

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CAMPUS SOROCABA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

KARINE FASOLIN LOPES

**PRIORIZAÇÃO DE *INBOUND* EM CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO:  
ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE BENS DE CONSUMO  
NÃO DURÁVEIS**

Sorocaba  
2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CAMPUS SOROCABA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

KARINE FASOLIN LOPES

**PRIORIZAÇÃO DE *INBOUND* EM CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO:  
ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE BENS DE CONSUMO  
NÃO DURÁVEIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientação: Profa. Dra. Eli Angela Vitor Toso

Sorocaba  
2015

L864p Lopes, Karine Fasolin.  
Priorização de inbound em centro de distribuição : estudo de caso em uma empresa de bens de consumo não duráveis / Karine Fasolin Lopes. -- 2015. 126 f. : 30 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, Campus Sorocaba, Sorocaba, 2015.

Orientador: Eli Angela Vitor Toso.

Banca examinadora: Luiza Amália Pinto Cantão, João Eduardo Azevedo Ramos da Silva.

Bibliografia

1. Logística empresarial. 2. Administração de material. I. Orientador. II. Sorocaba-Universidade Federal de São Carlos. III. Título.

CDD 658.5

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do *Campus* de Sorocaba.

**KARINE FASOLIN LOPES**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia da Universidade Federal de São Carlos para obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção, Área de Concentração: Gestão de Operações.**

**Sorocaba, 16 de julho de 2015**

**Orientador (a):**



---

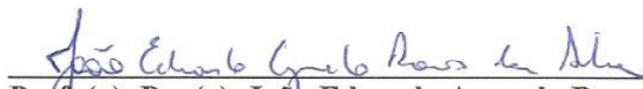
**Prof. (a). Dr. (a). Eli Angela Vitor Toso**  
UFSCar/DEPS

**Examinadores (as):**



---

**Prof. (a). Dr. (a). Luiza Amália Pinto Cantão**  
UNESP/Sorocaba



---

**Prof. (a). Dr. (a). João Eduardo Azevedo Ramos da Silva**  
UFSCar/DEPS

## **DEDICATÓRIA**

*Dedico este trabalho a Deus e agradeço por toda força e paciência que me concedeu. Sou grata por nunca me deixar faltar à perseverança para concretizar mais um objetivo em minha vida.*

## AGRADECIMENTO

*Gostaria de iniciar expressando minha gratidão aos meus pais, Meire e Valdir, por participar ativamente da minha vida, pelo carinho e pela força de sempre. Também aos meus avôs, Olga, Humberto e Ermelina (in memoriam), pessoas importantes de minha vida e também responsáveis pela minha formação. E aos meus irmãos (Kleyton e Kleber) e ao Alexandre (meu afilhado) pela disposição em ajudar sempre. Muito obrigada pelo enorme apoio e incontestável torcida! Amo vocês!*

*Também agradeço de maneira especial a minha orientadora Profa. Dra. Eli Toso por toda paciência e atenção despendida. Esse trabalho não seria possível sem a sua valiosa orientação e preciosos conselhos. Obrigada pela confiança!*

*Ao Vinícius Doblack pela paciência, companhia e especialmente pelo ânimo e parceria nos momentos difíceis.*

*Não podia deixar de agradecer também a Universidade e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - Sorocaba pela oportunidade concedida e agradecer de forma particular à Érica Kushihara Akim pela colaboração e disposição de sempre.*

*Sou grata, ainda, a todos os amigos que fiz ao longo do mestrado, em especial ao Jonathan De la Vega e Alfredo Arteaga pela força e companheirismo. Também as minhas amigas de longo tempo, que apesar da minha falta de tempo e da distância sempre foram compreensivas e torceram por mim.*

*Meus agradecimentos a empresa onde esse trabalho foi fundamentado.*

*Enfim, sou grata a Deus por esta oportunidade que levarei comigo pelo resto da vida.*

## RESUMO

LOPES, Karine F. Priorização de *inbound* em centro de distribuição: estudo de caso de uma empresa de bens de consumo não duráveis. 2015. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2015.

As empresas do setor de bens de consumo não duráveis no Brasil sofrem com uma grande concentração das vendas no final do período de comercialização, isto é, uma grande quantidade de entregas para clientes ocorre nos últimos dias do mês. Este fenômeno pode intervir diretamente nos custos da empresa, assim como no nível de serviço por falta de produtos disponíveis. Situações bastante comuns que ocorrem em Centros de Distribuição (CD) neste período são veículos aguardando para descarregar e a falta de produtos para entrega de pedidos, sendo que pode acontecer de os produtos faltantes estarem na fila de espera, em veículos, aguardando para serem recebidos. Como as operações nos centros de distribuição neste período trabalham focadas na expedição de produtos, apenas algumas docas estão disponíveis para descarregar. Desta forma, a questão chave é determinar quais carretas devem entrar nas docas para descarregar considerando a necessidade de produto para a operação de expedição, o que interfere diretamente no nível de serviço aos clientes e também nos custos envolvidos nesta escolha, por exemplo, custos relacionados à perda de vendas e neste caso, pode envolver a decisão de pagamentos de docas extras. Portanto, o objetivo deste trabalho é, primeiramente, propor um modelo de programação matemática para auxiliar na priorização de recebimento de veículos, ou seja, determinar quais veículos devem descarregar considerando apenas a falta de produto e, avaliar uma extensão deste modelo para minimizar os custos da priorização de veículos, considerando a falta dos produtos, as horas extras e a taxa de estadia cobrada por veículo não descarregado. Os modelos são baseados em problemas de alocação de veículos, tais como alocação de portões em aeroportos e alocação de navios em portos, mas considera o problema de recebimento em um centro de distribuição de uma empresa do setor de bens de consumo não duráveis. Os modelos foram resolvidos utilizando o pacote comercial GAMS/CPLEX e os resultados obtidos foram comparados com os planos praticados pela empresa obtendo uma melhora média para a minimização da falta de 37,1% e minimização de custos de 31%. Além disso, a fim de verificar a adequação do modelo, algumas instâncias aleatórias também foram executadas. Os resultados do modelo geraram soluções adequadas para o problema, mostrando que o modelo é uma ferramenta viável para a priorização de recebimento de produtos.

Palavras-chave: Programação de Recebimento. Centros de distribuição. Setor de Bens de Consumo.

## ABSTRACT

Companies in the distribution sector of non-durable consumer goods in Brazil suffer with the sales' concentration at the end of the marketing period, i.e., when a large amount of deliveries to customers occur in the last days of the month. This phenomenon can directly affect the company's costs as well as the level of service for lack of available products. Quite common scenarios that happen in distribution centers (DC) in this period are vehicles waiting to unload and the lack of products for delivery orders – it can also happen that the missing products are queued on hold in the trucks, waiting to be received. Considering the operations in distribution centers during this period is focused on the outbound of products, just some docks are available for unload. Based on this, the key issue is to determine which trucks must enter first at the docks to unload considering the necessity of products for the shipping operations and also the costs involved in this choice. Hence, the main objective of this study is firstly to propose a Mathematical Programming model to assist in prioritizing incoming vehicles, i.e., to determine which trucks must unload only considering the lack of product. Also, evaluate an extension of this model to minimize the costs of prioritization of vehicles, considering the lack of products, extra hours and demurrage per vehicle not received. The model is based on problems of vehicles assignment such as the gate assignments in airports and ships allocation in ports. Nevertheless, taking into consideration a distribution center of a company on the non-durable Consumer Goods Sector. The model was solved using the commercial package GAMS/CPLEX and the results were compared with the plans practiced by the company obtaining an average improvement for minimizing the lack of products of 37.1 % and 31% of minimizing costs. Furthermore, in order to verify the model fitness, some random instances were also performed. The model results generated adequate solutions to the problem, showing that the model is a viable tool for the inbound prioritizing of products.

Keywords: Inbound Scheduling. Distribution center. Consumer Goods sector.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1.1- Modelo de Pesquisa. ....  | 4  |
| Figura 2.1 - As funções básicas de um Centro de Distribuição. ....  | 8  |
| Figura 2.2 - Carga fracionada. ....   | 11 |
| Figura 2.3 - Carga paletizada.....  | 12 |
| Figura 2.4 - Configurações básicas de docas. ....   | 13 |
| Figura 2.5 - Sistema de Agendamento de docas para operação de recebimento. ....   | 14 |
| Figura 2.6 - Fluxo típico em um sistema de cross docking. ....  | 17 |
| Figura 2.7 - Representação Layout Discreto, Contínuo e Híbrido.....   | 23 |
| Figura 2.8 - Porto Graneleiro.....  | 24 |
| Figura 3.1 - Cadeia de suprimento típica do varejo supermercadista .....  | 31 |
| Figura 3.2 - Gráfico clássico de distribuição das vendas/entrega nas semanas do mês.....  | 31 |
| Figura 3.3 - Quantidades de produção, vendas e estoque. ....  | 32 |
| Figura 3.4 - Representação esquemática do problema.....   | 34 |
| Figura 3.5 - Rede de distribuição logística da empresa no Brasil.....   | 35 |
| Figura 4.1 - Resultado do modelo desenvolvido para instância 1 – planejamento prévio. ....  | 57 |
| Figura 4.2 - Estoque do produto $i$ em caixas no período de tempo $t$ na instância 1 - planejamento prévio. ....                                      | 59 |
| Figura 4.3 - Resultado da função objetivo, falta de estoque em caixas de produtos, no período de tempo $t$ da instância 1 - planejamento prévio. .... | 60 |
| Figura 4.4 - Resultado do modelo desenvolvido para instância real 1 – replanejamento. ....  | 61 |
| Figura 4.5 - Resultado da função objetivo, falta de estoque, no período de tempo $t$ da instância 1 - replanejamento. ....                            | 62 |
| Figura 4.6 - Estoque do produto $i$ no período $t$ (em caixas) da instância 1- replanejamento. ...  | 64 |
| Figura 4.7 - Resultado do modelo desenvolvido para instância 2. ....  | 69 |
| Figura 4.8 - Resultado da função objetivo, falta de estoque, no período de tempo $t$ da instância 2. ....   | 70 |
| Figura 4.9 - Estoque do produto $i$ em caixas no período $t$ (em caixas) da instância 2.....  | 72 |
| Figura 5.1 - Resultado do modelo desenvolvido para instância 1. ....  | 79 |
| Figura 5.2 - Resultado do modelo desenvolvido para instância 2. ....  | 82 |
| Figura 6.1- Priorização adotada pela empresa na instância 1 – replanejamento. ....  | 86 |
| Figura 6.2 - Priorização adotada pela empresa na instância 2. ....  | 89 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 3.1 - As 10 primeiras das 250 maiores empresas mundiais de bens de consumo. ....   | 28 |
| Tabela 3.2 - Perfil por setor de produtos, 2012 .....   | 29 |
| Tabela 3.3 - Percentual de pedidos faturados semanalmente durante um mês nos países da América Latina. ....                     | 37 |
| Tabela 3.4 - Distribuição de janelas por mês para operação de Inbound. ....   | 42 |
| Tabela 4.1 - Distribuição de janelas para o período crítico do mês - Instância 1. ....  | 52 |
| Tabela 4.2 - Disponibilidade da carreta para modelagem da instância 1. ....   | 52 |
| Tabela 4.3 - Quantidade de produto na carreta em caixas para instância 1. ....  | 54 |
| Tabela 4.4 - Informação sobre os produtos em caixas para instância 1. ....  | 55 |
| Tabela 4.5 - Horário de operação das docas para modelagem da instância 1 – planejamento prévio. ....                            | 56 |
| Tabela 4.6 - Estoque recebido e resultantes do modelo desenvolvido para a instância 1 - planejamento prévio. ....               | 58 |
| Tabela 4.7 - Horário de operação das docas para modelagem da instância 1 – replanejamento. ....                                 | 61 |
| Tabela 4.8 - Estoque recebido e resultantes do modelo desenvolvido para a instância 1 - replanejamento. ....                    | 63 |
| Tabela 4.9 - Distribuição de janelas por mês para operação de inbound – instância 2. ....                                       | 65 |
| Tabela 4.10 - Horário de operação das docas para modelagem da instância 2. ....   | 66 |
| Tabela 4.11 - Quantidade de produto em caixas na carreta em caixas para instância 2. ....                                       | 67 |
| Tabela 4.12 - Informação sobre os produtos em caixas para instância 2. ....   | 68 |
| Tabela 4.13 - Estoque recebido e resultantes do modelo desenvolvido para a instância 2. ....                                    | 71 |
| Tabela 5.1 - Custo da falta de estoque de produto ( $P_i$ ) da instância 1. ....  | 78 |
| Tabela 5.2- Custos referentes a instância 1. ....   | 79 |
| Tabela 5.3 - Estoque recebido e resultantes do modelo desenvolvido para a instância 1. ....                                     | 80 |
| Tabela 5.4 - Custo da falta de estoque de produto ( $P_i$ ) da instância 2. ....  | 81 |
| Tabela 5.5 - Estoque recebido e resultantes do modelo desenvolvido para a instância 2. ....                                     | 83 |
| Tabela 5.6 - Custos referentes a instância 2. ....  | 84 |
| Tabela 6.1 - Estoque recebido e resultados da priorização adotada pela empresa (instância 1 – replanejamento). ....             | 87 |
| Tabela 6.2 - Comparativo entre resultado do modelo proposto e o plano adotado pela empresa (instância 1 – replanejamento). .... | 88 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 6.3 - Estoque recebido e resultados da priorização adotada pela empresa para a instância 2. ....                                       | 90  |
| Tabela 6.4 - Comparativo da falta de estoque por período de tempo na instância 2 do resultado proposto com o plano adotado pela empresa. .... | 91  |
| Tabela 6.5 - Custo da falta de estoque na priorização adotada pela empresa para instância 1. ....   | 92  |
| Tabela 6.6 - Comparativo dos custos da instância 1 para método proposto e adotado pela empresa.....   | 93  |
| Tabela 6.7 - Custo da falta de estoque na priorização adotada pela empresa para instância 2. ....   | 94  |
| Tabela 6.8 - Comparativo dos custos da instância 2 para método proposto e adotado pela empresa.....   | 95  |
| Tabela 7.1 - Características das instâncias geradas aleatoriamente .....  | 97  |
| Tabela 7.2 - Número de carretas possíveis de receber em função do número de docas e períodos considerados.....                                | 98  |
| Tabela 7.3 - Resultados do Grupo 1 de instâncias aleatórias .....   | 99  |
| Tabela 7.4 - Resultados do Grupo 2 de instâncias aleatórias .....   | 100 |
| Tabela 7.5 - Resultados do grupo 3 de instâncias aleatórias .....   | 100 |
| Tabela 7.6 - Características das alterações do exemplar 16. ....  | 101 |
| Tabela 7.7 - Resultados das alterações do exemplar 16.....  | 101 |
| Tabela 7.8 - Características das instâncias geradas aleatoriamente. ....  | 103 |
| Tabela 7.9 - Resultados do Grupo 1, 2 e 3 das instâncias aleatórias.....  | 104 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

