano 11% abaixo do plano base e 7% inferior ao RF.

Diante de todo o exposto acima, foi possível detectar um primeiro resultado do estudo aqui proposto, quanto à variabilidade e caracterização de variável estocástica para o perfil produção diária, que deve ser levada em consideração para melhor administração dos embarques.

4.6.2 Análise do tempo entre a saída dos fardos da enfardadora até a armazenagem

Na fábrica de Mucuri, a produção é realizada em lotes de 50 toneladas (25 units). Cada um desses lotes, depois de produzidos e enfardados em units de 2t cada, são movimentados por empilhadeiras até o armazém, onde aguardarão até serem disponibilizados no estoque.

Neste intervalo de tempo, que leva cerca de de 3 a 4 horas, o laboratório de qualidade coleta uma amostra do lote, analisa sua qualidade e faz medições sobre os valores de cada uma das especificações do produto para classificá-lo. Apenas após este processo, o lote é liberado para ser escoado ao porto ou carregado para o MI.

Na modelagem do ProModel, a entidade que representará o produto será o UNIT (unidade de carga). Diante disso, foi necessário determinar o tempo médio que cada Unit gasta entre a saída da fábrica e a disponibilidade no armazém. Para isto, o seguinte raciocínio foi considerado:

- As linhas 1 e 2 funcionam simultaneamente;
- Se a linha 1 produz 1.500 toneladas/dia e a linha 2 produz 2.900 toneladas/dia; por uma simples regra de três, tem-se que a cada hora são liberados cerca de 4 lotes para análise de qualidade;
- Se os lotes aguardarão em média, 3,5 horas para serem liberados (o laboratório pode trabalhar com mais de um lote simultaneamente), cada *unit* (2 toneladas) aguardaria então por 2 minutos.

As informações e conclusões obtidas acima foram coletadas e validadas com pessoas da produção e expedição da fábrica. Também foi realizado um teste no modelo piloto que apresentou resultados coerentes com o sistema real.

4.6.3 Análise da Desagregação de celulose de mercado

A desagregação de celulose para as máquinas de papel só acontece caso sobrevenha algum problema nas etapas de produção de celulose precedentes à torre, ou parada de produção da linha 1 de Mucuri ou ainda da linha de produção da unidade de Suzano.

No ano de 2008 foram registradas 3 ocorrências de desagregação do estoque de celulose de mercado de Mucuri: Março – 992t, Agosto – 1.563t e Novembro – 9.951t; e no ano de 2009 também foram registradas 3 ocorrências: Maio – 2.140t, Julho – 3.919t e Agosto - 1.292t. A desagregação registrada em Novembro de 2008 foi um caso atípico que se deu função de uma parada de 15 dias da Linha 1 anunciada pela empresa para buscar um ajuste entre oferta e demanda do mercado, desequilibrado devido à crise financeira de 2008 que atingiu seriamente o setor e papel e celulose mundial.

Diante desta pesquisa e de convexas realizadas com as pessoas que controlam os processos de desagregação, concluiu-se que seria razoável modelar a ocorrência de desagregação por três vezes no período de um ano, distanciadas por aproximadamente 3 meses e de cerca de 2.450 toneladas cada uma.

Na lógica de programação, a cada 100 dias a partir do início da replicação são encaminhados 47 caminhões para carregarem 52 toneladas cada e transferirem o produto para a fábrica de papel.

4.6.4 Análise das vendas para clientes do Mercado Interno (Brasil)

Para análise das vendas aos clientes do Mercado Interno, foram coletados os registros históricos de carregamentos realizados diariamente no período de 1º de janeiro de 2008 à 19 de outubro de 2009.

Primeiramente, distinguiu-se as vendas de produtos EP e desclassificados. Para modelagem computacional, somente será relevante o padrão de vendas de produto EP, visto que a parcela de produtos desclassificados já foi excluída da análise de produção e não terá impactos significativos sobre o sistema. De acordo com o levantamento de dados, as vendas para o MI consomem quase toda a produção de celulose desclassificada, o que equivale a cerca de 66% das vendas mensais para o MI.

Em seguida, os dados das quantidades diárias de celulose EP entregues ao MI foram analisados com o uso do Minitab e apresentaram boa aderência a uma distribuição Gama de parâmetros de forma 2,196 e de taxa 103,3, conforme fórmula (1) abaixo:

$$Quabtidade_diária_carregada_para_MI = \gamma(2,196;103,3) \quad (1)$$

A utilização da distribuição Gamma foi possível, porque a análise consistiu em avaliar a quantidade entregue nos dias em que há entrega. Apenas não ocorrem entregas em certos finais de semana. Este padrão de entregas e o perfil da quantidade foram modelados de acordo para simulação.

É importante considerar também, que para atender às estas entregas, o transporte é feito pelo modal rodoviário, com uso de carretas de 26 toneladas cada. O tempo de carregamento dessas carretas é proporcional ao tempo despendido no carregamento dos bi-trens que transportam a celulose para o porto.

4.6.5 Análise do escoamento

Para modelar o padrão de funcionamento do escoamento da celulose para o porto de Barra do Riacho a partir de Mucuri, foi necessário conversar com as pessoas responsáveis pelo planejamento e expedição da fábrica. As informações colhidas são valores médios estabelecidos pelo pessoal da operação, que trabalham há mais de um ano nestes departamentos.

Conhece-se que a capacidade média de carregamento é de 4.400t/dia. Cerca de 68 veículos (caminhões bi-trem de capacidade de 52t) estão disponíveis para realizar a rota Mucuri – Portocel. A capacidade de escoamento para o porto é afetada pelo carregamento de caminhões para o MI, pois as equipes são obrigadas a carregar primeiro os caminhões do MI e depois atender ao plano de escoamento.

As equipes da expedição da fábrica trabalham das 0h00 às 16h00 carregando caminhões com os materiais produzidos na Linha 2, e das 16h00 às 24h00 carregando caminhões com os materiais produzidos na Linha 1. Sendo assim, num período de 16 horas são carregadas em média 2.900t da L2 e, em 8 horas, 1.500t da L1. Logo, a taxa de carregamento seria de 187 t/h para L1 e 181t/h para L2. Como optou-se por não fazer a distinção entre linhas, a média desses valores pôde ser utilizada: 184t/h.

4.6.6 Análise dos embarques

A empresa carrega mensalmente, através de Portocel, seis embarques que visam abastecer aos seus outros armazéns e também atender a clientes em vendas CFR. Os embarques analisados serão descritos conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Siglas de cada um dos embarques realizados mensalmente, com designação dos destinos, lay days e armador de cada um deles

Navio	Sigla	Destino	Lay days	Armador
1	EUR 1	Flushing (Holanda) e La Pallice (França)	1 a 10	SAGA
2	EUR 2	Flushing (Holanda)	15 a 25	SAGA
3	MED 1	Monfalcone (Itália) e Livorno (Itália)	11 a 18	Westfal
4	MED 2	Tarragona (Espanha), Livorno e Napoles (Itália)	23 a 30	Westfal
5	EUA	Baltimore, Beaumont e Mobile (Estados Unidos)	25 a 5	Westfal
6	ASIA 1	Qingdao e Changshu (China), outros portos da Ásia	17 a 27	SAGA
7	ASIA 2	Qingdao e Changshu (China), outros portos da Ásia	17 a 27	SAGA

O embarque para Ásia poderia ser um só, mas como a quantidade é geralmente grande, o armador opta por fazê-lo em dois navios. Para simplificação e melhor modelagem, optou-se por dividir o embarque da Ásia em dois: ASIA 1 e ASIA 2.

4.6.6.1 Premissa do estudo: Contrato assinado com os armadores

Uma das premissas fundamentais assumidas neste estudo trata-se do cumprimento dos contratos assinados entre a Suzano Papel e Celulose e os armadores: Saga Forest Carriers e a Westfal-Larsen Shipping.

Dois contratos foram assinados com a Saga Forest Carriers: um para os embarques que atendem ao Norte da Europa e outro para os embarques com destino à Ásia. A duração dos contratos é de 1º de janeiro de 2008 a 31 de dezembro de 2015.

Outros dois contratos foram assinados com a Westfal-Larsen Shipping: um para os embarques que atendem aos portos do Mediterrâneo e outro para os embarques com destino aos Estados Unidos. A duração dos contratos é de 1º de janeiro de 2008 a 31 de dezembro de 2012.

Os contratos abrangem uma série de cláusulas que delimitam e restringem os aspectos relativos aos transportes a serem realizados pelo armador para a Suzano, via navios *Break-Bulk*, do Brasil para os portos contratados. Entretanto, serão destacadas somente aquelas que têm impacto direto ou indireto sobre o problema de custos com *demurrage* e frete morto abordado neste trabalho.

- Cláusula de quantidade anual a ser transportada pelo armador nas condições do contrato. Cada um dos quatro contratos estabelece uma quantidade mínima, média e máxima com as quais o armador se compromete a disponibilizar espaço para embarque e o fretador se compromete a embarcar. Por meio desta cláusula, o armador pode exigir o pagamento de frete morto se a quantidade total embarcada no ano ficar abaixo do mínimo acordado.
- Cláusula sobre a declaração do volume a ser embarcado em determinado mês. Esta cláusula estabelece que a empresa deve declarar dentro de 90 dias antes do primeiro dia dos Lay days a quantidade planejada para embarque. Para os contratos com a Saga, este volume pode variar em mais ou menos 10% até 30 dias antes do primeiro dia dos Lay days e até 3% ou 1.000t, o que for menor, até 15 dias antes. Para os contratos com a Westfal, este volume pode variar em mais ou menos 10% até 30 dias antes do primeiro dia dos Lay days, até 5% ou 800t, o que for menor, até 15 dias antes e até 1% ou 200t até 5 dias úteis antes. Assim, caso a quantidade total acordada por embarque, não estiver completa na viagem nomeada, se aplicará o frete morto.
- Cláusula que determina os portos brasileiros que podem ser utilizados para embarque: para todos os contratos os portos devem ser Portocel na Barra do Riacho, ES, ou Porto de Vitória, ES. O porto deve ser nomeado pela empresa dois meses antes do 1º dia dos Lay days.
- Cláusula sobre a taxa de frete a ser aplicada durante a vigência do contrato. A cobrança do valor do frete morto é feita com base no valor deste fretes menos as despesas de carga e descarga. Os contratos estabelecem diferentes fretes para os

diferentes destinos e, para alguns casos, há correção do valor com o passar dos anos.

- Cláusula que estabelece o valor do *demurrage* a ser pago pela empresa ao armador e condições de cálculo de *demurrage* e *dispatch*. A multa por *demurrage* é um valor fixo para todos os anos, dado em dólares por dia, mas pode ser cobrado por parte do dia ou horas. Para os contratos com a SAGA, este valor é cerca de 20% maior do que para os contratos com a Westfal, entretanto, as condições que caracteriza a incidência da multa são as mesmas para ambos.

4.6.6.2 Quantidades dos embarques

A análise das quantidades embarcadas mensalmente para cada uma das rotas contratadas (EUR 1, EUR 2, MED 1, MED 2, EUA e ASIA) foi realizada em duas etapas. Na primeira delas, foram coletados os dados históricos dos embarques realizados e foi feita uma análise desses dados no MINITAB, sem qualquer tipo de interferência nas informações. Na segunda etapa, foram levantados todos os registros de embarques cancelados (que geraram o pagamento de frete morto) por alguma razão cuja origem remete a problemas logísticos e da cadeia de suprimentos (como falta de produtos devido a problemas de produção, atraso no escoamento, produtos inadequados, entre outros), e não em razão de problemas com vendas (mercado, falta de vendas, vendas canceladas, etc.). Esses registros foram considerados como embarques planejados, pois em cenários alternativos e soluções possíveis, espera-se se que estes e todos os embarques planejados possam ser atendidos com o mínimo de gastos com *demurrage* e/ou frete morto.

Na coleta de dados, observou-se que os embarques para Ásia chegaram a ser feitos em até 4 navios num mesmo mês. Entretanto, uma pesquisa mais detalhada revelou que, nestes casos, a quantidade total do embarque mensal era superior a 80.000 toneladas. Além disso, também se notificou que estes eram casos atípicos, nos quais foram adotadas estratégias de vendas ousadas e diferenciada que só foi possível em função dos altos estoques que os outros terminais mantinham devido à brusca queda na demanda no final de 2008 e início de 2009. Diante disso, duas simplificações encontraram respaldo para sua utilização:

- a modelagem de apenas um navio ASIA 2, somando-se as quantidades dos embarques ASIA 2, ASIA 3 E ASIA 4;

- desconsiderar o volume adicional dos meses em que os embarques da Ásia somaram mais de 80.000t, pois não é sustentável para a empresa manter este perfil de embarque.

O resultado do tratamento dos dados dos embarques realizados na segunda etapa pode ser visualizado na Tabela 2. Foi possível utilizar distribuições normais para as quantidades de todos os embarques.

Tabela 2 – Distribuições de probabilidade para as quantidades de cada um dos embarques

Embarque	Distribuição	P-value
MED 1	Normal(11.421; 7.674)	0,133
MED 2	Normal(10.580; 6.090)	0,261
EUR 1	Normal(16.630; 5.070)	0,241
EUR 2	Normal(14.843; 10.243)	0,364
EUA	Normal(8.300; 5.654)	0.624
ASIA 1	Normal(18.244; 9.386)	0,528
ASIA 2	Normal(25.161; 10.395)	0,822

Conforme descrito no item 4.5, identificou-se que a configuração dos embarques deve ser uma das variáveis do sistema a ser analisada e alterada em cada um dos cenários a serem simulados. Sendo assim, os parâmetros das distribuições de probabilidade foram sendo reavaliados e alterados nas etapas de validação e nas rodadas do modelo computacional, para que melhor representassem o comportamento do sistema real, a tendência mais recente (avaliada com os dados de 2009) de direcionamento das vendas (traduzidas nas quantidades dos navios), etc.

4.6.6.3 Chegada dos navios no porto

Para analisar o padrão de chegada dos navios ao Porto de Barra do Riacho para carregar o embarque da Suzano, foram levantadas todas as datas de chegada dos embarques mensais para cada uma das rotas contratadas (período de janeiro de 2008 a agosto de 2009). Para elaborar um gráfico e identificar uma distribuição de probabilidade que representasse adequadamente esta

variabilidade, a data de chegada do navio no porto foi analisada em termos de “quantos dias a partir do primeiro dia dos lay days deste embarque o navio emitiu o NOR no porto”. Por exemplo, no caso de um embarque para a Europa do Norte que chegou em Portocel no dia 8 e tem lay days de 1 a 10 do mês, equivale a ter chegado no 9º dia do laycan. Assim, o valor apresentado no gráfico será o valor 9. Este cálculo foi realizado da seguinte maneira:

$$\text{Dia de chegada a partir do 1º dia do laycan} = \text{Data de chegada} - 1^\circ \text{ dia do laycan} + 1$$

No caso dos embarques da Ásia, havendo mais de dois navios num mês, optou-se pela utilização da data do segundo embarque.