CD Centro de distribuição

TI Tecnologia da Informação

FIFO First in First out

PAB Problema de alocação de navios em berços

SKU Stock Keeping unit

PO Purchase Order

## SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b> .....   | <b>1</b>  |
| 1.1      | OBJETIVO .....  | 2         |
| 1.2      | JUSTIFICATIVA .....   | 3         |
| 1.3      | METODOLOGIA DE PESQUISA .....   | 4         |
| 1.4      | ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....   | 5         |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....  | <b>7</b>  |
| 2.1      | CARACTERIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES EM CENTROS DE DISTRIBUIÇÃO .....               | 7         |
| 2.1.1    | <b>Operação de recebimento (<i>inbound</i>)</b> .....                       | <b>10</b> |
| 2.1.2    | <b>Alocação de veículos a docas de recebimento</b> .....                    | <b>13</b> |
| 2.1.3    | <b>Problemas na operação de recebimento e seus impactos em custos</b> ..... | <b>15</b> |
| 2.1.4    | <b>Cross docking</b> .....  | <b>16</b> |
| 2.2      | MODELOS DE ALOCAÇÃO DE VEÍCULOS .....                                       | 20        |
| 2.2.1    | <b>Modelos de alocação de aviões a portões de embarque</b> .....            | <b>20</b> |
| 2.2.2    | <b>Modelos de alocação de navios em berço de portos</b> .....               | <b>22</b> |
| <b>3</b> | <b>DESCRIÇÃO DO PROBLEMA</b> .....  | <b>26</b> |
| 3.1      | CONTEXTUALIZAÇÃO DO SETOR .....   | 26        |
| 3.1.1    | <b>Rede de distribuição logística do setor</b> .....                        | <b>30</b> |
| 3.1.2    | <b>Característica das vendas</b> .....                                      | <b>31</b> |
| 3.2      | A EMPRESA ESTUDADA .....  | 34        |
| 3.2.1    | <b>Característica da empresa</b> .....                                      | <b>35</b> |
| 3.2.2    | <b>Planejamento de recebimento de veículos</b> .....                        | <b>38</b> |
| 3.3      | DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA PARA O ESTUDO DE CASO .....                         | 45        |
| 3.4      | COLETA DE DADOS .....   | 45        |
| <b>4</b> | <b>ABORDAGEM PARA MINIMIZAR A FALTA DE PRODUTOS</b> .....                   | <b>48</b> |

|              |  |           |
|--------------|--|-----------|
| 4.1          | CONSIDERAÇÕES PARA MODELAGEM.....                                      | 48        |
| 4.2          | MODELO MATEMÁTICO.....   | 49        |
| 4.3          | RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS .....                       | 51        |
| <b>4.3.1</b> | <b>Experimentos computacionais com Instância 1.....</b>                | <b>52</b> |
| <b>4.3.2</b> | <b>Experimentos computacionais com a Instância 2.....</b>              | <b>65</b> |
| <b>5</b>     | <b>ABORDAGEM PARA MINIMIZAR CUSTOS.....</b>                            | <b>73</b> |
| 5.1          | CONSIDERAÇÕES PARA MODELAGEM.....                                      | 73        |
| 5.2          | MODELO MATEMÁTICO.....   | 75        |
| 5.3          | RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS .....                       | 77        |
| <b>5.3.1</b> | <b>Experimentos computacionais com Instância 1.....</b>                | <b>78</b> |
| <b>5.3.2</b> | <b>Experimentos computacionais com Instância 2.....</b>                | <b>81</b> |
| <b>6</b>     | <b>CONSIDERAÇÕES PRÁTICAS PARA AS ABORDAGENS PROPOSTAS .85</b>         |           |
| 6.1          | ANÁLISE DE ADEQUAÇÃO DAS ABORDAGENS PROPOSTAS AO PROBLEMA PRÁTICO..... | 85        |
| 6.2          | COMPARATIVO COM AS PRÁTICAS DA EMPRESA.....                            | 85        |
| <b>6.2.1</b> | <b>Abordagem para minimizar falta de estoque .....</b>                 | <b>86</b> |
| 6.2.1.1      | Comparativo da Instância 1 .....                                       | 86        |
| 6.2.1.2      | Comparativo da Instância 2 .....                                       | 88        |
| <b>6.2.2</b> | <b>Abordagem para minimizar custos .....</b>                           | <b>91</b> |
| 6.2.2.1      | Comparativo da Instância 1 .....                                       | 91        |
| 6.2.2.2      | Comparativo da Instância 2 .....                                       | 93        |
| <b>7</b>     | <b>RESULTADOS DE DADOS ALEATÓRIOS.....</b>                             | <b>96</b> |
| 7.1          | ABORDAGEM PARA MINIMIZAR FALTA DE ESTOQUE.....                         | 96        |
| 7.2          | ABORDAGEM PARA MINIMIZAR CUSTOS.....                                   | 102       |
| 7.3          | CONCLUSÃO DOS DADOS ALEATÓRIOS .....                                   | 105       |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| <b>8</b> | <b>CONCLUSÕES FINAIS.....</b>                         | <b>106</b> |
| 8.1      | CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA..... | 106        |
| 8.2      | LIMITAÇÕES DA PESQUISA .....                          | 107        |
| 8.3      | PERSPECTIVAS PARA FUTURAS PESQUISAS .....             | 108        |
|          | <b>REFERÊNCIAS.....</b>                               | <b>109</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria do setor de bens de consumo não duráveis vem crescendo mundialmente, especialmente influenciada pelo aumento do comércio eletrônico. Segundo (PRANDI, 2014), um novo relatório lançado pela Kantar Worldpanel revela que o mercado global de bens de consumo não duráveis crescerá 17 bilhões até 2016, e ainda prevê que o comércio eletrônico será responsável pela movimentação de US\$ 53 bilhões em vendas globais em 2016 - um aumento de US\$ 17 bilhões (47%) sobre os US\$ 36 bilhões apresentados em 2014.

Além disso, em países emergentes como é o caso do Brasil, o crescimento é ainda maior como resultado do aumento de consumo das classes mais baixas. Conforme (SOUZA, 2013), um estudo da Kantar Worldpanel revelou que a cesta de consumo de bens não duráveis deveria expandir em 2014 no mesmo ritmo do primeiro semestre de 2013, quando segundo levantamento em 8,2 mil lares brasileiros apresentou um crescimento na cesta de alimentos, bebidas, produtos de higiene e limpeza de 2% em volume.

Neste setor de bens de consumo não duráveis, as maiores empresas são companhias multinacionais de grande porte, que trabalham com uma ampla variedade de produtos e algumas delas atuam em mais de um segmento do setor, desta forma, estas empresas se caracterizam por uma rede de distribuição logística complexa, composta por numerosos fornecedores, várias fábricas, diversos centros de distribuição e clientes espalhados por todo o mundo, o que implica em grande complexidade nas suas operações.

Outra particularidade do setor, especialmente no mercado brasileiro, é o fato de ocorrer uma concentração de vendas no final do período de comercialização, ou seja, uma grande quantidade das entregas de um determinado período ocorre nos últimos dias ou semanas deste ciclo. Também conhecido como pico de vendas, este fenômeno ocorre em função de aspectos culturais, tributários e comerciais. A questão cultural está associada à época das grandes inflações, quando a massa salarial realizava suas compras no mercado na primeira semana do mês para não perder o poder de compra, e tributário porque o recolhimento de imposto se dava a partir do último dia do mês. Juntamente com estes aspectos, a política comercial adotada pelas empresas, as quais insistem em trabalhar com metas e tabelas de descontos no final do mês, contribui ainda mais para a ocorrência dos picos de venda no final do mês.

Estes picos de venda causam transtornos para o gerenciamento em toda a cadeia produtiva, interferindo nas diversas atividades da empresa tais como transporte, gestão de

estoques, armazenagem, movimentação, planejamento de produção, compras, entre outras. Desta forma, as operações do Centro de Distribuição (CD) das empresas do setor neste período também são afetadas diretamente. Como as vendas neste período são altas, isso exige que o CD tenha as suas docas e a sua operação focadas na operação de expedição de produtos e não no recebimento. No entanto, em função de diversos atrasos e imprevistos operacionais que vão acontecendo ao longo do mês e que se acumulam, uma situação bastante comum no CD neste período são veículos aguardando para descarregar e falta de produtos para entrega de pedidos, sendo que os produtos faltantes podem estar na fila de espera aguardando para serem recebidos. Mediante esta situação, o CD acaba por receber uma quantidade restrita de veículos e como o número de carretas no caso é sempre maior do que a disponibilidade de docas focada para o *inbound*, a questão é determinar quais veículos receber e em qual período de tempo.

Além disso, outro desafio no processo de escolha e priorização dos veículos, como em cada veículo aguardando para descarregar podem existir vários produtos, em diversas quantidades e com vários produtos críticos e faltantes aguardando para faturar, isso gera uma complexidade maior para determinar quais veículos deveriam ser descarregados em cada período, de modo a minimizar a falta de produtos e principalmente reduzir o impacto em relação ao nível de serviço.

## 1.1 OBJETIVO

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é propor um modelo baseado em programação matemática para auxiliar a tomada de decisão acerca da priorização de *inbound* em um centro de distribuição de forma a melhorar o nível de serviço da empresa. O que significa que as decisões representadas pelo modelo estão associadas à definição de quais veículos devem ser descarregados em cada doca em um determinado período, primeiramente com o intuito de reduzir a falta de produtos que são demandados. Posteriormente, propor uma alteração na função objetivo do modelo que minimize o custo em relação a priorização do *inbound* de veículos, considerando o custo referente a falta de estoque dos produtos, as horas extras necessárias para o descarregamento e a taxa paga pela sobre-estadia de um veículo disponibilizado que não é recebido.

Além disso, fazem parte dos objetivos deste trabalho avaliar o modelo proposto através do comparativo dos resultados propostos com a priorização adotada pela empresa e a

caracterização das operações em centros de distribuição, principalmente as particularidades do setor de bens de consumo não duráveis.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento desta pesquisa contribui tanto do ponto de vista acadêmico como do ponto de vista de aplicação prática de metodologias clássicas.

Do ponto de vista acadêmico, uma justificativa para esta pesquisa é contribuir para o conhecimento na área de gerenciamento de centros de distribuição do setor de bens de consumo, mais especificamente da operação de recebimento. Apesar do tema relacionado às operações em centros de distribuição receber considerável atenção da comunidade acadêmica, por exemplo, trabalhos que fazem revisões gerais sobre a sua função, sobre alocação de carretas a docas, *cross docking*, entre outros; o impacto da concentração da demanda nas operações logísticas ainda é pouco estudado no meio acadêmico (SANCHES, 2009a). Além disso, existem poucos trabalhos na literatura que relacionam os dois temas (CD e pico de vendas), podemos citar (SANCHES, 2009a) e (MULATO e DE OLIVEIRA, 2010) e, existe uma lacuna ainda maior para resolução deste problema com enfoque na operação de recebimento.

Portanto, este trabalho apresenta uma revisão da literatura sobre os temas relacionados com o objeto de estudo (centros de distribuição, *inbound*, bens de consumo, etc.). Além de buscar na literatura trabalhos que se assemelhem ao problema em questão, com o intuito de obter melhor entendimento da abordagem baseada em modelos de programação matemática e nas suas soluções obtidas. Neste sentido, apesar da ampla literatura sobre modelos clássicos para problemas semelhantes, foram encontrados relativamente poucos trabalhos aplicados, e estes em geral estão relacionados com alocação de veículos, com aplicações em áreas distintas, como a alocação de navios a berços em operações portuárias e alocação de aviões a portões em aeroportos.

Como contribuição do ponto de vista prático, este trabalho apresenta um problema real, observado em um estudo de caso de uma empresa do setor de bens de consumo não duráveis que ainda foi pouco abordado na literatura. A abordagem proposta para solução utiliza estruturas de modelagem algébrica clássicas que são importantes ferramentas para a tomada de decisão, considerando a natureza combinatória do problema. Apesar do estudo ser baseado no caso de uma empresa em particular, entrevistas realizadas com diversos gestores do setor mostram que o mesmo problema ocorre em outras empresas com características

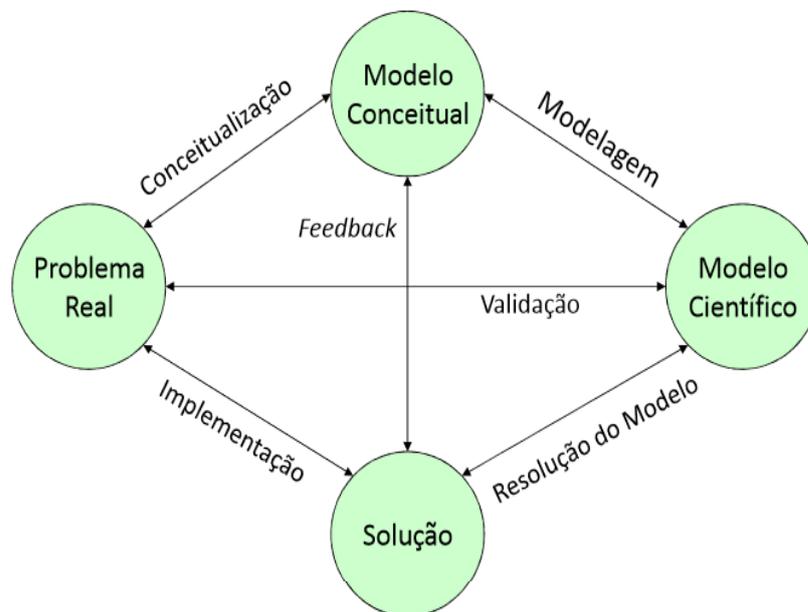
semelhantes, de forma que a abordagem proposta pode ser facilmente estendida para outros contextos.

### 1.3 METODOLOGIA DE PESQUISA

Como este trabalho tem o objetivo de propor um modelo matemático para operação de recebimento em centros de distribuição, ele pode ser classificado como uma pesquisa empírico descritiva, já que segundo Bertrand e Fransoo (2002), este tipo de pesquisa é primeiramente interessada na criação de um modelo que adequadamente descreva uma relação causal que possa existir na realidade, o que conduz para o entendimento do processo que segue.

A metodologia de pesquisa abordada neste trabalho se assemelha as etapas definidas por (MITROFF et al., 1974) apresentada na Figura 1.1, onde o modelo de pesquisa operacional pode ser organizado em quatro fases que são: modelo conceitual, modelagem, solução do modelo e implementação.

Figura 1.1- Modelo de Pesquisa.



Fonte: (MITROFF et al., 1974).

Desta forma, baseado nas etapas definidas por (MITROFF et al., 1974) para este trabalho temos:

- i. Primeiramente, na fase conceitual, é desenvolvido um modelo do problema estudado, os dados são coletados e analisados, assim como são definidas as variáveis que necessitam ser incluídas no modelo. É definido o escopo do modelo e para que ele é destinado.
- ii. Na fase seguinte, de modelagem, é proposto um modelo matemático para representar o problema, a função objetivo é definida, assim como as restrições, as variáveis e as relações causais entre elas.
- iii. Depois disso, na fase de resolução do modelo, um pacote comercial é utilizado para resolução do problema.
- iv. Em seguida, na etapa de implementação, o modelo é resolvido e testado com base em dados de exemplos reais da empresa, o que permite verificar a necessidade de ajustes no modelo ou considerações de métodos de soluções mais eficazes.
- v. Finalmente, os resultados encontrados nos testes são apresentados, analisados e comparados com os dados reais disponibilizados pela empresa, isso significa que para a validação do modelo uma pesquisa do tipo estudo de caso foi empregada.

#### 1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está organizado da seguinte forma:

- O Capítulo 1 apresenta uma introdução sobre o tema, a justificativa e os objetivos desse trabalho, assim como a metodologia de pesquisa empregada e a estrutura do trabalho.
- O Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica sobre as operações em centros de distribuição, com ênfase na operação de recebimento e abordagens de modelos de designação de veículos. O objetivo do capítulo é apresentar os principais conceitos teóricos existentes na literatura que servirão para fundamentar a análise do problema e orientar a escolha da melhor abordagem para tratá-lo. Além disso, é apresentada uma revisão do estado-da-arte de problemas semelhantes em outros contextos de aplicação.
- O Capítulo 3 apresenta a descrição detalhada do problema, o qual apresenta as informações relacionadas ao setor de bens de consumo, a empresa estudada e as

suas particularidades em relação ao planejamento de recebimento de veículos e, nesse contexto, a delimitação do trabalho e a coleta de dados;

- O Capítulo 4 apresenta primeiramente a abordagem do problema considerando a falta de estoque de produto; as considerações e pressuposições para a formulação do modelo matemático, bem como o modelo e os seus resultados.
- O Capítulo 5 apresenta a segunda abordagem do problema considerando os custos da priorização do *inbound*, apresentando as suas principais considerações e pressuposições para a formulação do modelo matemático, o modelo e os seus resultados.
- O Capítulo 6 apresenta as considerações práticas para as abordagens propostas e a comparação dos modelos propostos com a priorização adotada pela empresa.
- O Capítulo 7 apresenta os geradores dos dados aleatórios, assim como estudos computacionais para as duas abordagens propostas utilizando estes dados aleatórios.
- O Capítulo 8 apresenta as conclusões finais do estudo e as suas limitações, assim como as perspectivas para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo está dividido em duas seções. A primeira seção apresenta o objeto de estudo deste trabalho, o centro de distribuição, e traz os trabalhos existentes na literatura em termos de abordagens para programação de suas atividades, a fim de contextualizar o cenário do problema. A segunda seção aborda problemas de designação de veículos em diferentes cenários, como aeroportos (alocação de aviões a portões de embarque e/ou desembarque) e portos (alocação de navios a berços), com o intuito de apresentar algumas possíveis similaridades nas considerações e restrições empregadas nos modelos destes problemas.

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES EM CENTROS DE DISTRIBUIÇÃO

Os centros de distribuição (CD) são responsáveis pela distribuição física do produto acabado para os clientes e por assegurar que os pedidos sejam entregues na hora e quantidade certa solicitada pelo cliente. Também fornecem um ponto de contato com o cliente por meio da percepção dos níveis de serviço e informação prestados. Assim, o nível de serviço pela área logística neste processo pode ser medido através da entrega no prazo, tempo de entrega, precisão da entrega, qualidade do produto e suporte pós-venda (CHING, 2010).

A distribuição física dos produtos inclui várias operações realizadas pelos centros de distribuição, sendo as principais: o recebimento, a movimentação, a armazenagem, a separação de pedidos e a expedição.

A primeira etapa da trajetória do produto no CD é o recebimento e o mesmo é essencial para a realização de todas as outras atividades. Esta atividade envolve primeiramente o descarregamento físico e a conferência da quantidade e qualidade dos produtos entregues pelos fornecedores e/ou fábricas e depois é feito o registro dos produtos, onde o sistema de gerenciamento do armazém indica o endereço onde os produtos deverão ser alocados (RODRIGUES e PIZZOLATO, 2003). Uma vez determinado onde o produto deverá ser alocado internamente no CD, a etapa de movimentação é realizada e os produtos são transportados para a sua área pré-definida.

Na etapa de armazenagem é que existe o estoque temporário de produtos para posterior distribuição. Um ponto fundamental nesta etapa é a existência de um equilíbrio entre a demanda e o estoque a ser armazenado para não haver falta e nem excesso de produtos, uma vez que a armazenagem de produto tem custos para empresa. Segundo Gu, Goetschalckx e McGinnis (2007, p. 3) “a armazenagem tem como objetivo a organização interna das

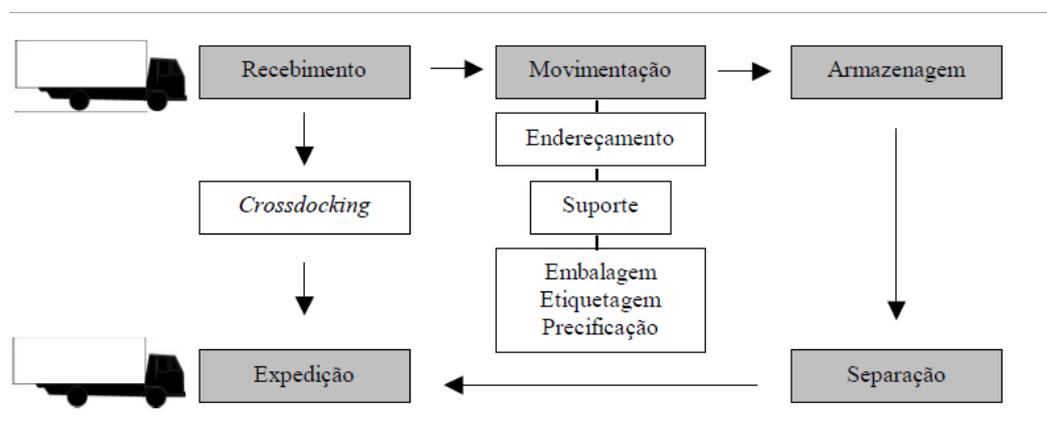
mercadorias para alcançar uma alta utilização do espaço físico e facilitar a movimentação eficiente das mercadorias”.

Com o recebimento de pedidos no sistema, a operação de separação de pedidos se inicia e é conhecida pelo termo em inglês *orderpicking*. Rouwenhorst e colaboradores (2000) relatam que esta é a atividade na qual os produtos solicitados são retirados de uma localização de armazenagem, de forma manual e/ou automática. Em seguida, estes produtos podem ser transportados para triagem ou consolidação (agrupamento dos produtos destinados a um mesmo cliente) e então são movidos para a próxima atividade.

Finalmente, na última etapa a ser realizada no CD, a expedição, consiste basicamente na verificação e no carregamento dos produtos nos veículos, podendo envolver algumas atividades como: conferência do pedido (comparação dos produtos separados com os produtos solicitados no pedido do cliente), preparação dos documentos de expedição e pesagem da carga para determinação do custo de transporte.