Em seguida, com o uso do MINITAB e Input Analyzer, foram identificadas distribuições de probabilidade adequadas para representar os mesmos atrasos e também o comprometimento com os intervalos de lay days observados pelos navios contratados. A Tabela 3 sintetiza as distribuições encontradas.

Tabela 3 - Distribuições de probabilidade para o dia dos lay days de chegada do navio no porto

Embarque	Distribuição	P-value
MED 1	Normal(8,421; 7,343)	0,083
MED 2	Normal(9,243; 4,959)	0,348
EUR 1	Normal(7,667; 4,715)	0,150
EUR 2	Normal(8,9; 5,553)	0,309
EUA	Normal(8,444; 5,522)	0,209
ASIA 1	Normal(4,619; 3,401)	0,159
ASIA 2	Gama(2,752; 4,323)	>0,250

4.7 Construção do modelo

A partir da definição dos principais parâmetros do modelo, realizada através da coleta e análise dos dados, e com o levantamento de informações detalhadas sobre os processos e operações do sistema em análise, prosseguiu-se com a construção do modelo computacional.

Toda a programação foi construída com base no fluxo do produto (celulose) apresentado na Figura 4 do item 4.3. A interface gráfica do modelo computacional construído no ProModel versão 7 pode ser observada na Figura 7.



Figura 7 - Interface gráfica do modelo

Em função das características do software selecionado, algumas adaptações aos parâmetros obtidos foram necessárias para traduzir o comportamento e funcionamento do sistema à lógica do software. As principais características da lógica serão descritas a seguir.

4.7.1 Entidade

A entidade escolhida para percorrer o modelo e gerar os resultados mais adequados foi a unidade de carga de celulose (*Unit* de 2 toneladas – 8 fardos), pois esta é a menor unidade do produto utilizada para fins de embarque.

4.7.2 Produção

A produção é representada através da chegada de *units* no sistema. A variação da produção diária foi feita por meio da variação da frequência de chegada de *units* na fábrica de Mucuri. A frequência é alterada a cada 24h, de acordo com o volume de produção do dia.

Depois de chegar ao sistema os *units* aguardam por um pequeno período de tempo para serem disponibilizados para o carregamento no armazém de Mucuri. A partir do armazém, os *units* de celulose serão colocados a bordo dos caminhões na Doca, conforme lógica da Figura 9. O fluxo dos *units* de celulose no modelo poder observado na Figura 8. Para restringir a capacidade de carregamento de caminhões na Doca, foram inseridas variáveis para contarem a quantidade e tipo (portanto tonelagem) de caminhões carregados num período de 24h. Quando esta variável ultrapassa o valor da capacidade máxima diária (4.425t/dia), as carretas são obrigadas a esperar.

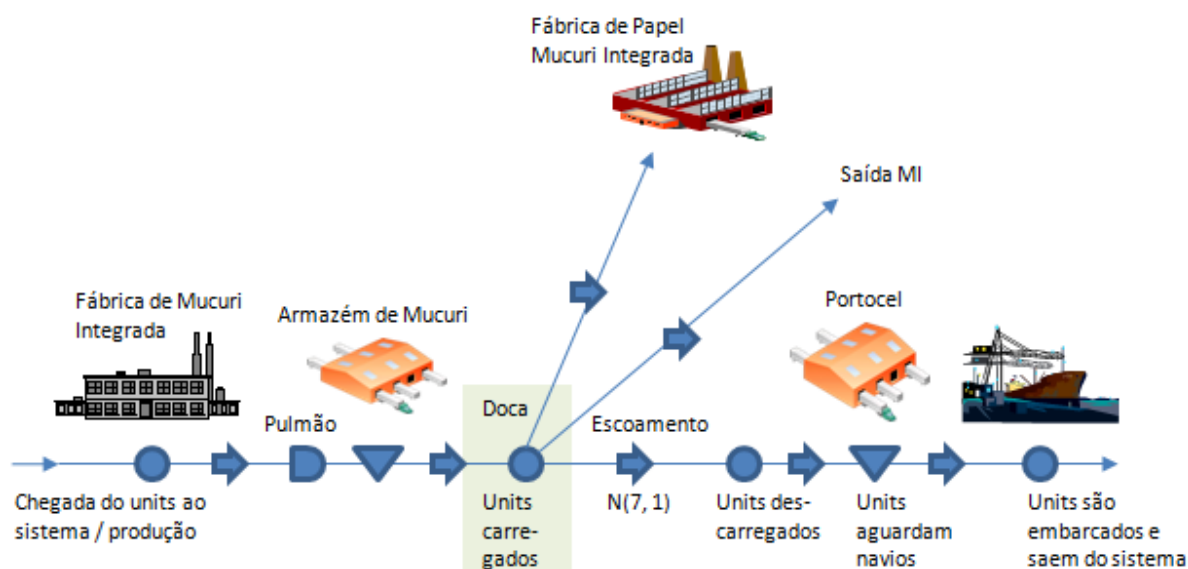


Figura 8 - Fluxo dos units de celulose no modelo

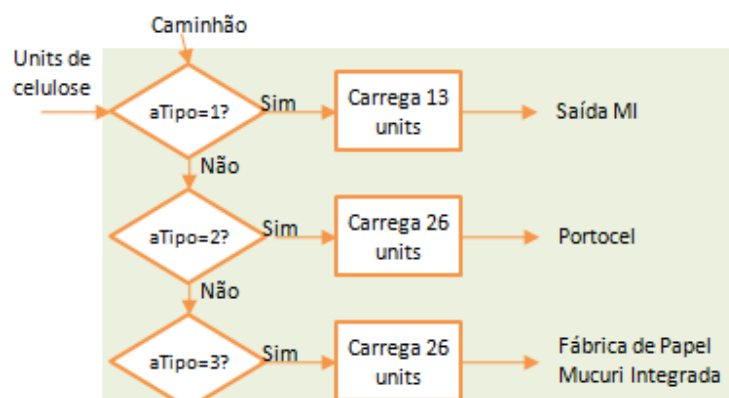


Figura 9 - Lógica para carregamento dos caminhões e destinos dos units na doca

4.7.3 Caminhões

A modelagem contemplou três tipos de caminhões para atuarem no sistema: caminhões para carregamento do MI (atributo $aTipo = 1$), para escoamento para o porto ($aTipo = 2$) e para carregar celulose com para desagregação ($aTipo = 3$). A variabilidade da tonelagem carregada diariamente para as vendas do Mercado Interno também foi inserida na modelagem através da variação da frequência de chegada de caminhões do MI no sistema.

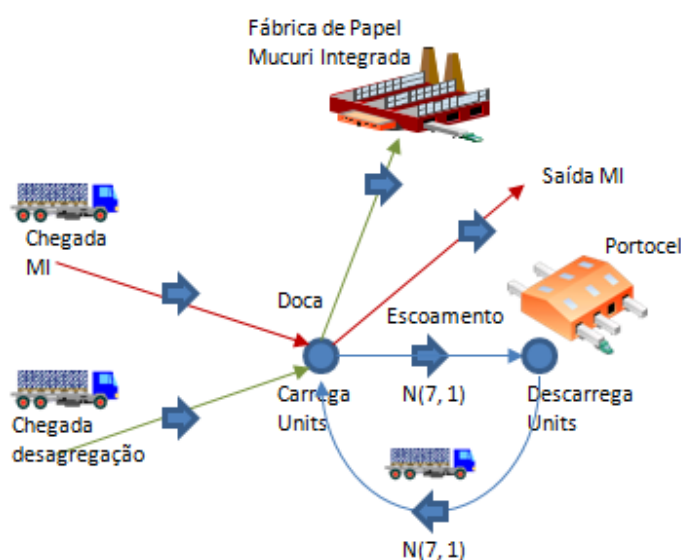


Figura 10 - Fluxo de entrada e saída dos caminhões no modelo

4.7.4 Navios

A programação dos navios foi feita da seguinte maneira: cada um dos navios chega num local fictício chamado “Embarque auxiliar” no primeiro dia de seus lay days. Neste local, um número aleatório é gerado a partir da função de probabilidade de chegada do navio no porto e armazenado na variável local “dias”. Este número determina o tempo que o navio levará para chegar ao porto. Por exemplo, se o número gerado for 2, o navio deve chegar em Portocel no segundo dia dos lay days, portanto, levará cerca de mais um dia (24h) para ir do ponto do embarque auxiliar até o berço do porto. A distribuição de probabilidade a ser utilizada depende do atributo **aNavio** do navio, que pode ser 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, respectivamente, EUR 1, EUR 2, MED 1, MED 2, EUA, ASIA 1 e ASIA 2. Para cada uma das sete rotas contratadas, chegarão ao sistema (no Embarque auxiliar) 12 navios espaçados de 30 dias cada.

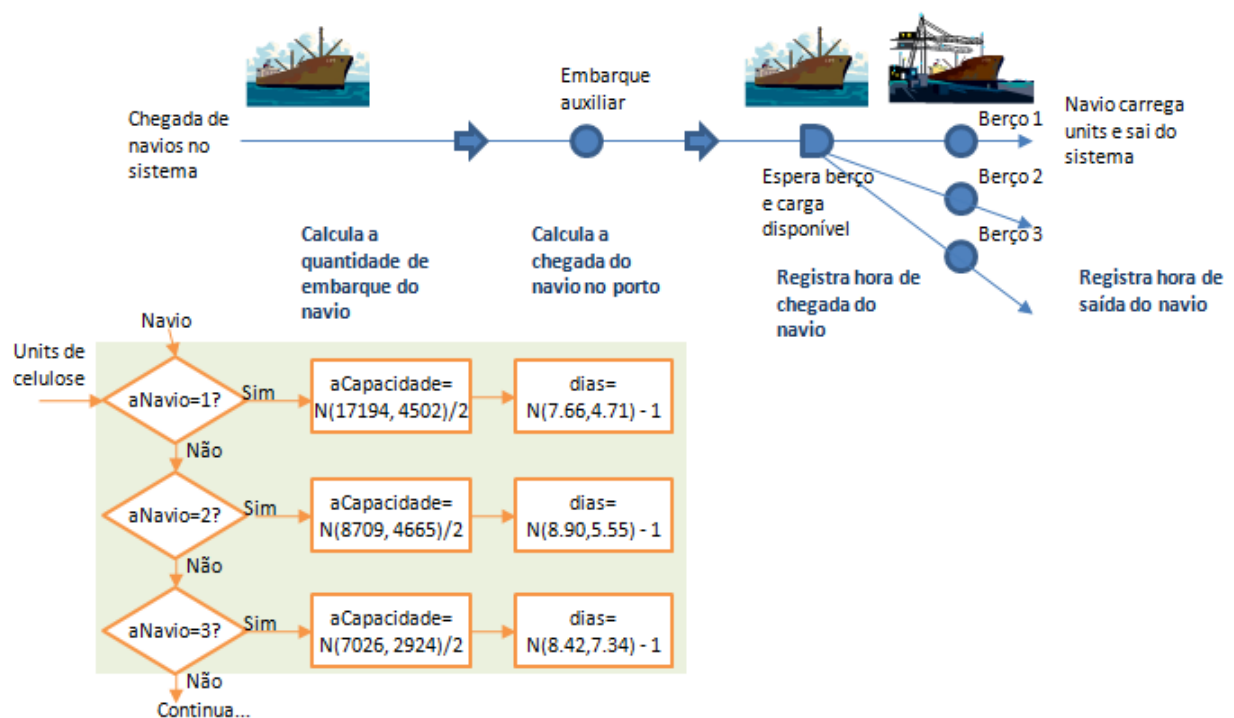


Figura 11 - Fluxo dos navios no modelo e lógica para determinar o volume de embarque e dia dos lay days de chegada no porto

Por fim, determinou-se um período de aquecimento do sistema de três dias, sendo suficiente para que os caminhões do escoamento recém chegados no sistema entrem em operação estável. Este número foi encontrado após diversas rodadas piloto com variados períodos de aquecimento. Quanto ao tempo de replicação, verificou-se que este deveria ser maior de 356 dias e suficiente para contemplar a chegada e a saída de cada um dos 84 navios que são carregados no período de um ano de operação da cadeia de suprimentos da Suzano. Assim, o tempo total de uma rodada da simulação não será exatamente igual para todas as rodadas, pois a simulação pode ser encerrada ao se detectar que todos os navios já saíram do sistema.

Foram criadas três variáveis globais para acumulassem valores no tempo (acumuladores), que guardariam as informações necessárias para a análise do desempenho do sistema. São elas:

- **vProducaoDiaria** – acumula o valor sobre a quantidade de units de celulose que chegam do sistema modelado por um período de 24h, quando é zerado e volta a acumular a soma. Equivale a produção diária da fábrica de Mucuri;
- **vQtdMucuri** – acumula o valor sobre a quantidade de units de celulose que entram no armazém de Mucuri para armazenagem. O valor desta variável decai a medida que os produtos são carregados na doca;
- **vQtdPortocel** – acumula o valor sobre a quantidade de units de celulose que entram no armazém de Portocel. O valor desta variável decai a medida que os produtos são embarcados nos berços do porto.

Além dos valores dessas variáveis, são exportados para um arquivo Excel os números associados aos atributos e variáveis locais sorteados para a operação de cada uma dos navios no sistema. Esses atributos são:

- **aNavio** – especifica o número do embarque (e, conseqüentemente, o destino) para que sejam associadas as distribuições de probabilidades da respectiva rota do navio;

- **aCapacidade** – Quantidade do embarque do navio, sorteada conforme variável aleatória associada;
- **aHoraChegada** – Hora de chegada do navio no porto para carregar;
- Cálculo da diferenças entre os atributos aHoraChegada e aHoraSaída para determinar quanto tempo o navio ficou no porto. Se a diferença (aHoraSaída – aHoraChegada) for maior do que o tempo de operação para carregar o navio ($\text{Volume do navio} \times \text{taxa de carregamento do porto}$), teremos a incidência de sobreestadia do navio;

4.8 Validação e verificação

Conforme descritos no item 3.5, os processos de validação e verificação são realizados em paralelo à coleta de dados e à construção do modelo. Como é possível observar nas descrições das análises dos dados coletados sobre a cadeia de suprimentos da empresa, duas das técnicas apresentadas foram mais utilizadas para certificar de que o modelo e as simplificações adotadas eram razoáveis e de que os resultados gerados seriam consistentes em relação ao comportamento do sistema real:

- A apresentação dos dados de entrada e resultados obtidos com a simulação à especialistas e pessoas que conhecem a fundo o processo real;
- e o uso de variações nos dados de entrada do modelo e verificação sobre a consistência das respostas.

Quanto à verificação da lógica e sintaxe no modelo computacional, o software ProModel oferece ferramentas que facilitam a identificação e correção dos erros de programação.

Quando todos os componentes do modelo estavam finalizados, foram realizadas diversas rodadas piloto para comparar os resultados obtidos às estatísticas e dados históricos disponíveis e realizar as devidas adequações aos parâmetros do modelo. Assim que os dados de saída mostraram-se condizentes com o comportamento e a tendência do sistema real, determinou-se a validade da modelagem para prosseguir com a simulação.

4.9 Simulação

4.9.1 Etapa 1: Observação de como se comporta o sistema real

Com o modelo validado e verificado, o primeiro passo da simulação consistiu na realização de replicações do cenário mais próximo da realidade do sistema.

O objetivo desta primeira etapa foi observar o funcionamento do canal logístico de outbound da empresa da forma como este realmente opera, sem a interferência das decisões das pessoas responsáveis pelo planejamento da logística e dos embarques no dia a dia.

O autor do trabalho, junto à equipe de Planejamento Integrado da companhia, percebeu que existiam certas crenças sobre o comportamento das operações da cadeia, crenças estas que eram divergentes entre os diferentes gestores e diferentes áreas. Logo, um dos resultados importantes deste trabalho para a empresa é a desmistificação de “pressupostos” sobre:

- O perfil de produção das linhas da fábrica de Mucuri e seus impactos sobre o planejamento de embarques;
- O impacto da aleatoriedade das chegadas dos navios no porto sobre o planejamento das operações de outbound;
- As capacidades dos armazéns de Mucuri e de Portocel (espaço contratado), julgadas em relação ao perfil de embarques realizado e desejado pela empresa;

4.9.2 Etapa 2: Geração de cenários alternativos

A segunda etapa da simulação foi a realização de rodadas com cenários alternativos quanto à configuração atual dos parâmetros do sistema. Conforme foi descrito no item 4.5, as variáveis de estado a serem alteradas para configuração de novos cenários foram, principalmente,

o perfil de volumes dos embarques e os níveis de estoques nos armazéns. Diz-se “principalmente”, porque alguns ajustes também foram realizados sobre a modelagem para que o sistema operasse conforme a tendência mais recente e desconsiderasse um pouco o comportamento mais antigo. A justificativa para estes ajustes se apóia nas análises de mercado publicadas para a empresa, no planejamento de demanda da companhia para os próximos anos e na opinião dos analistas da área, que acreditam que o comportamento apresentado nos últimos meses reflete melhor o que se espera para 2010.

A escolha dessas duas principais variáveis baseou-se no aspecto quanto ao poder de controle das mesmas pelas áreas da empresa abordadas neste trabalho - áreas diretamente envolvidas no planejamento de logística, distribuição e produção de celulose de mercado produzida na Unidade de Mucuri, utilizando para embarque os armadores já contratados. Também foi considerada na escolha, a factibilidade de implantação dos cenários alternativos.

Por meio da variação dos parâmetros do modelo, objetiva-se a identificação de uma combinação de características que forneça uma solução possível para o problema de demurrage e frete morto.

Ao todo, foram realizadas 15 rodadas. Alguns dos ajustes realizados entre as rodadas merecem destaque:

Período de aquecimento:

Para as Rodadas 1 e 2, a simulação foi programada para contar com 6 dias de aquecimento. Como não ocorre a chegada de nenhum navio no porto durante o período de aquecimento, não há saída de units de sistema e o estoque cresce continuamente no armazém de Portocel. Ao se iniciar o verdadeiro tempo de simulação, o estoque inicial alto distorcia o desempenho do sistema. Diante disso, testou-se o período de aquecimento de 3 dias para a rodada 3 e verificou-se que este número era adequado e suficiente. Assim, para as Rodadas de 3 a 15, o tempo de aquecimento foi de 3 dias.

Trasformação do resultado da distribuição que determina a quantidade dos embarques de toneladas para units

Pelo fato dos dados de embarques serem analisados em termos de tonelagem por embarque e a modelagem computacional ter sido construída em termos de units por embarque, houve a necessidade de converter os valores (1 unit = 2 toneladas) e funções obtidas. Primeiramente, nas Rodadas de 1 a 9, a fórmula utilizada para calcular a quantidade de embarque para cada um dos navios foi baseada na divisão por 2 dos parâmetros das funções encontradas nas análises dos dados. Entretanto, para as rodadas de 10 a 15, o cálculo da quantidade de embarque para cada um dos navios, foi feita de forma diferente, pois ao invés de dividir os parâmetros da função por 2, inserimos a função no seu formato original (resultado em toneladas) e procedemos com a divisão do resultado por 2. Esta segunda interferência fez com que os números gerados aleatoriamente nas funções de probabilidade, incorressem menores vezes em números menores ou iguais a zero.

Principais variáveis alteradas entre as rodadas:

- Parâmetros das distribuições de probabilidades que calculam as quantidades de cada um dos embarques;
- Capacidade de armazenagem de Portocel: ao invés de atribuir um valor à capacidade da localização “Armazém_Portocel”, foi inserida uma lógica segundo a qual o escoamento de carretas da fábrica para o porto é cessado quando a quantidade de produtos no armazém atinge o valor dessa variável, pois é assim que opera o sistema real.

O estoque do armazém de Mucuri foi mantido com a capacidade infinita em todas as rodadas para que pudéssemos analisar qual o impacto dessas alterações no estoque da fábrica e tentar identificar um novo valor de capacidade total que poderia ser mais adequado às operações da empresa.

Os resumos das características dos cenários alternativos podem ser observados nos dados da Tabela 4 a Tabela 18.

Tabela 4 – Parâmetros da Rodada 1

Período de aquecimento: 6 dias
 Capacidade de Portocel: Infinita units

aNavio / Rota do embarque	Distribuição de probabilidade	Quantidade dos embarques			
		Parâmetros Reais (t)		Parâmetros Modelo (units)	
		Média	StDev	Média	StDev
1 EUR 1	Normal	16260	5225	8130	2613
2 EUR 2	Normal	14399	11100	7200	5550
3 MED 1	Normal	10917	7693	5459	3847
4 MED 2	Normal	11520	6900	5760	3450
5 EUA	Normal	7586	5584	3793	2792
6 ASIA 1	Normal	17561	9910	8781	4955
7 ASIA 2	Normal	16593	8644	8297	4322

Tabela 5 - Parâmetros da Rodada 2

Período de aquecimento: 6 dias
 Capacidade de Portocel: Infinita units

aNavio / Rota do embarque	Distribuição de probabilidade	Quantidade dos embarques			
		Parâmetros Reais (t)		Parâmetros Modelo (units)	
		Média	StDev	Média	StDev
1 EUR 1	Normal	16260.0	5225.0	8130.0	2612.5
2 EUR 2	Normal	14399.0	11100.0	7199.5	5550.0
3 MED 1	Normal	10917.0	7693.0	5458.5	3846.5
4 MED 2	Normal	11520.0	6900.0	5760.0	3450.0
5 EUA	Normal	7586.0	5584.0	3793.0	2792.0
6 ASIA 1	Normal	17561.0	9910.0	8780.5	4955.0
7 ASIA 2	Normal	16593.0	8644.0	8296.5	4322.0

Tabela 6 - Parâmetros da Rodada 3

Período de aquecimento: 3 dias
 Capacidade de Portocel: Infinita units

aNavio / Rota do embarque	Distribuição de probabilidade	Quantidade dos embarques			
		Parâmetros Reais (t)		Parâmetros Modelo (units)	
		Média	StDev	Média	StDev
1 EUR 1	Normal	16630.0	5070.0	8315.0	2535.0
2 EUR 2	Normal	14843.0	10243.0	7421.5	5121.5
3 MED 1	Normal	11421.0	7674.0	5710.5	3837.0
4 MED 2	Normal	10580.0	6090.0	5290.0	3045.0
5 EUA	Normal	8300.0	5654.0	4150.0	2827.0
6 ASIA 1	Normal	18244.0	9386.0	9122.0	4693.0
7 ASIA 2	Normal	25161.0	10395.0	12580.5	5197.5

Tabela 7 - Parâmetros da Rodada 4

Período de aquecimento: 3 dias
 Capacidade de Portocel: 30,000 units Variável = 27500

aNavio / Rota do embarque	Distribuição de probabilidade	Quantidade dos embarques			
		Parâmetros Reais (t)		Parâmetros Modelo (units)	
		Média	StDev	Média	StDev
1 EUR 1	Normal	16630.0	5070.0	8597.0	2251.0
2 EUR 2	Normal	14843.0	10243.0	7421.5	5121.5
3 MED 1	Uniforme	0.0	22200.0	-	-
4 MED 2	Normal	10580.0	6090.0	5290.0	3045.0
5 EUA	Normal	8300.0	5654.0	4150.0	2827.0
6 ASIA 1	Normal	18244.0	9386.0	9122.0	4693.0
7 ASIA 2	Normal	25161.0	10395.0	12580.5	5197.5

Tabela 8 - Parâmetros da Rodada 5

Período de aquecimento: 3 dias
 Capacidade de Portocel: 32,000 units Variável = 30000

aNavio / Rota do embarque	Distribuição de probabilidade	Quantidade dos embarques			
		Parâmetros Reais (t)		Parâmetros Modelo (units)	
		Média	StDev	Média	StDev
1 EUR 1	Normal	16630.0	5070.0	8597.0	2251.0
2 EUR 2	Normal	14843.0	10243.0	7421.5	5121.5
3 MED 1	Uniforme	0.0	11100.0	-	-
4 MED 2	Normal	10580.0	6090.0	5290.0	3045.0
5 EUA	Normal	8300.0	5654.0	4150.0	2827.0
6 ASIA 1	Normal	18244.0	9386.0	9122.0	4693.0
7 ASIA 2	Normal	25161.0	10395.0	12580.5	5197.5

Tabela 9 - Parâmetros da Rodada 6

Período de aquecimento: 3 dias
 Capacidade de Portocel: 37,000 units Variável = 35000

aNavio / Rota do embarque	Distribuição de probabilidade	Quantidade dos embarques			
		Parâmetros Reais (t)		Parâmetros Modelo (units)	
		Média	StDev	Média	StDev
1 EUR 1	Normal	16630.0	5070.0	8597.0	2251.0
2 EUR 2	Normal	14843.0	10243.0	7421.5	5121.5
3 MED 1	Uniforme	0.0	11100.0	-	-
4 MED 2	Normal	10580.0	6090.0	5290.0	3045.0
5 EUA	Normal	8300.0	5654.0	4150.0	2827.0
6 ASIA 1	Normal	18244.0	9386.0	9122.0	4693.0
7 ASIA 2	Normal	25161.0	10395.0	12580.5	5197.5

Tabela 10 - Parâmetros da Rodada 7

Período de aquecimento: 3 dias

Capacidade de Portocel: 34,000 units Variável = 32000

aNavio / Rota do embarque	Distribuição de probabilidade	Quantidade dos embarques			
		Parâmetros Reais (t)		Parâmetros Modelo (units)	
		Média	StDev	Média	StDev
1 EUR 1	Normal	16630.0	5070.0	8597.0	2251.0
2 EUR 2	Normal	14843.0	10243.0	7421.5	5121.5
3 MED 1	Normal	7026.0	2924.0	3513.0	1462.0
4 MED 2	Normal	10580.0	6090.0	5290.0	3045.0
5 EUA	Normal	8300.0	5654.0	4150.0	2827.0
6 ASIA 1	Normal	18244.0	9386.0	9122.0	4693.0
7 ASIA 2	Normal	25161.0	10395.0	12580.5	5197.5

Tabela 11 - Parâmetros da Rodada 8

Período de aquecimento: 3 dias

Capacidade de Portocel: 30,000 units Variável = 28000

*Quantidade em Asia2 dependente da quantidade em Asia 1

aNavio / Rota do embarque		Quantidade dos embarques					
		Distribuição de probabilidade	Parâmetros Reais (t)		Parâmetros Modelo (units)		
			Média	StDev	Média	StDev	
1	EUR 1	Normal	17194.0	4502.0	8597.0	2251.0	
2	EUR 2	Normal	14843.0	10243.0	7421.5	5121.5	
3	MED 1	Normal	7026.0	2924.0	3513.0	1462.0	
4	MED 2	Normal	10580.0	6090.0	5290.0	3045.0	
5	EUA	Normal	8300.0	5654.0	4150.0	2827.0	
6	ASIA 1	Normal	18244.0	9386.0	9122.0	4693.0	
7	ASIA 2	Normal	31644.0	8116.0	15822.0	4058.0	se ASIA1 < 5000
		Normal	14341.0	5032.0	7170.5	2516.0	se 5000 < ASIA1 < 10000
		Normal	25161.0	10395.0	12580.5	5197.5	se ASIA1 > 10000

Tabela 12 - Parâmetros da Rodada 9

Período de aquecimento: 3 dias

Capacidade de Portocel: 38,000 units Variável = 36000

*Quantidade em Asia2 dependente da quantidade em Asia 1

*no modelo, divide por 2 o resultado da função

aNavio / Rota do embarque		Quantidade dos embarques					
		Distribuição de probabilidade	Parâmetros Reais (t)		Parâmetros Modelo (units)		
			Média	StDev	Média	StDev	
1	EUR 1	Normal	16630.0	5070.0	16630.0	5070.0	
2	EUR 2	Normal	14843.0	10243.0	14843.0	10243.0	
3	MED 1	Normal	7026.0	2924.0	7026.0	2924.0	
4	MED 2	Normal	10580.0	6090.0	10580.0	6090.0	
5	EUA	Normal	8300.0	5654.0	8300.0	5654.0	
6	ASIA 1	Normal	18244.0	9386.0	18244.0	9386.0	
7	ASIA 2	Normal	31644.0	8116.0	31644.0	8116.0	se ASIA1 < 5000
		Normal	14341.0	5032.0	14341.0	5032.0	se 5000 < ASIA1 < 10000
		Normal	25161.0	10395.0	25161.0	10395.0	se ASIA1 > 10000

Tabela 13 - Parâmetros da Rodada 10

Período de aquecimento: 3 dias
 Capacidade de Portocel: 34,000 units Variável = 33000
 *Idem 9, alteração do intervalo em Asia2

aNavio / Rota do embarque		Quantidade dos embarques					
		Distribuição de probabilidade	Parâmetros Reais (t)		Parâmetros Modelo (units)		
			Média	StDev	Média	StDev	
1	EUR 1	Normal	17194.0	4502.0	17194.0	4502.0	
2	EUR 2	Normal	8709.0	4665.0	8709.0	4665.0	
3	MED 1	Normal	7026.0	2924.0	7026.0	2924.0	
4	MED 2	Normal	11431.0	5700.0	11431.0	5700.0	
5	EUA	Normal	8300.0	5654.0	8300.0	5654.0	
6	ASIA 1	Normal	18244.0	9386.0	18244.0	9386.0	
7	ASIA 2	Normal	31644.0	8116.0	31644.0	8116.0	se ASIA1 <= 7500
		Normal	15493.0	4792.0	15493.0	4792.0	se 7500 < ASIA1 <= 10000
		Normal	25161.0	10395.0	25161.0	10395.0	se ASIA1 > 10000