A Figura 2.1 mostra a relação entre cada uma destas atividades. Na análise de Rodrigues e Pizzolato (2003), o produto chega da fábrica e é recebido no CD; esse pode ser armazenado para uma expedição futura ou pode ser encaminhado diretamente para expedição no processo conhecido como *cross docking* (processo este que será explicado em detalhes na seção 2.1.4). Quando o produto é destinado à armazenagem, o produto é movimentado até o seu devido local no estoque, até que seja solicitado em um determinado pedido de cliente; e, então é separado e encaminhado para expedição onde o pedido é faturado.

Figura 2.1 - As funções básicas de um Centro de Distribuição.



Fonte: (CALAZANS, 2001) citado por (RODRIGUES e PIZZOLATO, 2003).

As atividades executadas nos centros de distribuição também podem ser vistas no detalhamento a seguir da Associação Brasileira de Movimentação e Logística, citado por Santos (2006), as atividades são:

- Recebimento dos veículos: identificação do veículo, do motorista e da origem das mercadorias;
- Descarga e inspeção da mercadoria: podendo ser manual e/ou mecanizada (equipamentos);
- Conferência quantitativa, qualitativa e documental: verificando conformidades físicas dos materiais/produtos e os documentos fiscais;
- Unitização por tipo e/ou lote: através de dispositivos como paletes, berços, prateleiras, *big-bags*, entre outros;
- Registros de inventário: lançamento dos dados referente às mercadorias em local apropriado;
- Endereçamento dos produtos: sistema de localização dos produtos no estoque através de parâmetros de endereço (estante, rua, box, nível);
- Acondicionamento no estoque: movimentação dos produtos até o local pré-determinado;
- Preservação e manutenção: controle de qualidade;
- Impressão de notas fiscais: a partir dos pedidos previamente avaliados e liberados para faturamento;
- Separação: coleta dos materiais no estoque, de acordo com *orderpicking*;
- Embalagem / Montagem de kits: embalagem de transporte;
- Etiquetagem: identificação dos volumes / embalagens de transporte;
- Conferência: quantitativa, qualitativa e documental;
- Roteirização: com base na distribuição em determinada área geográfica;
- Carregamento/embarque: manual e/ou mecanizada;
- Expedição: liberação do veículo;
- Prestação de contas;
- Medidas de desempenho: nível de serviço.

Independente das operações e etapas executadas nos centros de distribuição para garantir a distribuição física dos produtos, a operação de recebimento é sempre a etapa inicial e como este trabalho tem o enfoque nesta operação, na seção seguinte é apresentado um

detalhamento desta atividade, assim como alguns dos fatores que influenciam na sua eficiência.

### **2.1.1 Operação de recebimento (*inbound*)**

O recebimento, a primeira das etapas da trajetória do produto no CD é de grande importância, já que é nesta etapa onde o produto a ser recebido é aprovado, ou seja, são feitas as conferências das quantidades e qualidades dos produtos, de forma a garantir que o produto está em conformidade para ser estocado, pois se houver alguma divergência com o produto este é o momento para recusá-lo. Neste sentido, a seguir são apresentadas algumas definições e atividades da operação de recebimento.

Para Moura (1997), de forma mais genérica o recebimento tem como principais passos: (i) controle e programação das entradas/recebimentos; (ii) obtenção de todos dados necessários para correto controle de todos os tipos de materiais/produtos; (iii) análise da documentação, garantindo conformidade para o processo de recebimento; (iv) programação e controle a fim de sustentar o balanceamento de todas as operações do armazém; (v) sinalização e planejamento para facilitar a descarga; (vi) coordenação dos processos burocráticos e operacionais durante o descarregamento do veículo.

De acordo com Rouwenhorst et al. (2000) o recebimento é o processo de entrada dos produtos que chegam por caminhões ou transporte interno (no caso de produção dentro da própria planta); na sequência, os produtos são verificados e podem ser transformados (por exemplo: etiquetados ou até reembalados) e esperam para serem transportados para o próximo processo.

Segundo Toso (2014) o recebimento pode ser dividido em diversas atividades: descarregamento físico, conferência, preparação para armazenagem e colocação na localização. Desta forma segue as principais características de cada atividade:

- Descarregamento físico: ocorre no momento em que o veículo se encontra em determinada doca, até as mercadorias do veículo serem descarregadas na área designada no centro de distribuição;

- Conferência: quando as mercadorias recebidas são conferidas fisicamente, que pode ser uma conferência total do lote ou por amostragem;

- Preparação para armazenagem: as mercadorias recebidas podem ser etiquetadas, reembaladas e/ou manuseadas, a fim de estarem aptas a serem movidas para a armazenagem;

- Colocação na localização: uma vez confirmada a localização de armazenagem as mercadorias são movidas e armazenadas, finalizando o recebimento.

Desta maneira, considerando estas definições e diferentes processos, fica claro que a etapa de recebimento possui diversas variáveis que podem ser alteradas, moldando o processo de acordo com os desejos e as necessidades de cada empresa. No entanto, independente das variações, o importante é garantir a conformidade dos produtos recebidos e também a eficiência da atividade.

Outro ponto importante em relação ao recebimento é que esta etapa tem sua eficiência diretamente influenciada por vários fatores:

- Tipo de carga a ser recebida: uma complexidade é o tipo de carga que os CDs podem receber, as quais podem ser paletizada ou estivada (operação formiga). Segundo Morales, Morabito e Widmer (1997), a operação formiga, também conhecida como carga fracionada, é a operação na qual a carga é manuseada volume por volume ao longo da cadeia logística e pode ser vista na Figura 2.2.

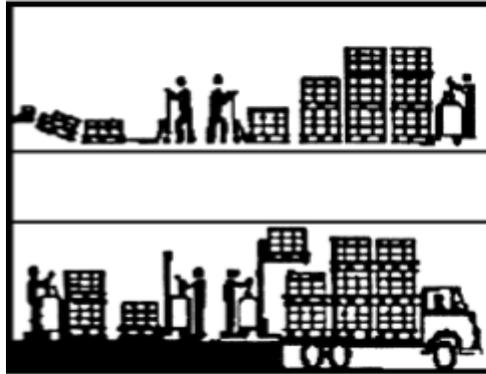
Figura 2.2 - Carga fracionada.



Fonte: Morales, Morabito e Widmer (1997).

Já quando a carga é paletizada, Figura 2.3, o produto é colocado sobre o palete (do inglês *pallet*) que consiste de uma plataforma de madeira, metal, fibra ou outro material, disposta horizontalmente, na qual a carga pode ser empilhada, estabilizada e movimentada geralmente por empilhadeiras e/ou outros sistemas de movimentação (MORALES, MORABITO e WIDMER, 1997).

Figura 2.3 - Carga paletizada.



Fonte: Morales, Morabito e Widmer (1997).

A importância de receber as cargas unitizadas (paletes ou contêineres) na atividade de recebimento é destacada por Bowersox et al. (2006), visto que as cargas unitizadas facilitam e aceleram a etapa do descarregamento, já que podem ser feitas com equipamentos manuais ou automáticos que movimentam uma quantidade maior de produto ao invés de ser volume por volume.

No entanto, as cargas unitizadas em paletes também apresentam desvantagens. Algumas das desvantagens são: o espaço perdido dentro da unidade de carga; o aumento do valor do frete em situações em que a tara do dispositivo de unitização é incorporada na pesagem total de transporte; uma possível exigência de modificações nos *layouts* das instalações para recebimento e expedição das cargas; entre outras (Novo Milênio, 2003). Desta forma, o processo de carga estivada ainda é utilizado por algumas empresas, especialmente quando a distância a ser percorrida com o produto é longa. Uma vez que na operação ‘formiga’ (volume por volume) é possível carregar uma quantidade maior de produto no veículo e como o valor do frete é maior em função da distância, o custo do frete por produto fica menor com carga estivada.

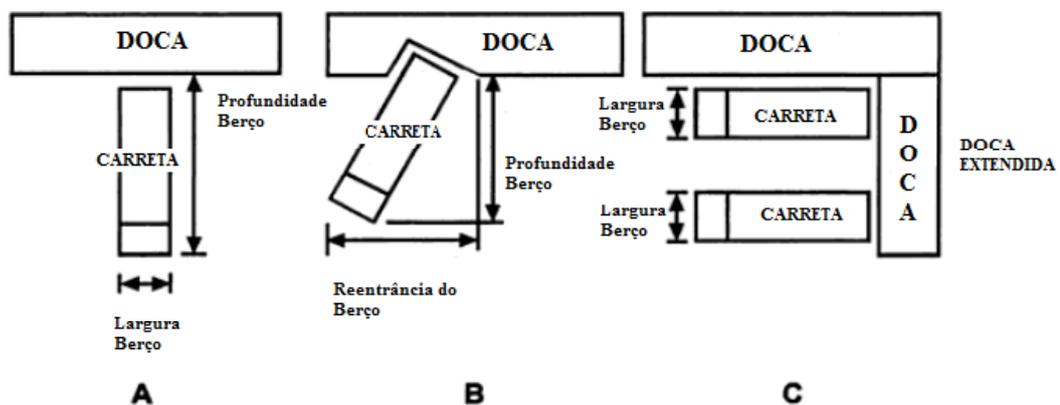
- Layout do armazém para alocação dos veículos: a transferência de produtos para dentro ou para fora dos armazéns, ou seja, o recebimento e a expedição de produtos são usualmente feitos através de docas, que são elementos fundamentais encontrados em portos e centros de distribuição e dispõem de equipamento adequado às operações que realizam.

Segundo Tompkins e Smith (1998) existem três configurações básicas de docas: 90° (A); doca em diagonal (B); e, doca estendida (C), Figura 2.4. O que diferencia cada uma delas é o espaço utilizado para as operações dentro e fora do armazém, sendo as mais comuns as

docas de 90°, uma vez que tipicamente os espaços dentro dos armazéns são mais custosos do que os espaços fora e este tipo requer menos espaço dentro.

Levando em consideração o tipo de carroceria dos veículos e o tipo de doca, a utilização de carretas com carroceria tipo *sider* (baú com lona, estrutura de aço ou alumínio com laterais em lona) possibilita a carga/descarga por suas laterais, esta característica facilita a descarga/carregamento rapidamente em docas de 90° e estendidas (SBARDELOTTO e MICHEL, 2010), diferente da carreta baú com abertura somente na traseira.

Figura 2.4 - Configurações básicas de docas.



Fonte: Adaptado de Tompkins e Smith (1998).

A quantidade de docas, assim como o posicionamento das mesmas no armazém pode intervir na operação de recebimento.

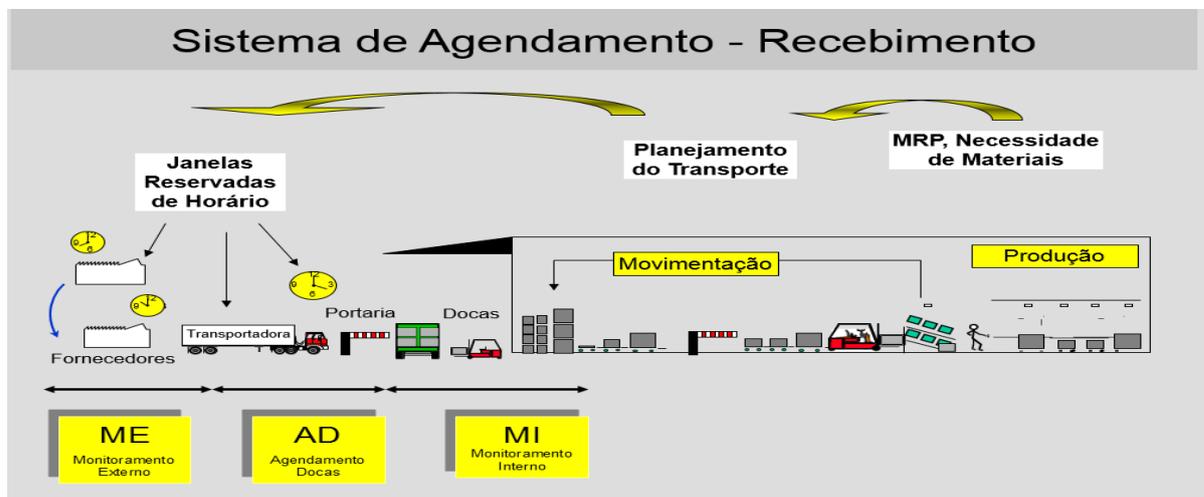
- Conhecimento do conteúdo do embarque: quando os produtos que serão recebidos são conhecidos é possível fazer um planejamento melhor da operação e torná-la mais eficiente. Este cenário está se tornando mais comum devido às aplicações de Tecnologia da Informação (TI) com conhecimento antecipado dos embarques. Neste sentido, a seção seguinte aborda o problema de alocação de carretas a docas.