Tabela 14 - Parâmetros da Rodada 11

Período de aquecimento: 3 dias
 Capacidade de Portocel: 33,500 units Variável = 33000

aNavio / Rota do embarque		Quantidade dos embarques					
		Distribuição de probabilidade	Parâmetros Reais (t)		Parâmetros Modelo (units)		
			Média	StDev	Média	StDev	
1	EUR 1	Normal	17194.0	4502.0	17194.0	4502.0	
2	EUR 2	Normal	8709.0	4665.0	8709.0	4665.0	
3	MED 1	Normal	7026.0	2924.0	7026.0	2924.0	
4	MED 2	Normal	11431.0	5700.0	11431.0	5700.0	
5	EUA	Normal	9870.0	4558.0	9870.0	4558.0	
6	ASIA 1	Normal	18244.0	9386.0	18244.0	9386.0	
7	ASIA 2	Normal	31644.0	8116.0	31644.0	8116.0	se ASIA1 <= 7500
		Normal	26861.0	7571.0	26861.0	7571.0	se 7500 < ASIA1 <= 10000
		Normal	27033.0	11434.0	27033.0	11434.0	se ASIA1 > 10000

Tabela 15 - Parâmetros da Rodada 12

Período de aquecimento: 3 dias
 Capacidade de Portocel: 30,000 units Variável = 28000

aNavio / Rota do embarque		Quantidade dos embarques					
		Distribuição de probabilidade	Parâmetros Reais (t)		Parâmetros Modelo (units)		
			Média	StDev	Média	StDev	
1	EUR 1	Normal	17194.0	4502.0	17194.0	4502.0	
2	EUR 2	Normal	8709.0	4665.0	8709.0	4665.0	
3	MED 1	Normal	7026.0	2924.0	7026.0	2924.0	
4	MED 2	Normal	11431.0	5700.0	11431.0	5700.0	
5	EUA	Normal	9870.0	4558.0	9870.0	4558.0	
6	ASIA 1	Normal	18244.0	9386.0	18244.0	9386.0	
7	ASIA 2	Normal	31644.0	8116.0	31644.0	8116.0	se ASIA1 <= 7500
		Normal	26861.0	7571.0	26861.0	7571.0	se 7500 < ASIA1 <= 10000
		Normal	27033.0	11434.0	27033.0	11434.0	se ASIA1 > 10000

Tabela 16 - Parâmetros da Rodada 13

Período de aquecimento: 3 dias

Capacidade de Portocel: 31,500 units Variável = 31000

aNavio / Rota do embarque		Quantidade dos embarques					
		Distribuição de probabilidade	Parâmetros Reais (t)		Parâmetros Modelo (units)		
			Média	StDev	Média	StDev	
1	EUR 1	Normal	17194.0	4502.0	17194.0	4502.0	
2	EUR 2	Normal	8709.0	4665.0	8709.0	4665.0	
3	MED 1	Normal	7026.0	2924.0	7026.0	2924.0	
4	MED 2	Normal	11431.0	5700.0	11431.0	5700.0	
5	EUA	Normal	9870.0	4558.0	9870.0	4558.0	
6	ASIA 1	Normal	18244.0	9386.0	18244.0	9386.0	
7	ASIA 2	Normal	31644.0	8116.0	31644.0	8116.0	se ASIA1 <= 7500
		Normal	26861.0	7571.0	26861.0	7571.0	se 7500 < ASIA1 <= 10000
		Normal	27033.0	11434.0	27033.0	11434.0	se ASIA1 > 10000

Tabela 17 - Parâmetros da Rodada 14

Período de aquecimento: 3 dias

Capacidade de Portocel: 30,000 units Variável = 28500

aNavio / Rota do embarque		Quantidade dos embarques					
		Distribuição de probabilidade	Parâmetros Reais (t)		Parâmetros Modelo (units)		
			Média	StDev	Média	StDev	
1	EUR 1	Normal	17194.0	4502.0	17194.0	4502.0	
2	EUR 2	Normal	8709.0	4665.0	8709.0	4665.0	
3	MED 1	Normal	7026.0	2924.0	7026.0	2924.0	
4	MED 2	Normal	11431.0	5700.0	11431.0	5700.0	
5	EUA	Normal	9870.0	4558.0	9870.0	4558.0	
6	ASIA 1	Normal	18244.0	9386.0	18244.0	9386.0	
		Normal	31644.0	8116.0	31644.0	8116.0	se ASIA1 <= 7500
7	ASIA 2	Normal	26861.0	7571.0	26861.0	7571.0	se 7500 < ASIA1 <= 10000
		Normal	27033.0	11434.0	27033.0	11434.0	se ASIA1 > 10000

Tabela 18 - Parâmetros da Rodada 15

Período de aquecimento: 3 dias

Capacidade de Portocel: 35,500 units Variável = 32000

aNavio / Rota do embarque		Quantidade dos embarques					
		Distribuição de probabilidade	Parâmetros Reais (t)		Parâmetros Modelo (units)		
			Média	StDev	Média	StDev	
1	EUR 1	Normal	17194.0	4502.0	17194.0	4502.0	
2	EUR 2	Normal	14843.0	10243.0	14843.0	10243.0	
3	MED 1	Normal	7026.0	2924.0	7026.0	2924.0	
4	MED 2	Normal	11431.0	5700.0	11431.0	5700.0	
5	EUA	Normal	9870.0	4558.0	9870.0	4558.0	
6	ASIA 1	Normal	18244.0	9386.0	18244.0	9386.0	
		Normal	31644.0	8116.0	31644.0	8116.0	se ASIA1 <= 7500
7	ASIA 2	Normal	26861.0	7571.0	26861.0	7571.0	se 7500 < ASIA1 <= 10000
		Normal	27033.0	11434.0	27033.0	11434.0	se ASIA1 > 10000

CAPÍTULO 5

RESULTADOS

5 RESULTADOS

Os cenários simulados neste estudo utilizaram o perfil de produção diária da fábrica obtido a partir das análises realizadas sobre os dados históricos da empresa. Como foi diagnosticado que a linha de produção da empresa não tem sido capaz de operar à sua capacidade máxima, concluímos que, em primeiro lugar, a instabilidade da linha de produção deve ser levada em consideração no planejamento de embarques.

Este princípio foi decisivo para a estimativa dos gastos com frete morto. Durante o desenvolvimento do trabalho, percebeu-se que o frete morto incorrido em função de embarques cancelados não poderiam ser incluídos na simulação, pois esta é uma ocorrência imprevisível dada em função das decisões dos gestores da empresa. A decisão de cancelar um embarque, na maioria das vezes, foi tomada diante de problemas graves de falta de produtos na fábrica aliadas a situações confortáveis de estoque nos armazéns internacionais. Dado que, na modelagem desenvolvida, a entrada de produtos do sistema já considera estes problemas de produção, considerou-se razoável que o cálculo do frete morto fosse feito conforme fórmula (1) abaixo para cada uma das regiões. Quando o volume embarcado no ano é maior que o mínimo do contrato, não há dedução, pois os contratos são distintos.

$$(Volume\ embarcado\ no\ ano - Volume\ mínimo\ do\ contrato\ para\ o\ ano) \times frete \quad (1)$$

Além disso, os contratos estabelecem valores mínimos de volume de embarque e também valores de fretes diferentes para cada um dos anos de vigência. Em função disso, o cálculo de frete morto para cada uma das rodadas foi realizado para cada um dos anos. Embora o contrato com a Westfal tenha vigência até 2012, utilizamos os valores deste último ano do contrato para estender a análise até 2015, de acordo com a vigência dos contratos com a SAGA.

Estabeleceu-se que cinco informações eram necessárias e suficientes para o estudo proposto: produção total, venda total para o mercado interno, total embarcado e valores de demurrage e frete morto. A Tabela 19 sintetiza os resultados obtidos na simulação e a Tabela 20 soma os custos totais de demurrage e frete morto para o ano simulado e destaca o menor deles para cada ano.

Tabela 19 - Resumo dos resultados obtidos nas rodadas de simulação

Roda- da	Produção total (kt)	Vendas MI (kt)	Embarque total (kt)	Demurrage (MM US\$)	Frete Morto (MM US\$)							
					2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	1.362	61	1.156	0,000	12,1	17,7	20,0	21,6	22,7	24,8	25,6	25,6
2	1.326	60	1.174	0,000	11,8	17,6	20,0	21,5	22,7	24,8	25,5	25,5
3	1.374	59	1.13	0,000	8,2	16,2	18,6	20,1	21,3	23,0	23,7	23,7
4	1.378	58	1.366	1,975	3,0	8,5	10,8	12,3	13,5	14,7	15,4	15,4
5	1.371	63	1.307	0,389	3,4	10,6	13,0	14,5	15,7	16,9	17,7	17,7
6	1.342	58	1.065	0,019	9,6	20,4	22,8	24,3	25,5	27,3	28,1	28,1
7	1.366	62	1.101	0,027	9,6	18,1	20,5	22,0	23,2	25,0	25,7	25,7
8	1.404	59	1.167	0,094	9,0	17,0	19,4	20,9	22,1	23,9	24,6	24,6
9	1.368	61	1.058	0,000	11,4	20,1	22,4	23,9	25,1	27,2	27,9	27,9
10	1.375	59	1.184	0,002	7,1	14,9	17,3	18,8	20,0	21,5	22,2	22,2
11	1.372	65	1.228	0,481	2,0	12,6	14,9	16,5	17,6	18,8	19,5	19,5
12	1.332	57	1.227	0,136	3,8	13,1	15,5	17,0	18,2	19,4	20,1	20,1
13	1.364	66	1.304	0,380	2,4	10,2	12,5	14,0	15,2	16,4	17,1	17,1
14	1.375	61	1.381	5,361	1,0	8,3	10,6	12,2	13,3	14,4	15,1	15,1
15	1.33	64	1.318	0,980	3,8	12,3	14,7	16,2	17,4	18,7	19,4	19,4

Tabela 20 - Soma dos custos de demurrage e frete morto para cada um dos anos e destaque para o mínimo deles (em MM US\$)

Rodada	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	12.1	17.7	20.0	21.6	22.7	24.8	25.6	25.6
2	11.8	17.6	20.0	21.5	22.7	24.8	25.5	25.5
3	8.2	16.2	18.6	20.1	21.3	23.0	23.7	23.7
4	4.9	10.4	12.8	14.3	15.5	16.7	17.4	17.4
5	3.7	11.0	13.4	14.9	16.1	17.3	18.0	18.0
6	9.6	20.4	22.8	24.3	25.5	27.4	28.1	28.1
7	9.6	18.2	20.5	22.0	23.2	25.0	25.8	25.8
8	9.1	17.1	19.5	21.0	22.2	24.0	24.7	24.7
9	11.4	20.1	22.4	23.9	25.1	27.2	27.9	27.9
10	7.1	14.9	17.3	18.8	20.0	21.5	22.2	22.2
11	2.5	13.1	15.4	16.9	18.1	19.2	20.0	20.0
12	3.9	13.3	15.6	17.1	18.3	19.6	20.3	20.3
13	2.7	10.6	12.9	14.4	15.6	16.8	17.5	17.5
14	6.4	13.7	16.0	17.5	18.7	19.7	20.5	20.5
15	4.8	13.3	15.6	17.2	18.3	19.7	20.4	20.4
Mínimo do ano	2.5	10.4	12.8	14.3	15.5	16.7	17.4	17.4

Como não há previsão de que seja feito algum tipo de mudança ou melhoria nas linhas de produção para que se tornem mais estáveis, acredita-se que a tendência é de que a fábrica de Mucuri realmente trabalhe com médias de 1,4 MM de toneladas de celulose ao ano ao invés de 1,7 MM conforme é declarada a capacidade total. Em razão dos contratos com os armadores terem sido negociados baseando-se numa produção anual de 1,7MM de celulose de mercado, observamos uma grande necessidade de os valores de volumes de embarque contratados até 2015 sejam revisados e renegociados, pois os resultados evidenciaram uma tendência de crescimento do desvio negativo dos embarques realizados em relação aos volumes mínimos contratados, que é cobrado da empresa em termos de pagamento de frete morto.

Os resultados também revelaram a existência de um *trade-off* entre os custos de demurrage e os custos de frete morto. Embora a capacidade do armazém do porto varie entre as simulações, pode-se observar que à medida que o volume de embarque aumenta, a empresa reduz quantidade passível à cobrança de frete morto. Entretanto, a estrutura da cadeia de suprimentos da empresa não suporta um perfil de embarques baseado num volume anual maior do que 1,3 MM de toneladas de celulose. Os resultados da rodada 14, cujo total de embarques foi o maior dos experimentos, evidenciam que o aumento na quantidade embarcada eleva consideravelmente os custos de demurrage se a produção total e a capacidade de armazenagem do porto são fatores limitantes.

Diante de uma capacidade de armazenagem de 60.000 toneladas no porto (30.000 units) e 40.000 toneladas na fábrica (20.000 units), e em vista da alta variabilidade nas datas de chegada dos navios no porto, dificilmente a unidade de celulose da empresa analisada conseguirá eliminar por completo os gastos com demurrage. Uma alternativa ao aumento da capacidade de armazenagem, encontra-se a exigência de intervalos de lay days mais curtos. Embora não tenham sido abrangidos neste estudo, sabe-se que o aumento de estoques elevará os custos de capital empatado, o que não é muito atrativo para os gestores da empresa.

De acordo com os dados da Tabela 20, a Rodada 4 seria aquela que apresenta os melhores resultados para os próximos anos. Como não se pode fazer nada para interferir nas operações dos anos de 2008 e 2009, estes valores não são relevantes para critério de escolha. Assim, pode-se concluir que para os anos de 2010 a 2015 uma das maneiras da empresa reduzir seus gastos com

demurrage e frete morto seria que os embarques contemplassem o máximo dos produtos disponíveis para a exportação, pois, entende-se que embora ocorram maiores ocorrências de sobreestadia com embarques de volumes grandes, estes custos ainda compensam o que se pagaria com frete morto. O Gráfico 4 apresenta o nível dos estoques no porto no período de um ano simulado na rodada 4, enquanto Gráfico 5 o mostra o nível de estoques no armazém da fábrica. Embora observemos um pico de estoques em Mucuri que ultrapassa 20.000 units (capacidade de 40.000 tons da fábrica), este não seria um grande problema, pois há certa margem de manobra nas operações da companhia para este pequeno volume extra, o que torna esta alternativa, mais fácil para implantação.

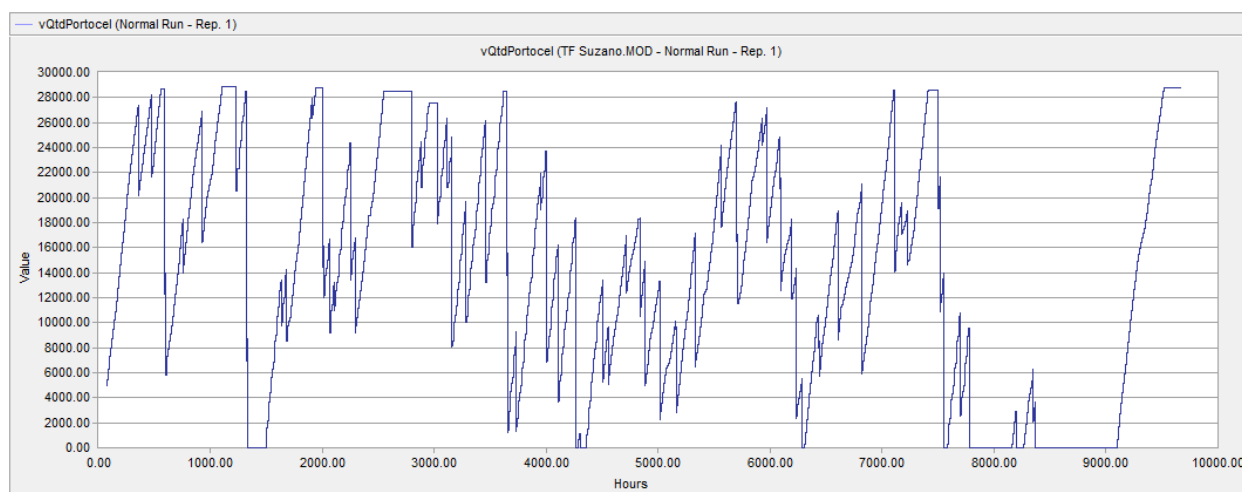


Gráfico 4 – Quantidade de units de celulose em Portocel ao longo do ano simulado na Rodada 4

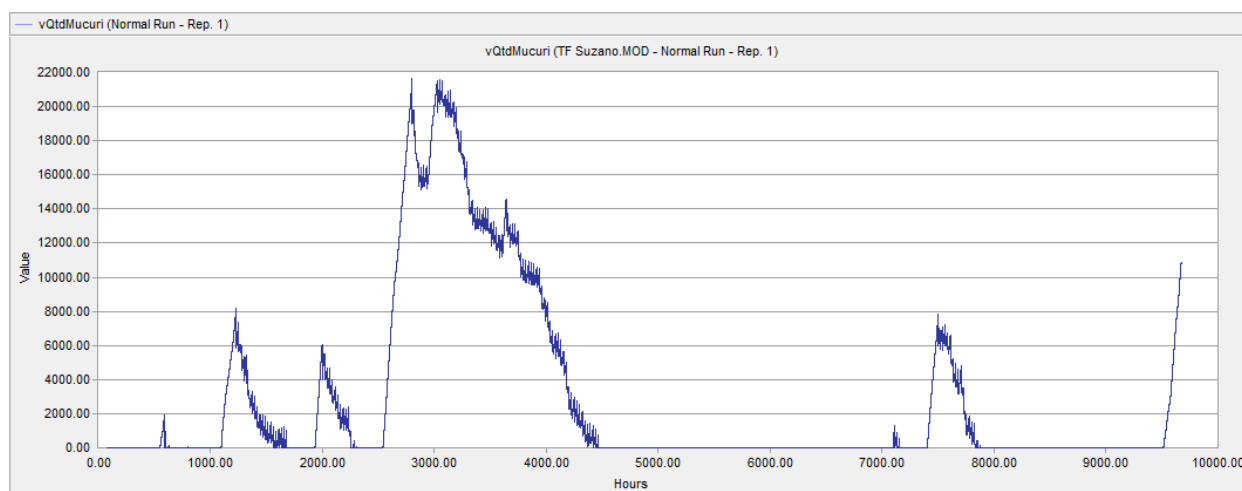


Gráfico 5 - Quantidade de units de celulose em Mucuri ao longo do ano simulado na Rodada 4

Se a renegociação dos volumes anuais dos contratos for uma alternativa possível, faz-se necessário avaliar a estrutura da cadeia de suprimentos quanto às capacidades de armazenagem. A partir da Tabela 21, observa-se que para reduzir gastos com demurrage trabalhando com capacidade de armazenagem de 60.000 em Portocel, seria necessário aumentar a capacidade do armazém de Mucuri.

Tabela 21 – Comparação das capacidades de armazenagem e gastos com demurrage nas rodadas

Demurrage (Mil US\$)	Capacidade Portocel (t)	Rodada	Capacidade exigida de Mucuri (t)
0,0	Inf	1	-
0,0	Inf	2	-
0,0	Inf	3	-
93,8	60000	8	140000
135,9	60000	12	60000
1975,2	60000	4	44000
5361,0	60000	14	30000
379,5	63000	13	16000
388,6	64000	5	76000
480,5	67000	11	48000
2,0	68000	10	120000
26,7	68000	7	180000
980,1	71000	15	40000
18,8	74000	6	180000
0,0	76000	9	180000

CAPÍTULO 6

CONCLUSÃO

6 CONCLUSÃO

Este trabalho de formatura tratou do uso da modelagem e simulação como técnica para a resolução de um problema logístico na cadeia de suprimentos da unidade de negócio de celulose de uma empresa nacional do setor de papel e celulose.

A partir das pesquisas apresentadas no capítulo 2, observamos que a aplicação da simulação de sistemas discretizados para obter uma solução razoável para o problema de elevados gastos com demurrage e frete morto explorado neste estudo, é uma escolha adequada. Dentre as razões conhecidas para esta primeira conclusão, destacamos que o objetivo principal traçado no início do estudo pode ser considerado alcançado, visto que foi possível identificar meios factíveis para a redução dos custos mencionados. Embora a alternativa escolhida não configure uma solução ótima, sabe-se que esta é uma consequência do método escolhido para o desenvolvimento do trabalho. Por mais que a simulação não garanta a solução ótima, esta técnica apresenta diversos benefícios quanto à possibilidade de ser facilmente adaptado para abranger mudanças, maior complexidade e melhorias.

Diante disso, acredita-se que a modelagem desenvolvida pode funcionar como uma boa ferramenta de auxílio à tomada de decisão, à medida que permite o estudo da cadeia de suprimentos da empresa e a observação através da operação virtual de alternativas para a solução de problemas.

Ainda que este trabalho tenha sido desenvolvido em um estrito escopo, considerando apenas alguns dos custos envolvidos, propõem-se para estudos futuros que sejam incluídos na análise os custos de armazenagem, o custo das vendas perdidas em função dos atrasos dos navios, além de fatores como a comparação entre os ganhos e as perdas financeiras ao direcionar as vendas às regiões sem considerar os termos dos contratos e operações da fábrica.

O estudo desenvolvido neste trabalho é um exemplo claro da importância da integração entre os diversos elos da cadeia de suprimentos de uma empresa para manter suas operações com baixos custos e resultados positivos.

No caso da unidade de celulose da empresa abordada, ficou evidente a necessidade que a tomada de decisão sobre as operações logísticas estejam mais bem alinhadas às funções de marketing e produção, pois a alta variabilidade das operações de produção e as imprevisibilidades as condições de mercado (refletida nos embarques) que não são declaradas à logística, resultam em severas penalidades financeiras.

Enfim, pode-se concluir que a visão sistêmica sobre a gestão logística das atividades ao longo da cadeia de suprimentos de celulose deste estudo é extremamente importante para que a empresa trabalhe com vantagem competitiva de baixos custos neste mercado concorrido de commodities de celulose e gere constante lucratividade, pois se observou que o transporte e a gestão de estoque são atividades-chave cujo impacto nos custos da empresa pode trazer sérias consequências.

Anexo I – Dados de entrada

As tabelas de a 4 apresentam as quantidades estabelecidas em cada um dos contratos.

Tabela 22 - Volume a ser transportado por ano para a América do Norte

América do Norte: EUA			
Ano	Máximo	Média	Mínimo
2008	235,621	196,352	157,082
2009	412,336	343,614	274,891
2010	532,502	443,752	355,002
2011	553,708	461,423	369,139
2012	556,064	463,387	370,710

Tabela 23 - Volume a ser transportado por ano para o Mediterrâneo

Mediterrâneo: MED 1 e MED 2			
Ano	Máximo	Média	Mínimo
2008	322,919	293,563	264,206
2009	410,655	373,323	335,991
2010	417,967	379,970	341,973
2011	430,152	391,048	351,943
2012	437,464	397,694	357,925

Tabela 24 - Volume a ser transportado por ano para a Ásia

Ásia: ASIA 1e ASIA 2			
Ano	Máximo	Média	Mínimo
2008*	742,104	674,640	607,176
2009	818,874	682,395	545,916
2010	818,874	682,395	545,916
2011	836,155	696,796	557,437
2012	857,425	714,520	571,616
2013	873,377	727,814	582,251
2014	889,329	741,107	592,886
2015	889,329	741,107	592,886

Tabela 25 - Volume a ser transportado por ano para Europa do Norte

Europa: EUR 1 e EUR 2			
Ano	Máximo	Média	Mínimo
2008	478,602	360,030	319,068
2009	581,686	437,575	387,790
2010	614,083	461,946	409,389
2011	630,282	474,131	420,188
2012	642,063	482,994	428,042
2013	658,262	495,179	438,841
2014	668,570	502,934	445,713
2015	668,570	502,934	445,713

Frete estabelecidos em contrato. Base para cálculo de frete morto.

Tabela 26 - Frete em US\$/t por ano contratados com a Westfal para EUA

América do Norte: EUA - Frete em US\$/t por ano	
Porto Destino	2008 a 2012
Embarque por Portocel	
Baltimore / Jacksonville	40.43
Norfolk	43.76
USA Gulf	40.43
Embarque por Vitória	
Baltimore / Jacksonville	41.82
Norfolk	45.14
USA Gulf	41.82

Tabela 27 - Frete em US\$/t por ano contratados com a Westfal para o Mediterrâneo

MEDITERRÂNEO - Frete em US\$/t por ano	
Porto Destino	2008 a 2012
Embarque por Portocel	
Monfalcone	44.87
Livorno e 1 porto secundário	42.10
Livorno e 2 portos secundários	44.87
Embarque por Vitória	
Monfalcone	46.25
Livorno e 1 porto secundário	43.48
Livorno e 2 portos secundários	46.25

Tabela 28 – Frete US\$/t por ano contratados com a SAGA para o Norte da Europa

NORTE DA EUROPA - Frete em US\$/t por ano		
Porto Destino	2008 a 2012	2013 a 2015
Embarque por Portocel		
Flushing	27.69	31.02
Antwerp	29.91	33.23
La Pallice extra basis	3.66	3.66
Embarque por Vitória		
Flushing	34.36	38.04
Antwerp	36.82	40.50
La Pallice extra basis	7.73	7.73

Tabela 29 - Fretes US\$/t por ano contratados com a SAGA para a Ásia

Ásia - Fretes em US\$/t por ano		
Porto Destino	2008 a 2012	2013 a 2015
Embarque por Portocel		
Qingdao. Changshu. Hong Kong. Kaohsiung	54.67	60.21
Japan (Iyomishima ou Osaka ou Yokohama)	65.80	71.34
Korea do Sul (Masan ou Busan)	56.94	62.48
Embarque por Vitória		
Qingdao. Changshu. Hong Kong. Kaohsiung	52.35	57.35
Japan (Iyomishima ou Osaka ou Yokohama)	62.40	67.40
Korea do Sul (Masan ou Busan)	54.40	59.40

Tabela 30 - Quantidades embarcadas mensalmente para cada uma das rotas contratadas no período de janeiro de 2008 à Agosto de 2009 (em toneladas).

Mês	MED 11	MED 23	EUR 1	EUR 15	EUA	ASIA 1	ASIA 2	ASIA 3	ASIA 4
Jan-08	7,900	14,600	15,762	20,664	14,650	10,700	19,500	0	0
Feb-08	16,000	9,000	14,064	10,000	6,000	20,200	16,400	0	0
Mar-08	5,350	13,000	16,950	9,500	6,000	3,150	7,100	25,000	0
Apr-08	13,700	11,500	20,704	23,800	5,556	24,172	9,916	0	0
May-08	0	20,600	17,574	0	4,340	5,750	23,900	9,350	0
Jun-08	15,800	13,000	20,550	13,326	14,200	20,990	20,900	0	0
Jul-08	7,550	17,950	20,574	21,100	17,000	35,040	0	0	0
Aug-08	22,150	11,550	15,100	14,000	17,700	17,400	7,000	0	0
Sep-08	20,000	17,994	25,700	18,900	10,300	5,020	17,880	0	0
Oct-08	1,798	19,000	14,200	41,450	11,000	6,000	0	0	0
Nov-08	11,400	5,000	10,200	31,600	0	15,000	13,000	14,000	0
Dec-08	0	7,600	18,100	5,300	12,290	27,500	32,500	0	0
Jan-09	17,400	8,000	20,100	15,500	12,250	7,356	37,000	0	0
Feb-09	17,900	5,000	23,100	12,035	0	21,500	10,000	13,000	0
Mar-09	0	19,900	17,560	0	0	11,000	18,100	7,400	0
Apr-09	5,000	10,000	8,780	0	1,000	16,700	32,450	14,300	27,400
May-09	0	3,000	10,000	3,000	8,900	31,266	16,404	40,996	22,800
Jun-09	11,500	5,000	4,482	28,000	0	35,598	23,036	6,000	0
Jul-09	17,300	0	12,500	7,800	7,700	14,600	14,000	7,400	27,400
Aug-09	19,500	5,000	19,200	12,000	10,900	22,280	34,720	0	0

Tabela 31 - Dia de chegada no porto de cada um dos embarques mensais registrados.