### 2.1.2 Alocação de veículos a docas de recebimento

A alocação de veículos às docas é um problema crítico para os centros de distribuição, já que pode causar problemas como: docas ociosas, fila de veículos, hora extras, congestionamentos e conseqüentemente atrasos na entrega dos produtos aos clientes; mas, o fluxo de veículos em um centro de distribuição é passível de melhorias, de forma a diminuir o

tempo operacional do CD, garantir a entrega no prazo acordado com os clientes e enquadramento com as expectativas dos motoristas e transportadoras. Portanto, em busca de melhoria deste problema, empresas estão substituindo o processo de recebimento que leva em consideração apenas a ordem de chegada dos veículos conhecido como FIFO (*First in -First Out*) para o processo de agendamento de docas, que consiste do planejamento antecipado da alocação das docas, ou seja, determinar a doca, a data e a horário que o veículo deverá ser recebido. O sistema de agendamento de docas para o recebimento pode ser visto na Figura 2.5.

Figura 2.5 - Sistema de Agendamento de docas para operação de recebimento.



Fonte: (MONILOC - Logística e Processos Ltda, 2015).

Apesar do sistema de agendamento apresentar melhorias, ele ainda é muito pouco difundido e quando realizado, consiste em um processo manual utilizando papel, telefone, fax e mais recentemente o e-mail.

Neste particular Mulato e de Oliveira (2010, p. 6) registraram que:

A maioria das empresas no Brasil trabalha sem uma sistemática de agendamento com hora e doca marcadas, de modo que o primeiro a chegar é o primeiro a ser atendido (First InFirst Served). Seria um sistema viável e justo se não houvesse algumas características inerentes ao processo logístico e comercial, principalmente no Brasil, por questões históricas, culturais e fiscais. Na prática, as retiradas e entregas se concentram principalmente no início e final do mês, ocasionando congestionamentos nas docas neste período.

Outro fator importante é que as filas ao redor de docas aguardando para carregar e/ou descarregar resultam em diversos problemas para as empresas, não apenas logísticos.

Neste sentido, Mulato e de Oliveira (2010, p. 2-3) relatam que:

Filas no carregamento ou recebimento de mercadorias têm uma abrangência muito maior que apenas perda de produtividade para as transportadoras e atrasos nos horários. Afetam, sobretudo, os níveis de estoque ao longo da cadeia de suprimentos, a utilização dos recursos, os níveis de capacidade e os custos com a busca de informações. A produtividade perdida resulta em taxas e preços de fretes mais altos para os embarcadores e clientes finais, inseridos nos custos para toda a cadeia de suprimentos.

### **2.1.3 Problemas na operação de recebimento e seus impactos em custos**

Segundo Alves e Arima (2004, p. 94) temos:

Em logística, os custos estão relacionados com as atividades de transporte, prestação de serviço aos clientes, armazenagem e manutenção de estoques, gerenciamento de pedidos, empacotamento e a geração e divulgação de informações que permitem todo esse processo.

Problemas na operação de recebimento podem impactar diretamente nos custos logísticos de um centro de distribuição, uma vez que segundo Faria e Costa (2007) os custos logísticos envolvem principalmente:

- Custo de armazenagem e movimentação
- Custos de transportes
- Custos de embalagens
- Custos de manutenção de inventário
- Custos de tecnologia de Informação
- Custos tributários
- Custos decorrentes de lotes
- Custos de nível de serviço
- Custos de administração logística

Desta forma, atrasos e o mal funcionamento da operação de recebimento pode acarretar em custos adicionais para o centro de distribuição, tais como:

- Custo de sobre-estadia: consiste em encargos cobrados pelo tempo de retenção de caminhões ou carretas além do tempo especificado de carga e descarga e este poderia

ser evitado pelo recebimento programado de veículos (BOWERSOX, COOPER e CLOSS, 2006). Este custo de retenção tem impacto direto no custo de Transporte.

- Custo de horas extras: tem influência sobre o Custo de Armazenagem e movimentação, já que atrasos no recebimento de veículos sobrecarrega os trabalhos operacionais, acarretando a necessidade de horas extras.
- Custo da falta de produto: este tem impacto direto no custo de nível de serviço. Os custos das vendas perdidas pressupõem certas ações por parte do cliente, e, por causa de sua natureza intangível, é difícil de ser medido acuradamente.

Segundo Ballou (2006) o custo de uma venda perdida ocorre quando o cliente escolhe retirar seu pedido por falta de estoque. Desta maneira, este custo é o lucro que seria obtido nesta venda em particular e também pode ser incluído um custo adicional pelo efeito negativo que a falta de estoque pode ter em vendas futuras.

Para Salles (2015) qualquer erro ou déficit de produtividade na atividade de recebimento tende a comprometer os resultados da rede de supermercados como um todo, já que atrasos no envio às lojas podem levar, por exemplo, à ausência de produtos nas gôndolas e perda de venda.

Estes custos adicionais somados podem ser bastante representativos para os custos totais das empresas e isso enfatiza a relevância da atividade de recebimento nos CDs, assim como o seu planejamento e como esta atividade pode impactar no restante da cadeia de suprimentos.

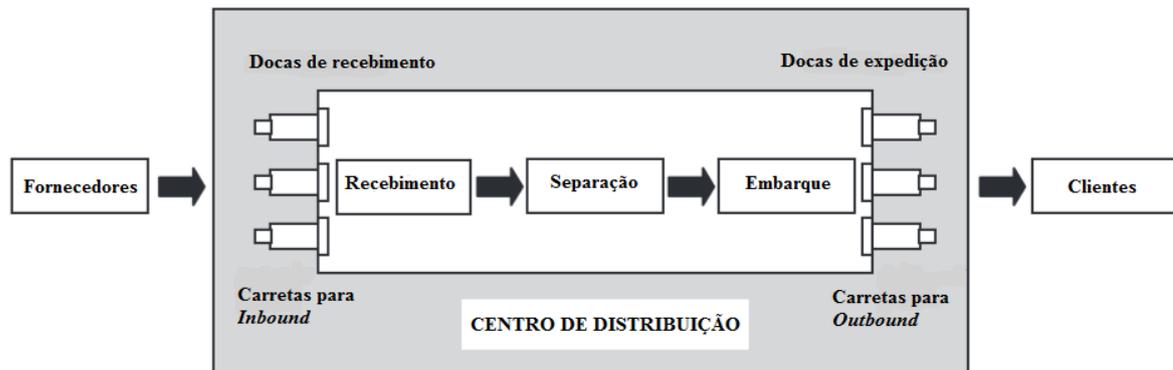
Neste sentido, um problema bastante estudado na literatura e que está tanto relacionado com a atividade de planejamento em centros de distribuição quanto com os custos, é a operação de *cross docking*, que será detalhada a seguir.

#### **2.1.4 Cross docking**

O cross-docking é uma operação planejada, que foca na agilidade do fluxo dos produtos e busca redução dos custos logísticos. Num sistema de *cross docking*, os produtos são movidos diretamente da área de recebimento para a área de expedição, sem serem alocados no armazém ou centro de distribuição (LIAO, EGBELU e CHANG, 2013), o que exige um total sincronismo entre as operações de *inbound* e de *outbound*. A Figura 2.6 mostra o fluxo de materiais em uma típica operação de *cross docking*, onde os produtos vindos dos fornecedores através de carretas são recebidos nas docas de recebimento, seguem para a etapa

de separação e depois são direcionadas direto para a docas de expedição onde o embarque é feito para os clientes.

Figura 2.6 - Fluxo típico em um sistema de cross docking.



Fonte: Adaptado de Liao, Egbeu e Chang (2013).

Para Belle, Valckenaers e Cattrysse (2012), a operação de *cross docking* é uma estratégia logística na qual cargas são descarregadas na operação de *inbound* e são quase que diretamente carregadas em outros veículos na operação de *outbound*, ou seja, com pouca ou nenhuma armazenagem entre estes processos.

O *cross docking* tem várias vantagens: consolidação de embarques, diminuição do tempo de entrega, redução de custos, etc., no entanto, a organização da operação de *cross docking* é complexa, desafiadora e envolve vários problemas de decisões (BELLE et al., 2013).

De acordo com Belle, Valckenaers e Cattrysse (2012) *cross docking* é um processo que elimina as duas operações de manuseio de maiores custos: estocagem e separação de pedidos. No entanto, a adoção desta solução necessita de layout específico no centro de distribuição, como por exemplo, a proximidade entre as docas de entrada e saída. Apesar de algumas desvantagens o *cross docking* é ainda uma interessante estratégia logística e que proporciona às empresas vantagens competitivas.

Neste sentido, considerando os trabalhos existentes na literatura até o momento, eles podem ser divididos seguindo a lógica de tomadas de decisões com efeitos de longo prazo (estratégicas), médio prazo (táticas) e finalmente, decisões de curto prazo operacional. Para decisões estratégicas a maioria dos trabalhos foca na localização do *cross docking* e desenho do *layout*. Nos problemas táticos, o enfoque é no fluxo de produtos de forma a minimizar os custos e atender a demanda. Finalmente, nas decisões operacionais, são manuseados

problemas de roteirização de veículos, designação de docas, sequenciamento de veículos e estocagem temporária; e outros problemas relacionados a *cross docking* (BELLE, VALCKENAERS e CATTRYSSE, 2012).

Como neste trabalho o enfoque é dado no planejamento em nível operacional, a seguir são apresentados os principais trabalhos relacionados com *cross docking* com tomadas de decisões de curto prazo, especificamente relacionados ao problema de sequenciamento de veículos, onde as docas são consideradas como recursos (usadas pelos veículos) e o sequenciamento é feito considerando o tempo.

Além disso, os trabalhos de sequenciamento de veículos ainda podem ser subdivididos de acordo com o tipo de operação realizada em apenas uma doca para recebimento e uma doca para expedição (*single strip and stack door*), sequenciamento dos veículos de *inbound*, sequenciamento dos veículos de *inbound* e *outbound*, sequenciamento com armazenagem temporária e outros problemas mais complexos (BELLE, VALCKENAERS e CATTRYSSE, 2012).

Shakeri, Low e Li (2008) desenvolveram um modelo matemático genérico para dois problemas, o de sequenciamento e o de designação de veículos para docas empregando a programação inteira mista (MIP). O objetivo é minimizar o *makespan*, isto é, o tempo decorrido para terminar o processamento de todas as tarefas, e a sua modelagem foi feita em dois estágios. No estágio de descarregamento os produtos são descarregados e levados para área de estoque temporário (com capacidade infinita). Neste ponto, é assumido que diferentes produtos podem ser descarregados dos veículos em paralelo. O carregamento dos produtos só é feito quando o veículo para carregamento chega na doca (estágio de carregamento). Assim como o problema tratado nesta pesquisa, este trabalho assume que todos os veículos estão disponíveis no começo do horizonte de planejamento e não é permitido veículos com carga incompleta. No entanto, embora neste trabalho de *cross docking* seja mencionado os produtos, o modelo não inclui os produtos e nem as suas demandas para o estágio de carregamento e armazenagem temporária.

Miao, Lim e Ma (2009) formularam um problema de designação de veículos a docas com limitação de tempo de operação de *cross docking*, onde o número de veículos sempre excede o número de docas disponíveis e não são permitidos veículos parcialmente carregados. O objetivo é encontrar uma designação ótima dos veículos, de forma a minimizar o custo operacional de carregamento e ao mesmo tempo o número total de veículos não descarregados. Este trabalho se assemelha com o problema em questão já que considera a capacidade limitada das docas, apenas veículos com carga completa e o número de veículos

aguardando para ser recebido é sempre maior que o número de docas disponíveis. Outra similaridade é a utilização do solver CPLEX para resolução do problema, embora no problema de *cross docking* duas meta-heurísticas também tenham sido empregadas. Além disso, o custo é penalizado pelo não descarregamento e neste trabalho isso será tratado com custo de sobre-estadia. Em contrapartida, o trabalho não considera o estoque dos produtos e a função objetivo não envolve a falta de produto.