Mês	MED 11	MED 23	EUR 1	EUR 15	EUA	ASIA 1	ASIA 2	ASIA 3	ASIA 4
Jan-08	22-Jan	5-Feb	8-Jan	23-Jan	20-Jan	23-Jan	15-Feb		
Feb-08	18-Feb	7-Mar	8-Feb	18-Feb	10-Feb	10-Feb	26-Feb		
Mar-08	22-Mar	28-Mar	14-Mar	30-Mar	1-Mar	22-Mar	24-Mar	25-Mar	
Apr-08	30-Apr	3-May	4-Apr	20-Apr	28-Apr	24-Apr	10-May		
May-08		30-May	8-May		4-Jun	11-May	19-May	28-May	
Jun-08		30-Jun	7-Jun	14-Jun	28-Jun	17-Jun	15-Jul		
Jul-08	7-Aug	28-Jul	14-Jul	24-Jul	23-Aug	20-Jul			
Aug-08	24-Aug	30-Aug	2-Aug	20-Aug	27-Aug	24-Aug	30-Aug		
Sep-08	20-Sep	26-Sep	30-Aug	15-Sep	4-Oct	24-Sep	26-Sep		
Oct-08	11-Oct	8-Nov	30-Sep	15-Oct	4-Nov	28-Oct			
Nov-08	12-Nov	30-Nov	15-Nov	20-Nov		24-Nov	25-Nov		
Dec-08		7-Jan	3-Dec	29-Dec	3-Jan	20-Dec	29-Dec	1-Dec	
Jan-09	11-Jan	19-Jan	6-Jan	28-Jan	6-Feb	18-Jan	21-Jan		
Feb-09	11-Feb	7-Mar	7-Feb	17-Feb		24-Feb	23-Feb	8-Mar	
Mar-09		26-Mar	12-Mar		28-Mar	23-Mar	29-Mar	28-Mar	
Apr-09	11-Apr	2-May	14-Apr		14-May	14-Apr	20-Apr	18-Apr	24-Apr
May-09	17-May	5-Jun	4-May	1-Jun	2-Jun	7-May	24-May	20-May	1-Jun
Jun-09	14-Jun	9-Jul	8-Jun	23-Jun	7-Jul	23-Jun	30-Jun	3-Jul	
Jul-09	12-Jul	26-Jul	3-Jul	19-Jul	5-Aug	17-Jul	29-Jul	30-Jul	30-Jul
Aug-09	15-Aug	29-Aug	9-Aug	25-Aug	2-Sep	16-Aug	20-Aug		
Sep-09	18-Sep	5-Oct	14-Sep	26-Sep	10-Oct	17-Sep	24-Sep		

Anexo II – Tratamento estatístico dos dados de entrada e distribuições de probabilidade

Análise dos dados do Mercado Interno:

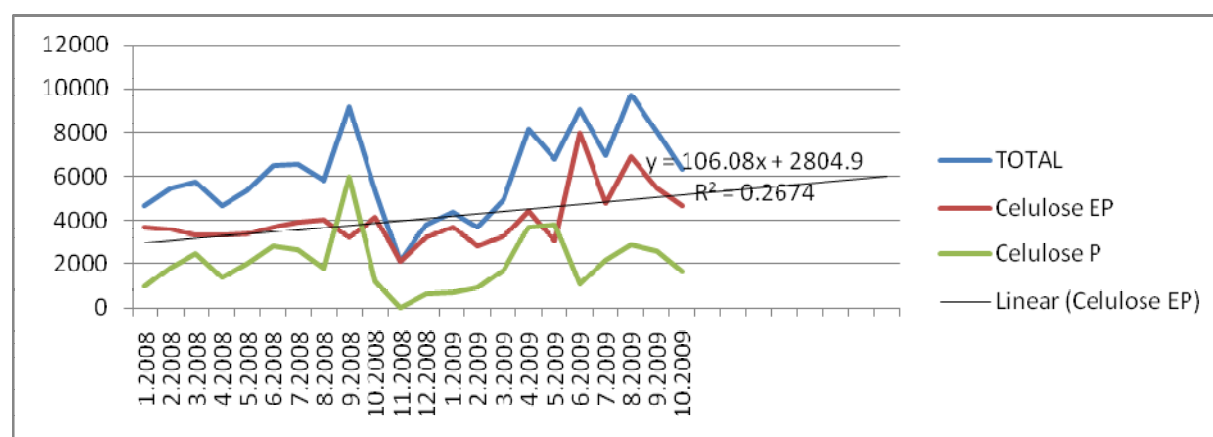


Gráfico 6 – Total de vendas mensais para o mercado interno e tendência de crescimento da venda de celulose EP

Tabela 32 - Total de vendas mensais para o mercado interno no período de 1/01/2008 a 19/10/2009 e percentual de vendas de celulose EP.

Mês/Ano	Quantidade vendida MI (t)		Percentual de EP sobre a
	Total	Celulose EP	
01.2008	5.099	3.692	72%
02.2008	6.386	3.594	56%
03.2008	6.267	3.296	53%
04.2008	4.721	3.281	70%
05.2008	5.654	3.364	60%
06.2008	6.670	3.719	56%
07.2008	6.543	3.944	60%
08.2008	6.405	4.066	63%
09.2008	9.165	3.194	35%
10.2008	5.366	4.154	77%
11.2008	2.087	2.087	100%
12.2008	3.932	3.208	82%
Total 2008	68.295	41.600	61%
01.2009	4.380	3.712	85%
02.2009	3.978	2.810	71%
03.2009	4.975	3.235	65%
04.2009	9.467	4.425	47%
05.2009	6.792	2.999	44%
06.2009	9.055	7.957	88%
07.2009	7.761	4.780	62%
08.2009	10.037	6.902	69%
09.2009	8.054	5.473	68%
10.2009	6.609	4.655	70%
Previsão Total 2009	92.106	63.293	69%
Média	6.336	4.025	66%

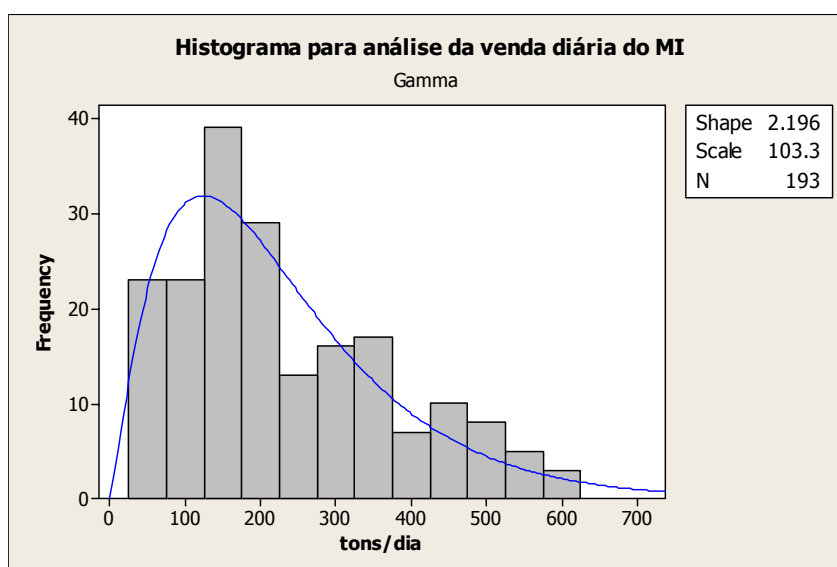


Gráfico 7 - Histograma e aderência da distribuição Gama ao perfil de vendas diárias do MI

Tratamento dos dados de dia de chegada dos navios no porto de Portocel entre Janeiro/08 a Setembro/09 no MINITAB para identificação das distribuições de probabilidade

(o número 1 equivale a dizer que o navio chegou no 1º dia dos lay days).

Tabela 33 - Dia dos lay days de chegada do navio no porto

MED 11	MED 23	EUR 1	EUR 15	EUA	ASIA 1	ASIA 2
12	14	8	9	1	7	30
8	14	8	4	1	1	10
12	6	14	16	1	6	8
20	11	4	6	4	8	24
16	8	8	15	11	1	3
8	8	7	1	4	1	29
28	6	14	10	3	4	14
14	8	2	6	10	8	10
10	4	1	1	11	8	9
1	17	0	1	10	12	13
2	8	15	6	13	8	5
1	16	3	15	4	4	7
1	1	6	14	20	2	13
1	13	7	3	9	8	4
7	4	12	16	13	7	8
4	10	14	18	12	1	14
2	14	4	9	9	1	13
5	17	8	5	16	7	4
8	4	3	11		1	8
	7	9	12		1	
	13	14			1	
	1					

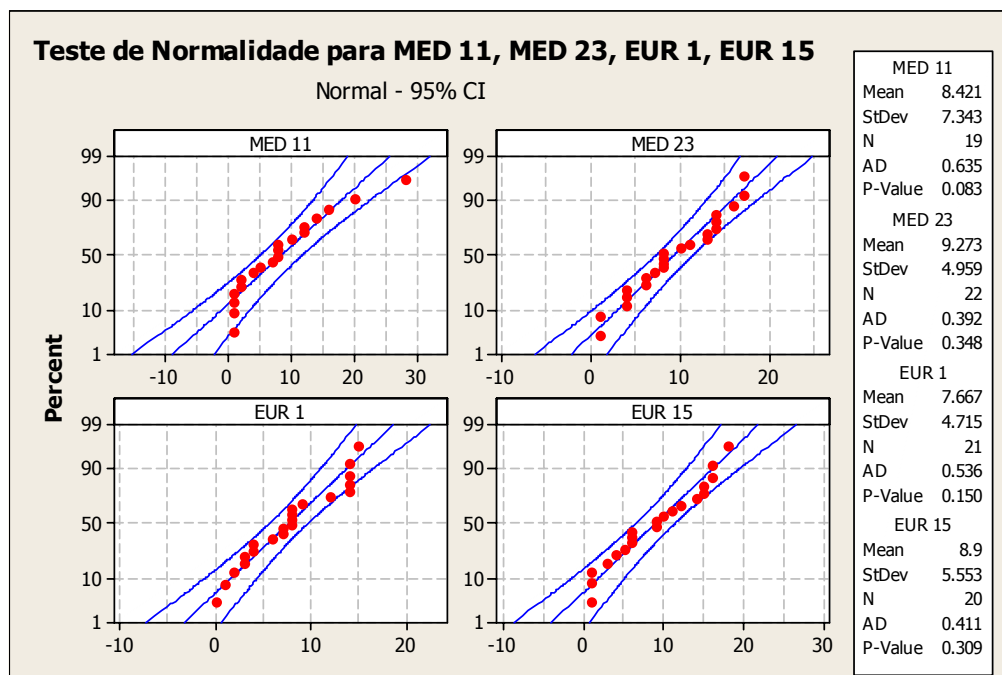


Gráfico 8 – Tratamento dos dados das colunas de 1 a 4 da Tabela 13 no.

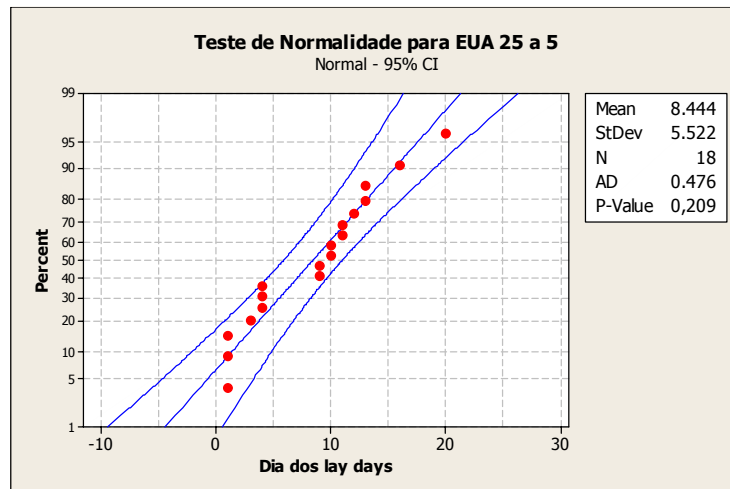


Gráfico 9- Resultado do tratamento dos dados da coluna 5 da Tabela.

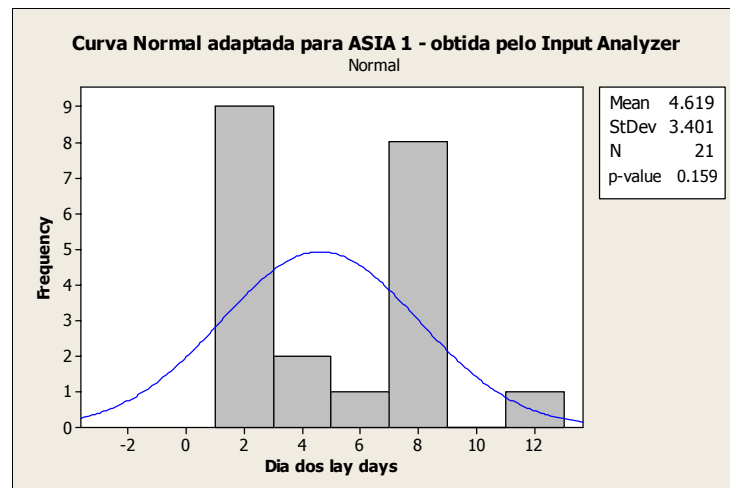


Gráfico 10 - Resultado do tratamento da coluna 6 da Tabela 13.

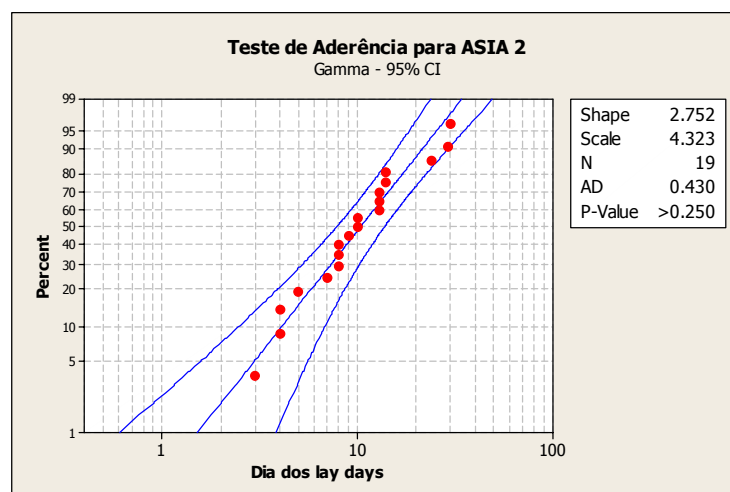


Gráfico 11 - Resultado do tratamento da coluna 7 da Tabela 13.

Tratamento dos dados de quantidade (Volume) embarcado mensalmente em cada um dos embarques, através de Portocel, entre Janeiro/08 à Setembro/09.

A tabela 2 do item 4.6.6.2 foi desenvolvida a partir do tratamento dos dados da tabela 26 em MINITAB. Nos Gráfico 8 e 9 estão apresentados os teste de aderência dos dados à distribuição normal.

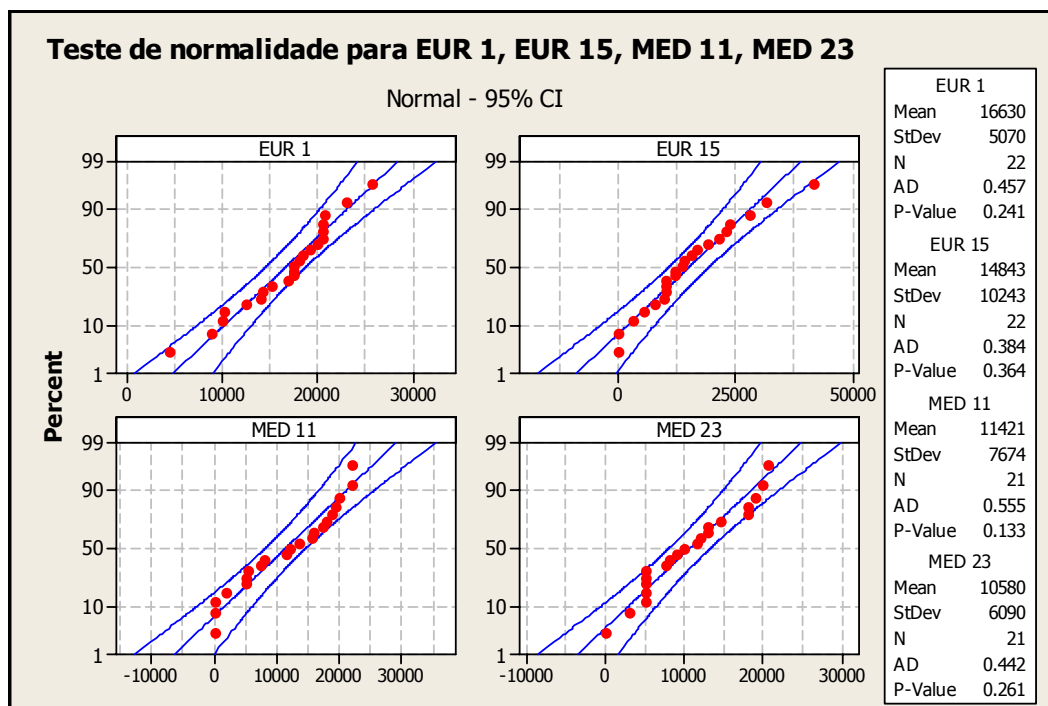


Gráfico 12 - Teste de aderência à curva normal para embarques EUR 1, EUR 2, MED 1 e MED 2

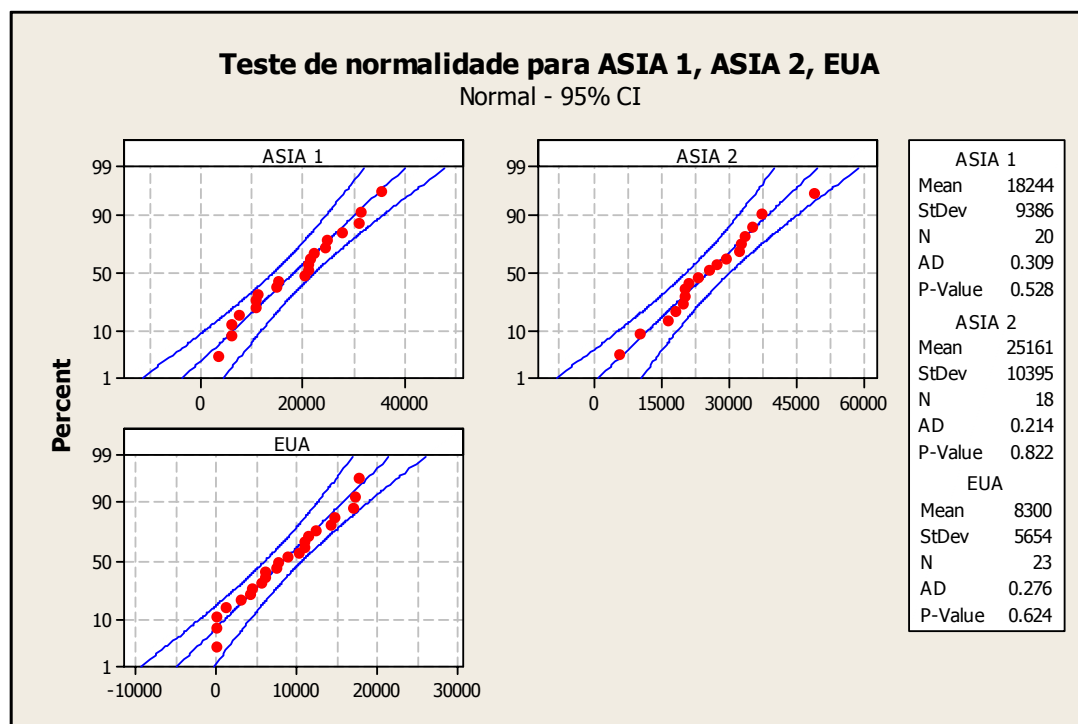
















Gráfico 13 - Teste de aderência à curva normal para embarques ASIA 1, ASIA 2 e EUA.

Anexo III – Modelo computacional na linguagem de programação do Software ProModel

Entities (Entidades)

Entities				
Icon	Name	Speed (mpm)	Stats	Notes...
	Fardo_Celulose	50	Time Series	
	Caminhão	50	Time Series	
	Navio	50	Time Series	

Locations (Localizações)

Locations							
Icon	Name	Cap.	Units	DTs.	Stats	Rules...	Notes...
	Berço1	1	1	None	Time Series	Oldest	
	Berço2	1	1	None	Time Series	Oldest	
	Berço3	1	1	None	Time Series	Oldest	
	ChegadaEmbarque	INF	1	None	Time Series	Oldest	
	Saída_embarque	INF	1	None	Time Series	Oldest	
	Armazém_Mucuri	INF	1	None	Time Series	Oldest	
	Fábrica_Mucuri	INF	1	None	Time Series	Oldest	
	Armazém_Portocel	INF	1	None	Time Series	Oldest	
	Chegada_MI	INF	1	None	Time Series	Oldest	
	Doca	INF	1	None	Time Series	Min(aTipo)	
	Saída_MI	INF	1	None	Time Series	Oldest	

Attributes (Atributos)

Attributes			
ID	Type	Classification	Notes...
aTipo	Integer	Ent	
aCapacidade	Integer	Ent	
aNavio	Integer	Ent	
aHoraChegada	Real	Ent	
aHoraSaída	Real	Ent	

Variables (Variáveis)

Variables (global)					
Icon	ID	Type	Initial value	Stats	Notes...
No	vprd	Real	0.64	Time Seri	
No	vmi	Real	180	Time Seri	
No	vaux	Integer	0	Time Seri	
No	vProducaoDiaria	Integer	0	Time Seri	
Yes	vQtdMucuri	Integer	0	Time Seri	
Yes	vQtdPortocel	Integer	0	Time Seri	
No	vQtdCaminhoes1	Integer	0	Time Seri	
No	vQtdCaminhoes2	Integer	0	Time Seri	
No	v1	Integer	0	Time Seri	
No	v2	Integer	0	Time Seri	
No	v3	Integer	0	Time Seri	
No	v4	Integer	0	Time Seri	
No	v5	Integer	0	Time Seri	
No	vEscmax	Integer	0	Time Seri	
No	vQtdCaminhoes3	Integer	0	Time Seri	
No	Asia1	Integer	0	Time Seri	
No	Asia2	Integer	0	Time Seri	

Process (Processos)

Entity	Location	Operation	Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
Fardo_Celulose	Fábrica_Mucuri	INC vQtdMucuri WAIT 0.10 MIN	1	Fardo_Celulose	Armazém_Mucuri	FIRST 1	MOVE FOR 1.5 MIN
Fardo_Celulose	Armazém_Mucuri		1	Fardo_Celulose	Doca	LOAD 1	DEC vQtdMucuri
Caminhão	Doca	vEscmax = (vQtdCaminhoes1*26 + vQtdCaminhoes2*52 + vQtdCaminhoes3*52) IF (vEscmax > 4425 OR vQtdPortocel > 36000) THEN { ROUTE 3 } IF (vEscmax < 4425 AND vQtdPortocel < 36000) THEN { IF aTipo = 1 THEN { WAIT 8.5 MIN INC vQtdCaminhoes1 LOAD 13 ROUTE 1 } IF aTipo = 2 THEN { WAIT 17 MIN INC vQtdCaminhoes2 LOAD 26 ROUTE 2 } IF aTipo = 3 THEN { WAIT 17 MIN INC vQtdCaminhoes3 LOAD 26 ROUTE 4 } }	1	Caminhão	Saida_MI	FIRST 1	MOVE FOR 20 MIN
			2	Caminhão	Chegada_MI	FIRST 1	MOVE FOR N(2,1) HR
			3	Caminhão	Armazém_Portocel	FIRST 1	MOVE FOR 2 MIN
			4	Caminhão	Saida_MI	FIRST 1	MOVE FOR 20 MIN
Caminhão	Armazém_Portocel	UNLOAD 26 WAIT 17 MIN	1	Caminhão	Doca	FIRST 1	MOVE FOR N(2,1) HR

(continua)

(continuação)

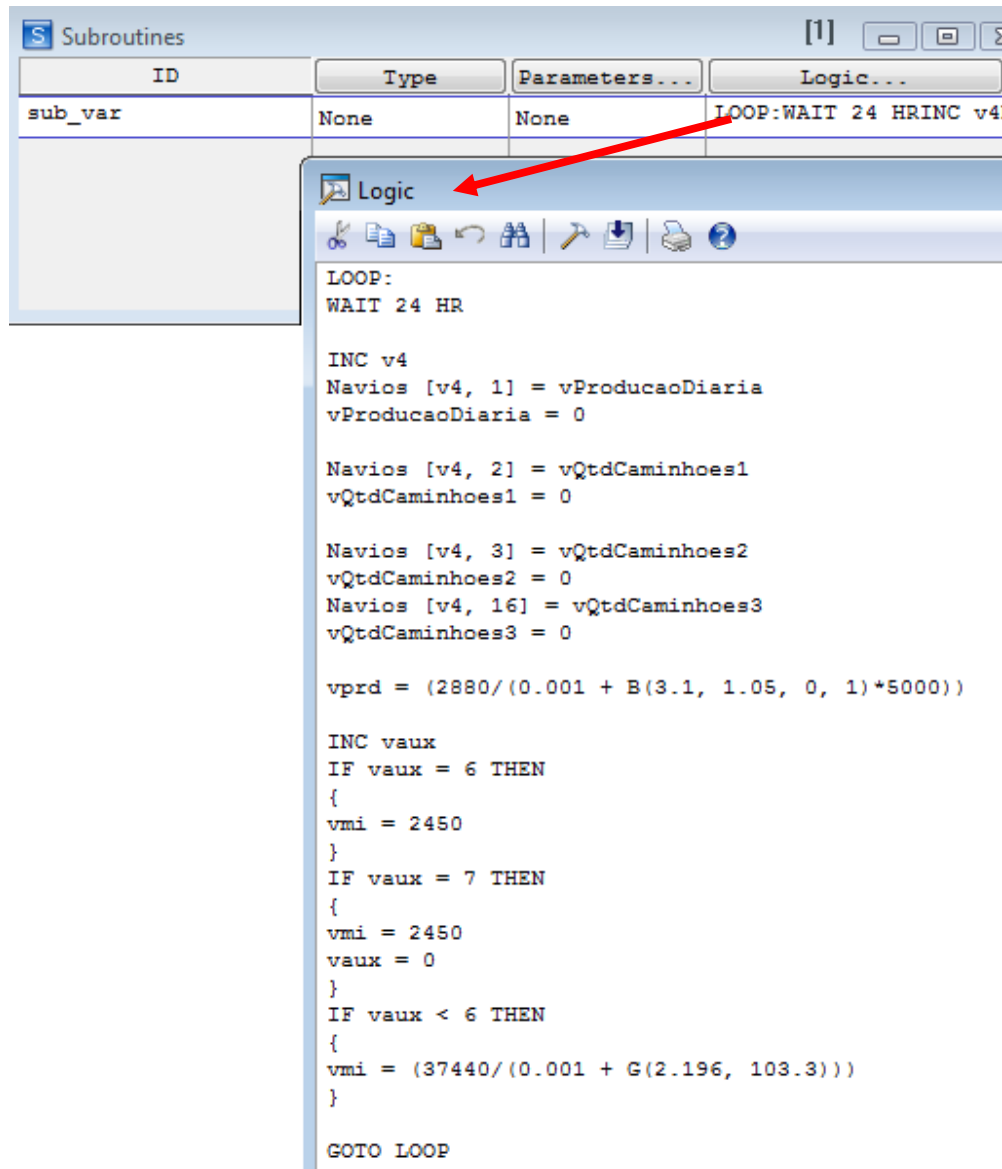
Entity	Location	Operation	Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
Navio	ChegadaEmbarque		1	Navio	Berço1	FIRST 1	REAL dias IF aNavio = 1 THEN { dias = N(7.667,4.715) - 1 IF dias <= 0 THEN dias = 0.5 } IF aNavio = 2 THEN { dias = N(8.9,5.553) - 1 IF dias <= 0 THEN dias = 0.5 } IF aNavio = 3 THEN { dias = N(8.421,7.343) - 1 IF dias <= 0 THEN dias = 0.5 } IF aNavio = 4 THEN { dias = N(9.273,4.959) - 1 IF dias <= 0 THEN dias = 0.5 } IF aNavio = 5 THEN { dias = N(8.444,5.552) - 1 IF dias <= 0 THEN dias = 0.5 } IF aNavio = 6 THEN { dias = N(4.619,3.401) - 1 IF dias <= 0 THEN dias = 0.5 } IF aNavio = 7 THEN { dias = G(2.752, 4.323) - 1 IF dias <= 0 THEN dias = 0.5 } MOVE FOR (dias*24+5) HR
				Navio	Berço2	FIRST	idem Move Logic Berço 1
				Navio	Berço3	FIRST	idem Move Logic Berço 1
Fardo_Celulose	Armazém_Portoce	INC vQtdPortocel	1	Fardo_Celulose	Berço1	LOAD 1	DEC vQtdPortocel
				Fardo_Celulose	Berço2	LOAD	DEC vQtdPortocel
				Fardo_Celulose	Berço3	LOAD	DEC vQtdPortocel
Navio	Berço1	aHoraChegada = CLOCK(HR) INC v1 Navios[v1, 4] = aNavio Navios[v1, 5] = aCapacidade Navios[v1, 6] = aHoraChegada LOAD aCapacidade WAIT (aCapacidade/291.67) HR aHoraSaida = CLOCK(HR) Navios[v1, 7] = aHoraSaida - aHoraChegada	1	Navio	Saída_embarque	FIRST 1	MOVE FOR 20 MIN
Navio	Berço2	aHoraChegada = CLOCK(HR) INC v2 Navios[v2, 8] = aNavio Navios[v2, 9] = aCapacidade Navios[v2, 10] = aHoraChegada LOAD aCapacidade WAIT (aCapacidade/291.67) HR aHoraSaida = CLOCK(HR) Navios[v2, 11] = aHoraSaida - aHoraChegada	1	Navio	Saída_embarque	FIRST 1	MOVE FOR 20 MIN
Navio	Berço3	aHoraChegada = CLOCK(HR) INC v3 Navios[v3, 12] = aNavio Navios[v3, 13] = aCapacidade Navios[v3, 14] = aHoraChegada LOAD aCapacidade WAIT (aCapacidade/291.67) HR aHoraSaida = CLOCK(HR) Navios[v3, 15] = aHoraSaida - aHoraChegada	1	Navio	Saída_embarque	FIRST 1	MOVE FOR 20 MIN
Navio	Saída_embarque		1	Navio	EXIT	FIRST 1	
Caminhão	Chegada_MI	WAIT 5 MIN	1	Caminhão	Doca	FIRST 1	MOVE FOR 5 MIN
Caminhão	Saída_MI		1	Caminhão	EXIT	FIRST 1	MOVE FOR 20 MIN

(conclusão)

Arrivals (Chegadas)