Boysen, Fliedner e Scholl (2010) consideraram um problema de sequenciamento de caminhões com duas características especiais, na primeira não era permitido estoque temporário e na segunda a pré-distribuição de produtos do veículo de *inbound* para o veículo de *outbound* é considerada em um cenário de múltiplas docas. Três objetivos são apresentados: tempo total de fluxo, tempo total de processamento e tempo total de atraso. Para cada objetivo são apresentados dois métodos de solução: programação dinâmica e *Simulated Annealing*.

O trabalho de Alpan, Larbi e Penz (2011) é o único até o ano de 2011 que considera a resolução de problemas com múltiplas docas e permite a estocagem temporária. Tudo isso, para determinar a sequência ótima para os veículos de *outbound*, assim como minimizar os custos operacionais, considerando uma sequência de caminhos para *inbound* conhecida. Este trabalho apresenta dois diferenciais em relação aos trabalhos anteriores, o primeiro é que nos custos operacionais considera o custo de estoque temporário e o custo de carregamento de carga incompleta e o segundo, está na estrutura do problema que permite o carregamento de carga incompleta. Este trabalho se assemelha ao problema de pesquisa estudado somente pelo fato de considerar múltiplas docas.

Diferentes dos estudos previamente mencionados, o estudo de Liao, Egbelu e Chang, (2013) considera a estocagem temporária e diferente do estudo de Alpan, Larbi e Penz, (2011) o trabalho é mais focado no sequenciamento de veículos de *inbound* do que *outbound* e propõe o estudo simultâneo da designação de docas e sequenciamento de veículos com o objetivo de minimizar o atraso total de entrega do produto para a operação de *outbound* com horário fixo de saída. Quando os produtos não são entregues a tempo para o carregamento e expedição, uma penalidade é aplicada. Este problema é uma nova formulação e é resolvido com seis diferentes meta-heurísticas. Este trabalho se assemelha ao problema de pesquisa por dar enfoque na operação de *inbound* e o problema considera unidades de produtos necessárias para operação de *outbound*, o que pode se comparar com a necessidade de recebimento de produto no problema de priorização de *inbound* estudado.

Considerando a classificação e trabalhos acima apresentados da literatura para tomada de decisão em nível operacional, os que mais se assemelham ao problema que é tratado nesta pesquisa estão relacionados com o sequenciamento de veículos, levam em consideração múltiplas docas, veículos com carga completa, capacidade limitada do tempo operacional e armazenagem temporária.

No entanto, embora a maioria dos trabalhos apresentem algumas premissas e considerações similares aos empregados nesta pesquisa, nenhum dos trabalhos apresentados tem como objetivo a minimização de falta de estoque ou levam em consideração a demanda e estoque dos produtos. Além disso, uma parcela considerável dos problemas de *cross docking* considera como função objetivo a redução do *makespan* e das distâncias entre as docas de *inbound* e *outbound* e neste trabalho o tempo de descarregamento é fixo e não é considerado a distância.

Portanto, procurou-se na literatura problemas de outras áreas de aplicações que fossem similares com o problema de pesquisa e os mesmos são apresentados na próxima seção.

## 2.2 MODELOS DE ALOCAÇÃO DE VEÍCULOS

### 2.2.1 Modelos de alocação de aviões a portões de embarque

Com o crescimento contínuo da demanda por transportes aéreos, as empresas do setor vêm buscando soluções de longo, médio e curto prazo para aliviar as restrições de capacidade dos aeroportos. Segundo Todesco e Müller, (2007) soluções de longo e médio prazo, tais como construção de novas pistas e terminais de passageiros, geralmente requerem altos investimentos e, algumas vezes, são inviáveis para alguns aeroportos por falta de espaço físico.

Desta forma, uma solução encontrada em curto prazo e que vem sendo bastante estudada é a otimização da designação dos voos aos portões de aeroportos, sendo que a maioria dos trabalhos que envolvem esta questão de designação buscam melhorar a eficiência da operação. Neste sentido, trabalhos nesta área vem de encontro com esta pesquisa, a qual tem como objetivo melhorar a eficiência da operação de recebimento através da melhora na designação de veículos as docas.

Outra similaridade é que para ambas aplicações (aeroportos e CD) a designação inadequada pode gerar vários prejuízos. Segundo Cheng, Ho e Kwan (2012) uma designação imprópria de portões pode resultar em atraso de voos, uso ineficiente dos recursos e insatisfação dos clientes. Para centros de distribuição, as ineficiências no recebimento e

expedição de cargas podem gerar filas e possuem uma abrangência muito maior que apenas perda de produtividade para as transportadoras e atrasos nos horários. Afetam, sobretudo, os níveis de estoque ao longo da cadeia de suprimentos, a utilização dos recursos, etc. e chegam a interferir diretamente nos custos de toda a cadeia de suprimentos (MULATO e DE OLIVEIRA, 2010).

Além disso, para ambos os casos (aeroporto e CD) o problema de designação é agravado pelo fato de em alguns casos este processo ainda ser feito de forma manual apesar de envolver um grande número de informações e variáveis a serem consideradas. Para os operadores dos aeroportos o problema da designação surge, principalmente, quando a operação é realizada manualmente e envolve um grande número de aeronaves no pátio (YAN e HUO, 2001). No entanto, já existem pacotes comerciais que buscam resolver este problema. De acordo com Cheng, Ho, e Kwan (2012), embora muitos pacotes de soluções comerciais estejam disponíveis para dar suporte para as operações nos aeroportos (como por exemplo: Avient, Quintip e Sabre), estes pacotes possuem tipicamente um módulo para os funcionários dos aeroportos onde as aeronaves podem ser designadas para diferentes portões. No entanto, os desenvolvedores destes softwares não disponibilizam detalhes sobre estes sistemas e seus algoritmos na literatura.

Considerando estas similaridades entre os problemas, buscou-se um melhor entendimento dos trabalhos de designação de aviões a portões de aeroportos e a seguir serão apresentadas algumas considerações encontradas nestes problemas, assim como a classificação dos seus modelos, os seus principais objetivos e finalmente alguns trabalhos são expostos.

Na literatura os trabalhos na área empregam um grande número de considerações e algumas delas podem ser citadas, segundo SOLVING (2015), como portões em aeroportos possuem um tamanho fixo, ou seja, podem operar apenas com aeronaves de tamanho determinado; portões que operam somente certos voos de determinadas origem e/ou destinos, principalmente por questões regulatórias de segurança; dois portões adjacentes não podem ser designados para operar grandes aeronaves ao mesmo tempo; dois portões vizinhos não podem ser designados para voos com o mesmo tempo de partida ou chegada; entre outros.

Os modelos dos problemas de designação de portões podem ser classificados em dois tipos: estáticos ou estocástico. Geralmente, a designação estática é feita com uma semana ou um mês antes do evento e somente fatores determinísticos são considerados (tais como: layout do aeroporto, número de voos e número de passageiros) e os fatores estocásticos não são considerados, por exemplo, atrasos e cancelamento de voos. Desta forma, os modelos

estocásticos são mais aderentes com a realidade destes problemas, já que voos estão sujeitos a atrasos, alterações climáticas e entre outros (CHENG, HO e KWAN, 2012).

Ainda para Cheng, Ho e Kwan (2012) os objetivos comuns para muitos destes problemas de designação de aeroportos é a minimização da distância percorrida pelos passageiros, do tempo total de espera dos passageiros, do número de aeronaves não designadas, dos atrasos de aviões, dos conflitos de portões, entre outros, e em alguns casos estes objetivos são simultâneos, resultando em modelos multicritérios.

Yan e Huo (2001) desenvolveram um modelo de designação de portões com dois objetivos: minimizar o tempo de espera dos passageiros e a distância percorrida por eles. Apesar dos objetivos serem totalmente diferente do proposto neste trabalho, algumas considerações empregadas no modelo são semelhantes, como o fato de um voo poder ser designado somente a um único portão e que dois aviões não podem ser designados ao mesmo portão ao mesmo tempo.

Genç et al. (2012) criaram um modelo para maximizar a duração do portão, ou seja, designar o maior número de voos para o portão no dia. Uma similaridade em relação a este trabalho é o fato de que para comprovar a eficiência das metodologias propostas, primeiro é gerado um cenário fictício e depois são testados dados reais (neste caso do Aeroporto de Istanbul Ataturk).

Cheng, Ho e Kwan (2012), com o objetivo de minimizar a distância total percorrida pelos passageiros, utilizam dados reais coletados do Aeroporto Internacional de Incheon e isso é um diferencial, pois a maioria dos trabalhos na literatura utilizam dados não realísticos. Neste sentido, este trabalho se assemelha, pois, dados reais coletados de um centro de distribuição de uma empresa de bens de consumo não duráveis são empregados no estudo.

### **2.2.2 Modelos de alocação de navios em berço de portos**

Outro problema de designação de veículos é o Problema de Alocação de navios em Berços (PAB). O PAB se refere basicamente ao problema de planejar a sequência de atendimento de um conjunto de navios, dentro de um horizonte de tempo, em berços de portos. O objetivo mais usual do PAB é o de minimizar o tempo de atendimento dos navios, embora possam existir outros objetivos, por exemplo, minimizar o tempo em fila para atracar no porto, minimizar o tempo de permanência no porto, minimizar o número de navios não atendidos, maximizar o número de navios atendidos, entre outros (BIERWIRTH e MEISEL, 2010).

Segundo Rodrigues e Rosa (2013) os modelos existentes para PAB na literatura podem ser classificados tanto por restrições temporais quanto por restrições espaciais. Desta forma, considerando as restrições espaciais, há atributos relativos ao layout do cais, usualmente adotam-se as restrições de calado (designação náutica dada à profundidade entre a quilha do navio e a linha de flutuação), comprimento e boca dos navios. Também restringem as posições viáveis de atracação de navios de acordo com um pré-particionamento do cais em berços. Uma das restrições espaciais considerada é o *layout*, que de acordo com Rodrigues e Rosa (2013) pode ser:

- 1) *Layout* discreto: o cais é dividido em um número de seções, chamadas berços e apenas um navio pode ser operado em cada berço num certo intervalo de tempo.
- 2) *Layout* Contínuo: não há divisão do cais, ou seja, os navios podem atracar em posições arbitrárias dentro dos limites do cais. Para o *layout* contínuo o planejamento de berços é mais difícil do que para um layout discreto, pois podem existir espaços vazios e não permitir que navios de certas dimensões atraiquem deixando espaço sem utilização no cais. Porém apresenta a vantagem de uma maior flexibilização do espaço de atracação podendo gerar ganhos por aproveitar todos os espaços.
- 3) *Layout* Híbrido: como o caso discreto, o cais é particionado em berços, no entanto, grandes navios podem ocupar mais de um berço, esta situação pode ser vista no berço 2 e berço 3 da Figura 2.7, enquanto os pequenos navios podem compartilhar um berço, esta situação pode ser vista no berço 4 da mesma figura.

Figura 2.7 - Representação Layout Discreto, Contínuo e Híbrido.



Fonte: (RODRIGUES e ROSA, 2013).

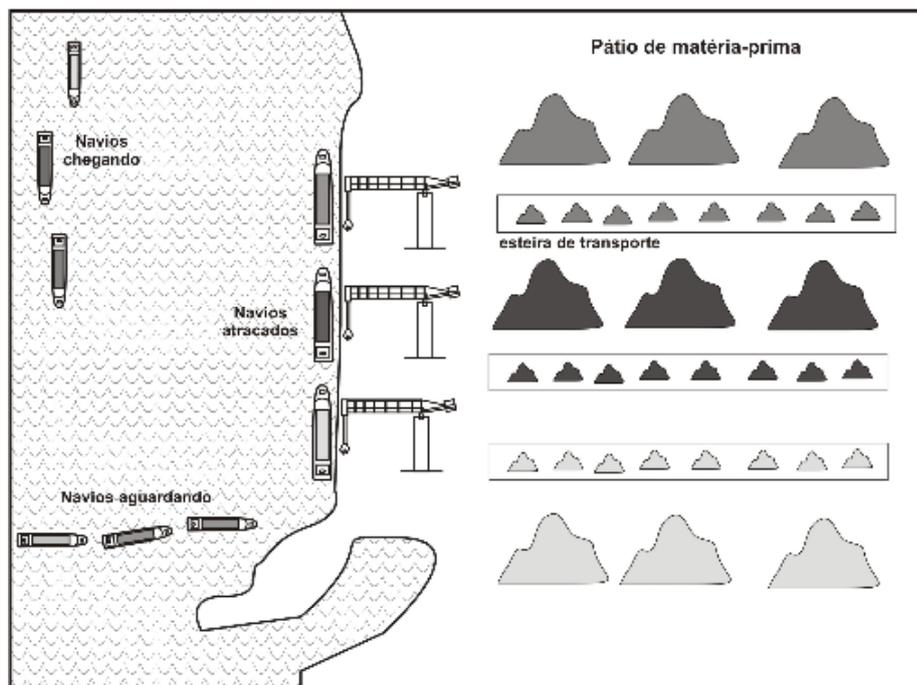
Para os atributos temporais podem ser citados: data de chegada de navio, data de atracação, tempo de espera na fila de navios dentre outros. As restrições temporais ocorrem principalmente em relação aos horários de atracação e de desatracação dos navios.

De acordo com Imai et al. (2005) existem dois tipos de PABs: os estáticos e os dinâmicos. A versão estática trata somente os navios que já tenham chegado no porto antes do sequenciamento começar, quanto o dinâmico leva em consideração tanto os navios que já chegaram como também aqueles que ainda não chegaram no tempo do planejamento mas vão chegar algum momento mais tarde durante o horizonte de planejamento.

Outro ponto importante em relação aos problemas de PAB é que segundo Barros (2010), muitos trabalhos consideram portos que movimentam contêineres e poucos são os trabalhos que consideram portos que operam graneis sólidos.

Dentre os trabalhos que considera porto graneleiros, um deles é particularmente interessante para este trabalho, pois o modelo leva em consideração o estoque. O problema consiste na alocação de berços em portos graneleiros com restrição de estoque e condições favoráveis de maré. Para melhor entendimento do problema, um cenário típico de um porto graneleiro é ilustrado na Figura 2.8.

Figura 2.8 - Porto Graneleiro.



Fonte: Barros (2010).

No problema em questão, Barros (2010) destaca portos que sofrem a influência da variação das marés, ou seja, portos onde as condições de navegação dependem de condições favoráveis de maré, uma vez que a profundidade na maré baixa restringe a movimentação de navios, o que implica na manutenção de estoques. Alguns terminais no complexo portuário de São Luís (MA), por exemplo, estão associados a importantes empresas multinacionais que mantêm um forte controle sobre os níveis de estoque de seus produtos. Uma vez que o nível de estoque, por vezes, depende de um processo contínuo de consumo ou produção de grãos, a tomada de decisão de carregar ou descarregar navios deve levar em conta as cargas armazenadas nos pátios do porto. Desta forma, um critério fundamental para tomadas de decisão é dar prioridade aos navios com cargas de produtos com níveis mais críticos de estoque. Um segundo critério é decidir qual sequência de embarcações reduz a cobrança de sobre-estadia (*demurrage*) total dentro de um dado horizonte de planejamento. O trabalho apresenta dois modelos matemáticos, sendo que o primeiro considera todos os berços homogêneos, ou seja, com capacidades de carregamento ou descarregamento iguais. No segundo modelo, os berços são considerados diferentes entre si, sendo assim, cada berço possui capacidade de serviço, carregamento ou descarregamento diferente. A heterogeneidade dos berços considerada refere-se apenas a velocidade de atendimento nas operações com os navios. Não há restrições entre navios e berços, ou seja, qualquer navio pode atracar em qualquer berço e todas as cargas podem ser movimentadas por todos os berços.

### 3 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Este capítulo apresenta a descrição do problema de alocação de veículos em docas para a operação de descarregamento em um centro de distribuição de uma empresa do setor de bens de consumo não duráveis. Inicialmente, na seção 3.1, é apresentada uma contextualização do setor de bens de consumo, assim como a sua classificação e uma breve descrição de sua rede de distribuição logística. Também, é mostrada a característica das vendas do setor, as quais interferem diretamente no planejamento de descarregamento. Como trata-se de um estudo de caso, na seção 3.2, é apresentada uma descrição da empresa estudada, as áreas que atua, suas principais características e as principais propriedades de sua rede de distribuição logística. Além disso, é apresentada uma descrição detalhada do planejamento nos CDs da empresa e como ele é influenciado pelos efeitos do pico de vendas no final do mês. Na seção seguinte, 3.3, são discutidas as delimitações do problema estudado e, finalmente a seção 3.4, exhibe como foram feitas as coletas de dados reais para os estudos computacionais, suas dificuldades e particularidades.

#### 3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO SETOR

Os chamados bens de consumo podem ser definidos como bens que tem o objetivo de satisfazer as necessidades humanas. Assim, a quantidade de bens de consumo que são comercializados em cada país reflete o nível econômico da população e também permite avaliar os hábitos e as características da sociedade em questão. Os bens de consumo são os bens produzidos pelo homem e destinados ao consumo das pessoas. Estes são diferentes dos bens intermediários, que são utilizados no processo de produção para serem transformados em bens finais ou dos bens de capitais que são as máquinas utilizadas pelas indústrias (SIGNIFICADOS, 2014).

Os bens de consumo podem ser divididos em: duráveis, semiduráveis e não duráveis; sendo que os bens de consumo não duráveis são aqueles feitos para serem consumidos imediatamente, como alimentos (sorvetes, doces, entre outros); já os bens de consumo duráveis são aqueles que podem ser utilizados várias vezes durante longos períodos, como um automóvel, e os bens semiduráveis podem ser considerados os calçados, roupas, que tem uma durabilidade intermediária.

Segundo Pagnani (2015) bens de consumo são aqueles bens destinados ao uso de consumidores finais caracterizando-se ainda por não estarem sujeitos a mais nenhum processo

de transformação (produtos acabados). Os bens de consumo são classificados como duráveis e não duráveis, sendo que os duráveis são aqueles que têm um ciclo de vida e uso, junto ao consumidor, durante um período razoável de tempo, não sendo consumidos ou sofrendo um desgaste imediato. Exemplo: automóveis, televisor, geladeira, etc.; e os não duráveis são os chamados de consumo imediato (ou de curta duração). Por exemplo: alimentos, roupas, calçados, etc.

No panorama mundial, a pesquisa apresentada em Deloitte Touche Tohmatsu (2014) mostra que o crescimento das vendas combinado, ajustado à moeda das 250 maiores empresas de bens de consumo do mundo, caiu para 5,1% em 2012, contra 7,0% em 2011 e 8,4% em 2010, o que mostra que a taxa de crescimento vem reduzindo com o passar dos dois anos, ou seja, o setor de bens de consumo cresceu moderadamente e em 2012 chegou em 5,1% , mesmo com a economia mundial mostrando sinais de enfraquecimento.

As 250 maiores empresas de bens de consumo do mundo geraram vendas superiores a US\$ 3,1 trilhões em 2012, resultando numa média de US\$ 12,5 bilhões de receita por empresa. O nível mínimo de vendas para participar das 250 Maiores Empresas de Bens de Consumo foi de US\$ 3 bilhões em 2012 (DELOITTE TOUCHE TOHMATSU, 2014). A Tabela 3.1 apresenta as 10 primeiras empresas das 250 maiores empresas de produtos de consumo do mundo e juntas representam quase que 29% da concentração econômica do setor. O intuito da tabela é mostrar a importância do setor, o qual é composto por empresas multinacionais de grande porte e, também exibir as vendas líquidas referentes ao ano de 2012 de cada uma das empresas. Além disso, na tabela é possível notar que das 10 empresas: 5 delas são do subsetor de Produtos eletrônicos, 3 delas são de Alimentos, bebidas e tabaco e 2 são de Produtos de higiene pessoal e para casa.

Tabela 3.1 - As 10 primeiras das 250 maiores empresas mundiais de bens de consumo.

| <b>Classificação de vendas (2012)</b> | <b>Nome da empresa</b> | <b>País de origem</b>       | <b>Setor de produto principal</b>       | <b>Vendas Líquidas, 2012 (US\$/milhões)</b> |
|---------------------------------------|------------------------|-----------------------------|---|---|
| 1                                     | Samsung                | Coreia do Sul               | Produtos eletrônicos                    | 178.982                                     |
| 2                                     | Apple                  | Estados Unidos              | Produtos eletrônicos                    | 156.508                                     |
| 3                                     | Nestlé                 | Suíça                       | Alimentos, bebidas e tabaco             | 98.372                                      |
| 4                                     | Panasonic              | Japão                       | Produtos eletrônicos                    | 88.367                                      |
| 5                                     | Procter & Gamble       | Estados Unidos              | Produtos de higiene pessoal e para casa | 84.167                                      |
| 6                                     | Sony Corporation       | Japão                       | Produtos eletrônicos                    | 68.864                                      |
| 7                                     | Unilever               | Países baixos e Reino Unido | Produtos de higiene pessoal e de casa   | 66.007                                      |
| 8                                     | PepsiCo                | Estados Unidos              | Alimentos, bebidas e tabaco             | 65.492                                      |
| 9                                     | Coca-Cola              | Estados Unidos              | Alimentos, bebidas e tabaco             | 48.017                                      |
| 10                                    | LG Electronics         | Coreia do Sul               | Produtos eletrônicos                    | 45.354                                      |
| 10 maiores                            |                        |                             |   | 900.130                                     |
| 250 maiores                           |                        |                             |   | 3.129.025                                   |
| Concentração econômica das 10 maiores |                        |                             |   | 28.76%                                      |

Fonte: Adaptado de DELOITTE TOUCHE TOHMATSU (2014).

Ainda segundo relatório da Deloitte Touche Tohmatsu (2014), as empresas de bens de consumo podem ser organizadas em oito principais subsetores de produtos, como pode ser visto na Tabela 3.2: produtos eletrônicos; moda; alimentos, bebidas e tabaco; móveis e eletrodomésticos; utensílios para casa e ferramentas; produtos de lazer; produtos de higiene pessoal e de casa; e, pneus. A Tabela 3.2 também mostra o tamanho médio em dólares das empresas de cada subsetor, assim como a parcela do subsetor em % entre as 250 empresas e a parcela de vendas do subsetor. Além disso, é possível notar na tabela, que o subsetor de alimentos, bebidas e tabaco apresenta o maior número de empresas e também a maior parcela de vendas. Ainda vale ressaltar que é comum empresas do setor atuarem em mais de um subsetor, sendo os mais comuns alimentos, bebidas e tabaco, juntamente com produtos de higiene pessoal e de casa.

Tabela 3.2 - Perfil por setor de produtos, 2012

| Setor                                   | Número de empresas | Tamanho médio (US\$/milhões) | Parcela entre as 250 maiores (%) | Parcela de vendas entre as 250 maiores (%) |
|---|--------------------|------------------------------|----------------------------------|--|
| 250 maiores                             | 250                | 12.516                       | 100                              | 100  |
| Roupas e acessórios                     | 20                 | 6.905                        | 8                                | 4,4  |
| Produtos eletrônicos                    | 20                 | 35.589                       | 8                                | 22,7                                       |
| Alimentos, bebidas e tabaco             | 141                | 10.711                       | 56,4                             | 48,3                                       |
| Móveis e eletrodomésticos               | 13                 | 9.887                        | 5,2                              | 4,1  |
| Utensílios para casa e ferramentas      | 10                 | 6.706                        | 4                                | 2,1  |
| Produtos de lazer                       | 8                  | 5.154                        | 3,2                              | 1,3  |
| Produtos de higiene pessoal e para casa | 27                 | 14.758                       | 10,8                             | 12,7                                       |
| Pneus                                   | 11                 | 12.145                       | 4,4                              | 4,3  |

Fonte: Adaptado de DELOITTE TOUCHE TOHMATSU (2014).

No cenário global, um fator que tem influenciado bastante e vai influenciar cada vez mais o setor é a era tecnológica, que vem mudando as tendências globais do mercado consumidor e origina um novo consumidor conectado, que se socializa com pessoas de todo o mundo em questão de segundos e que cada vez mais utiliza das compras pela internet.

As empresas de bens de consumo precisam ser inovadoras, ágeis para reavaliar suas estratégias de negócios e estar prontas para as próximas mudanças tecnológicas (DELOITTE TOUCHE TOHMATSU, 2014).