Entity	Location	Qty each	First time	Occurrences	Frequency	Logic	Disable
Fardo_Celulose	Fábrica_Mucuri	1	0	INF	vprd MIN	INC vProducaoDiaria	No
Caminhão	Chegada_MI	1	1	INF	vmi MIN	aTipo = 1	No
Caminhão	Doca	68	1	1		aTipo = 2	No
Navio	ChegadaEmbarque	1	3 DAY	12	30 DAY	aNavio = 1 aCapacidade = (N(17194, 4502)/2) IF aCapacidade < 0 THEN { aCapacidade = 0 }	No
Navio	ChegadaEmbarque	1	17 DAY	12	30 DAY	aNavio = 2 aCapacidade = (N(8709, 4665)/2) IF aCapacidade < 0 THEN { aCapacidade = 0 }	No
Navio	ChegadaEmbarque	1	13 DAY	12	30 DAY	aNavio = 3 aCapacidade = (N(7026, 2924)/2) IF aCapacidade < 0 THEN { aCapacidade = 0 }	No
Navio	ChegadaEmbarque	1	25 DAY	12	30 DAY	aNavio = 4 aCapacidade = (N(11431, 5700)/2) IF aCapacidade < 0 THEN { aCapacidade = 0 }	No
Navio	ChegadaEmbarque	1	27 DAY	12	30 DAY	aNavio = 5 aCapacidade = (N(8300, 5654)/2) IF aCapacidade < 0 THEN { aCapacidade = 0 }	No
Navio	ChegadaEmbarque	1	19 DAY	12	30 DAY	aNavio = 6 aCapacidade = (N(18244, 9686)/2) Asial = aCapacidade IF aCapacidade < 0 THEN { aCapacidade = 0 }	No
Navio	ChegadaEmbarque	1	19 DAY	12	30 DAY	aNavio = 7 IF Asial < 7500 THEN { aCapacidade = (N(31644, 8116)/2) } IF Asial >= 7500 AND Asial < 10000 THEN { aCapacidade = (N(15493, 4792)/2) } IF Asial >= 10000 THEN { aCapacidade = (N(25161, 10395)/2) } IF aCapacidade < 0 THEN { aCapacidade = 0 }	No
Caminhão	Doca	47	100 DAY	3	100 DAY	aTipo = 3	No

Subroutines (Subrotina)



ID	Type	Parameters...	Logic...
sub_var	None	None	LOOP:WAIT 24 HR INC v4

Logic

```
LOOP:
WAIT 24 HR

INC v4
Navios [v4, 1] = vProducaoDiaria
vProducaoDiaria = 0

Navios [v4, 2] = vQtdCaminhoes1
vQtdCaminhoes1 = 0

Navios [v4, 3] = vQtdCaminhoes2
vQtdCaminhoes2 = 0
Navios [v4, 16] = vQtdCaminhoes3
vQtdCaminhoes3 = 0

vprd = (2880/(0.001 + B(3.1, 1.05, 0, 1)*5000))

INC vaux
IF vaux = 6 THEN
{
vmi = 2450
}
IF vaux = 7 THEN
{
vmi = 2450
vaux = 0
}
IF vaux < 6 THEN
{
vmi = (37440/(0.001 + G(2.196, 103.3)))
}

GOTO LOOP
```


Anexo IV – Dados de saída do resultado analisado

Tabela 34 - Resultados da rodada 4

Dia equi- valente	Tempo	Berço	Destino	Quantidade (t)	Tempo de espera (h)	Tempo esti- mado (h)	Sobre- estadia (h)	Custo por hora (US\$)	CUSTO total (US\$)
14-Jan	353	1	EUR 1	14466	24,80	24,80	0,00	916,67	0,00
15-Jan	372	2	MED 1	0	0,00	0,00	0,00	750,00	0,00
19-Jan	473	2	ASIA 1	13114	22,48	22,48	0,00	916,67	0,00
24-Jan	585	3	ASIA 2	32846	56,31	56,31	0,00	916,67	0,00
24-Jan	600	1	EUR 2	16462	28,22	28,22	0,00	916,67	0,00
31-Jan	752	1	EUA	8460	14,50	14,50	0,00	750,00	0,00
4-Feb	847	2	MED 2	0	0,00	0,00	0,00	750,00	0,00
7-Feb	925	1	EUR 1	21036	36,06	36,06	0,00	916,67	0,00
20-Feb	1.227	3	ASIA 1	16660	28,56	28,56	0,00	916,67	0,00
23-Feb	1.316	1	MED 1	43102	73,89	73,89	0,00	750,00	0,00
24-Feb	1.327	3	ASIA 2	35772	156,87	61,32	95,55	916,67	87587,75
27-Feb	1.411	2	EUR 2	13408	105,69	22,99	82,70	916,67	75809,21
8-Mar	1.630	1	MED 2	7266	12,46	12,46	0,00	750,00	0,00
10-Mar	1.659	3	EUA	0	0,00	0,00	0,00	750,00	0,00
10-Mar	1.678	2	EUR 1	11468	19,66	19,66	0,00	916,67	0,00
20-Mar	1.908	1	MED 1	3102	5,32	5,32	0,00	750,00	0,00
24-Mar	1.995	3	ASIA 1	28734	49,26	49,26	0,00	916,67	0,00
24-Mar	2.013	1	ASIA 2	8294	14,22	14,22	0,00	916,67	0,00
27-Mar	2.065	2	EUR 2	14878	25,50	25,51	0,00	916,67	0,00
28-Mar	2.105	3	EUA	4490	7,70	7,70	0,00	750,00	0,00
3-Apr	2.249	2	EUR 1	21982	37,68	37,68	0,00	916,67	0,00
5-Apr	2.292	1	MED 2	15250	26,14	26,14	0,00	750,00	0,00
25-Apr	2.771	1	MED 1	0	0,00	0,00	0,00	750,00	0,00
26-Apr	2.799	3	ASIA 1	24962	42,79	42,79	0,00	916,67	0,00
29-Apr	2.879	2	EUR 2	7244	12,42	12,42	0,00	916,67	0,00
6-May	3.024	3	MED 2	19182	32,88	32,88	0,00	750,00	0,00
9-May	3.114	2	EUA	11032	18,91	18,91	0,00	750,00	0,00
11-May	3.155	1	ASIA 2	33608	57,61	57,61	0,00	916,67	0,00
16-May	3.280	3	EUR 1	19336	33,15	33,15	0,00	916,67	0,00
23-May	3.456	3	ASIA 1	25844	44,30	44,30	0,00	916,67	0,00
31-May	3.640	3	ASIA 2	29320	50,26	50,26	0,00	916,67	0,00
1-Jun	3.655	1	EUR 2	28794	49,36	49,36	0,00	916,67	0,00
4-Jun	3.729	2	MED 1	15942	27,33	27,33	0,00	750,00	0,00
13-Jun	3.947	1	EUA	5798	9,94	9,94	0,00	750,00	0,00
15-Jun	3.996	3	MED 2	15138	25,95	25,95	0,00	750,00	0,00
15-Jun	4.004	2	EUR 1	19278	33,05	33,05	0,00	916,67	0,00
20-Jun	4.107	2	ASIA 1	25208	43,21	43,21	0,00	916,67	0,00
26-Jun	4.259	1	MED 1	40192	90,18	68,90	21,28	750,00	15960,53
28-Jun	4.302	3	EUR 2	12976	72,25	22,24	50,01	916,67	45838,84
6-Jul	4.505	2	ASIA 2	16432	28,17	28,17	0,00	916,67	0,00
8-Jul	4.551	1	MED 2	9088	15,58	15,58	0,00	750,00	0,00
15-Jul	4.715	3	EUA	9106	15,61	15,61	0,00	750,00	0,00
18-Jul	4.781	1	MED 1	0	0,00	0,00	0,00	750,00	0,00
20-Jul	4.835	2	EUR 1	15816	27,11	27,11	0,00	916,67	0,00
22-Jul	4.881	3	EUR 2	20010	34,30	34,30	0,00	916,67	0,00
26-Jul	4.970	1	ASIA 1	0	0,00	0,00	0,00	916,67	0,00
27-Jul	5.011	2	ASIA 2	22200	38,06	38,06	0,00	916,67	0,00
2-Aug	5.155	3	MED 2	1298	2,23	2,23	0,00	750,00	0,00

(continua)

(continuação)

Dia equivalente	Tempo	Berço	Destino	Quantidade (t)	Tempo de espera (h)	Tempo estimado (h)	Sobre-estadia (h)	Custo por hora (US\$)	CUSTO total (US\$)
2-Aug	5.159	1	EUA	13706	23,50	23,50	0,00	750,00	0,00
10-Aug	5.329	2	EUR 1	21394	36,68	36,68	0,00	916,67	0,00
19-Aug	5.564	1	MED 1	13252	22,72	22,72	0,00	750,00	0,00
25-Aug	5.694	3	ASIA 1	22422	38,44	38,44	0,00	916,67	0,00
25-Aug	5.712	2	EUR 2	10974	18,81	18,81	0,00	916,67	0,00
4-Sep	5.928	1	ASIA 2	4206	7,21	7,21	0,00	916,67	0,00
5-Sep	5.969	2	MED 2	21530	36,91	36,91	0,00	750,00	0,00
10-Sep	6.080	3	EUA	8264	14,17	14,17	0,00	750,00	0,00
10-Sep	6.090	1	EUR 1	17984	30,83	30,83	0,00	916,67	0,00
15-Sep	6.194	2	MED 1	12810	21,96	21,96	0,00	750,00	0,00
16-Sep	6.233	2	ASIA 1	23940	41,04	41,04	0,00	916,67	0,00
18-Sep	6.285	1	EUR 2	13936	43,77	23,89	19,88	916,67	18225,32
24-Sep	6.427	1	MED 2	5276	9,04	9,04	0,00	750,00	0,00
25-Sep	6.439	2	EUA	5482	9,40	9,40	0,00	750,00	0,00
2-Oct	6.604	1	EUR 1	20732	35,54	35,54	0,00	916,67	0,00
11-Oct	6.820	3	ASIA 2	30252	51,86	51,86	0,00	916,67	0,00
18-Oct	6.997	1	MED 1	0	0,00	0,00	0,00	750,00	0,00
23-Oct	7.109	3	ASIA 1	29084	49,86	49,86	0,00	916,67	0,00
25-Oct	7.176	3	MED 2	5138	8,81	8,81	0,00	750,00	0,00
28-Oct	7.225	2	EUR 2	8600	14,74	14,74	0,00	916,67	0,00
8-Nov	7.500	2	EUR 1	18958	32,50	32,50	0,00	916,67	0,00
9-Nov	7.522	1	ASIA 2	21582	37,00	37,00	0,00	916,67	0,00
10-Nov	7.550	2	MED 1	33810	90,21	57,96	32,25	750,00	24189,69
16-Nov	7.699	3	EUA	16582	28,43	28,43	0,00	750,00	0,00
20-Nov	7.780	2	ASIA 1	19622	36,23	33,64	2,59	916,67	2377,39
20-Nov	7.782	1	EUR 2	25002	190,44	42,86	147,58	916,67	135277,31
23-Nov	7.869	3	ASIA 2	28768	309,22	49,32	259,91	916,67	238246,54
26-Nov	7.921	2	MED 2	4206	244,30	7,21	237,09	750,00	177818,61
7-Dec	8.195	1	EUA	15754	94,20	27,01	67,19	750,00	50392,11
13-Dec	8.350	3	MED 1	8474	14,53	14,53	0,00	750,00	0,00
14-Dec	8.368	2	EUR 1	16308	79,30	27,96	51,34	916,67	47062,35
16-Dec	8.414	1	EUR 2	29478	244,66	50,53	194,13	916,67	177953,17
18-Dec	8.470	3	ASIA 1	22002	327,24	37,72	289,52	916,67	265390,88
24-Dec	8.596	2	ASIA 2	41002	479,77	70,29	409,48	916,67	375357,53
31-Dec	8.781	1	MED 2	16472	345,19	28,24	316,95	750,00	237711,53
9-Jan	9.000	3	EUA	0	0,00	0,00	0,00	750,00	0,00
TOTAL				1.365.596			2277,43		1.975.199

(conclusão)

BIBLIOGRAFIA

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial**. 5. ed. Ed. Bookman. 2006.

BESANKO, D. **A Economia da estratégia**. Ed. Bookman. 2006.

CASSEL, R.A. **Desenvolvimento de uma abordagem para a divulgação da simulação no setor calçadista gaúcho**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – UFRGS. Porto Alegre. 1996.

CASTRO NETO, L. R. **Modelagem e simulação da cadeia produtiva do minério de ferro**. Dissertação de Mestrado – EPUSP. São Paulo. 2006.

CHEBAT, D. **Análise da viabilidade de integração entre rotas de longo curso e de cabotagem utilizando um modelo matemático**. Trabalho de formatura – EPUSP. São Paulo. 2006.

COSTA NETO, P.L.O. **Estatística**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blucher. 2002.

COSTA NETO, P.L.O.; CYMBALISTA, M. **Probabilidades**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blucher. 2006.

CSCMP. **Council of Supply Chain Management Professionals – CSCMP Supply Chain Management and Logistics Management Definitions**. 2009. Disponível em <http://cscmp.org/aboutcscmp/definitions.asp>. Acessado em: 28 de outubro de 2009.

CUNHA FILHO, N. M. **Os Portos e sua atividade**. 115p. Vitória/ES: Ed. Formar. 2003.

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

JURAN. J. M. **The quality control process**. In: JURAN. J. M. Juran's quality control handbook. 5 ed. New York: McGraw-Hill. 1998. p 4.1 – 4.29.

MAPEL Jr.. J. L. **Processo de produção de celulose**. Apresentação. Disponível em <http://www.slideshare.net/jmapeljr/macro-processo-da-producao-de-celulose-industrial-1423617>. Acessado em 2 de novembro de 2009.

MIN. H.; ZHOU. G. **Supply chain modeling: past, present and future**. Computer and Industrial Engineering. New York. v. 43. n. 1-2. p. 231-249. Jul. 2002.

OKAMOTO. G. **Implantação do modelo de reposição de estoque numa empresa alimentícia**. Trabalho de formatura – EPUSP. São Paulo. 2002.

PORTER. M. E. **Vantagem Competitiva**. Ed. Campus. 1989.

Relatório Final da Comissão Especial para, no Prazo de 60 Dias, Estudar e Propor Políticas Públicas para o Setor Florestal, com Foco Principal nas Florestas Plantadas, e Ações de Incentivo à Produção de Madeira - Comissão Especial da Silvicultura. Diário do Legislativo de 19/10/2004 da Assembléia Legislativa do Estado de Minas Gerais. Disponível em www.almg.gov.br/dia/A_2004/10/L191004.htm. Acessado em 2 de novembro de 2009.

SANTOS. E. S. **Demurrage**. *Artigo disponível em:*
http://www2.oabsp.org.br/asp/comissoes/dir_maritimo/artigos/demurrage.pdf. Acessado em 10/05/2009.

SHANNON. R. E. **Introduction to Simulation**. In: **Proceedings of the Winter Simulation Conference**. pp. 65-73. 1992.

SILVA. A.K. **Método para avaliação e seleção de softwares de simulação de eventos discretos aplicados à análise de sistemas logísticos**. Dissertação de Mestrado – EPUSP. São Paulo. 2006.