No cenário brasileiro, a situação apresenta-se ainda melhor em função principalmente do crescente mercado consumidor. Segundo a Ernst & Young Terco (2011), o Brasil apresenta um cenário promissor e projeta uma ampliação significativa do consumo, como consequência de avanços importantes nos seguintes indicadores: (i) aumento da renda per capita de 3,1% ao ano, superior à taxa dos últimos 17 anos (1,3% ao ano); (ii) crescimento de 3,5% ao ano da massa salarial, hoje o país ocupa a décima primeira posição entre as economias que mais pagam salários e neste ritmo deve chegar a oitava em 2030; (iii) crescimento do consumo de 3,8% ao ano e prevê que o Brasil se tornará o quinto maior

mercado consumidor do mundo; e (iv) o crescimento e a distribuição de renda possibilitam uma gradativa ascensão social das famílias com nível de renda mais baixo.

No entanto, segundo Moreira (2014) a economia brasileira deve crescer menos em 2015 e, essa redução aponta para um cenário de baixa atividade econômica e reflete as incertezas geradas diante do cenário econômico do país. Além disso, a Associação Brasileira de Supermercados (2014) relata que de acordo com uma pesquisa divulgada pela Kantar Worldpanel, todas as classes econômicas continuam impulsionando o consumo, mas a frequência de compra das classes mais baixas da população, que sustentou em grande parte o crescimento do consumo no Brasil até agora, caiu em 2014.

Em resumo, as empresas do setor de bens de consumo terão que se adaptar às constantes mudanças tecnológicas e econômicas que afetam diretamente o mercado consumidor para continuar crescendo e se manter no mercado. Para isso, um dos desafios e também chave de sucesso do setor é a gestão eficiente de sua rede de distribuição logística.

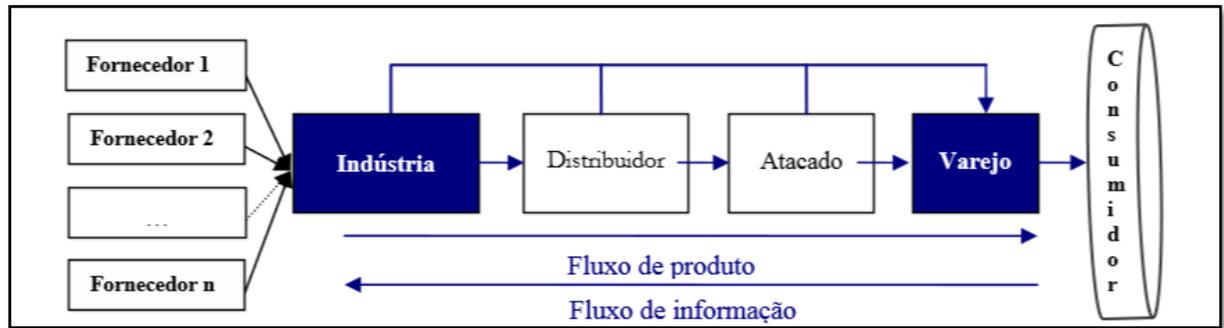
### **3.1.1 Rede de distribuição logística do setor**

Uma característica comum do setor, como pode ser visto na Tabela 3.1 apresentada anteriormente, é que as principais empresas são empresas multinacionais de grande porte. Desta maneira, a rede de distribuição logística é composta por sistemas logísticos complexos formados por elementos como fornecedores, fábricas, centro de distribuição e clientes que interagem entre si por meio de fluxo de produtos e informações. Além disso, como empresas podem atuar em mais de um subsetor, na maioria das vezes possuem uma gama de produtos bastante grande gerando uma complexidade logística ainda maior.

A rede de distribuição logística do setor tem como base a cadeia de varejo, uma vez que as empresas são muitas vezes responsáveis pela chegada do produto até o canal de varejo. Segundo Vieira (2006, p. 28) “A cadeia de varejo é definida desde a transformação dos produtos pelas indústrias, passando por todo o canal de distribuição (indústria-varejo) até os produtos (bens não-duráveis) comercializados pelos supermercados”. A Figura 3.1 esquematiza a cadeia de suprimento típica do varejo supermercadista.

Neste trabalho, o foco é no distribuidor desta cadeia, mais especificamente no centro de distribuição.

Figura 3.1 - Cadeia de suprimento típica do varejo supermercadista

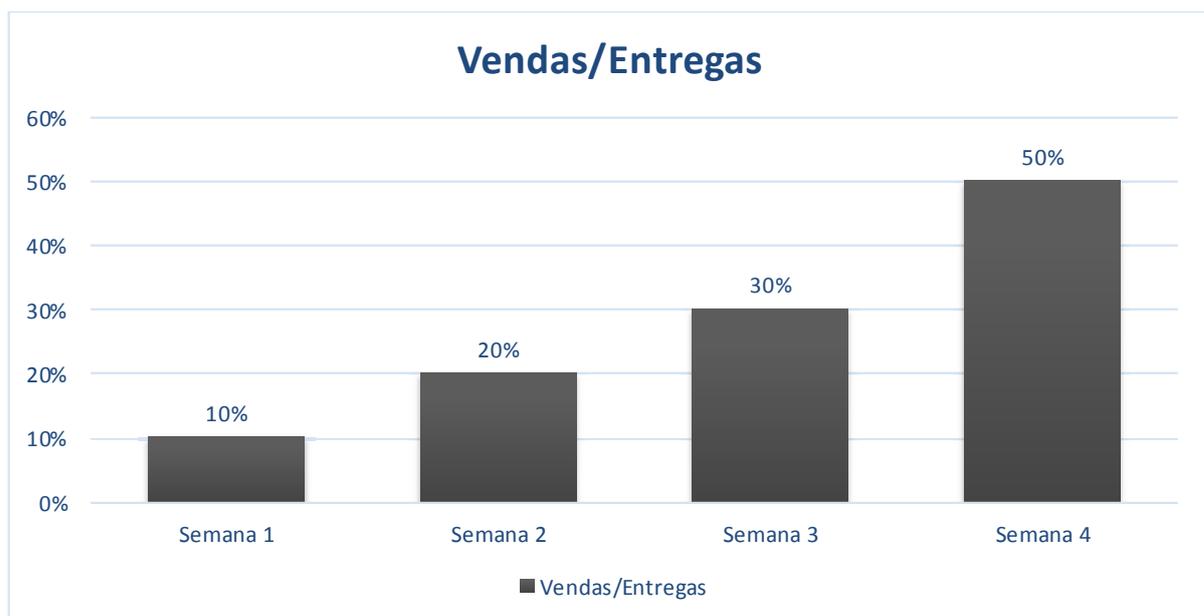


Fonte: Vieira (2006).

### 3.1.2 Característica das vendas

Outra característica importante do setor é a concentração de vendas no final do período de comercialização. Esta concentração de vendas ocorre em todas as cadeias produtivas e em todas as categorias de empresas, principalmente no Brasil. A Figura 3.2 apresenta o gráfico clássico de distribuição das vendas/entrega nas semanas do mês que, em média, representam 10%, 20%, 30% e 50% sucessivamente nas quatro semanas. Em alguns segmentos a concentração de venda pode chegar em até 80% na última semana do mês, e em casos críticos, com até 50% nos últimos 3 dias do mês (Vantinews - Logistics & Supply Chain Consulting, 2014).

Figura 3.2 - Gráfico clássico de distribuição das vendas/entrega nas semanas do mês.



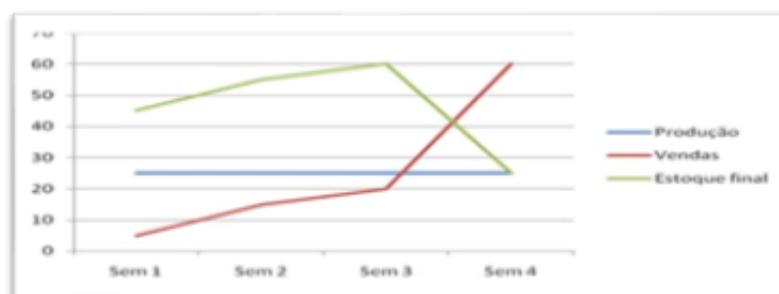
Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2015; a partir de (Vantinews - Logistics & Supply Chain Consulting, 2014).

O pico de vendas no final de cada mês tem origens culturais e tributárias, isto porque na época das grandes inflações, a massa salarial vinha para o mercado na primeira semana do mês para não perder o poder de compra. Embora, a questão macroeconômica dos altos índices de inflação não exista mais, esse comportamento enraizou-se na cultura brasileira e se reflete em toda a cadeia produtiva (MULATO e DE OLIVEIRA , 2010).

Outro fator que colabora para essa concentração é a política comercial das empresas que, em geral, concedem descontos maiores no final do mês para atingir as metas estabelecidas, causando transtornos para a área de logística e reduzindo a rentabilidade da empresa. Segundo Neto (2004, p. 142) “as interações entre a indústria e o atacado tradicional são influenciadas pelas frequentes dificuldades encontradas pela indústria em comercializar toda sua produção e por esta razão e, quase como regra geral, grande parte dos negócios se realiza nos últimos dias do mês”. Do ponto de vista de análise da cadeia de abastecimento como um todo, as grandes redes varejistas e atacadistas apesar da alta previsão de vendas no final de cada mês, apenas coloca seus pedidos no final, de forma a manter o estoque nos fornecedores.

Desta forma, a concentração de vendas continua existindo e tem grandes reflexos nas empresas do setor de bens de consumo, especialmente de bens não duráveis. Alguns estudos buscam mostrar e medir os impactos da concentração de vendas nas diversas áreas. Como pode ser notado na Figura 3.3, a produção, as vendas e o estoque são influenciados pela concentração de vendas. A produção ocorria de forma quase linear ao longo das semanas, o pico de estoque no CD atinge o seu máximo na terceira semana do mês e as vendas chegam a 60% na última semana. Além disso, como é necessário dimensionar a capacidade da área de armazenagem considerando este pico, isto gera um aumento nos custos fixos do centro de distribuição (SANCHES, 2009b).

Figura 3.3 - Quantidades de produção, vendas e estoque.



Fonte: Sanches (2009b).

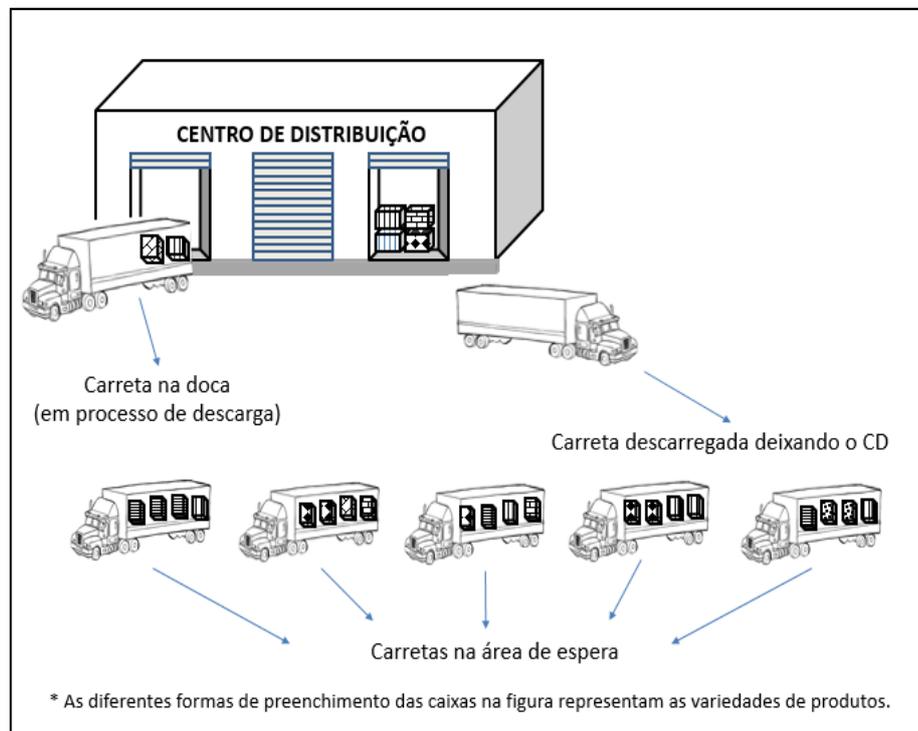
Ainda segundo Sanches (2009b), uma das áreas que mais sofrem os efeitos do pico de vendas no final do mês é a logística, especialmente em função da grande variação entre o volume a ser entregue no final do mês e o das semanas iniciais. Dentro da área de Logística os custos de transporte, estoque, armazenagem, movimentação e horas-extras são diretamente afetados e o maior impacto identificado é nas atividades de transporte, visto que um cenário bastante comum durante este período de concentração de venda são veículos parados aguardando para descarregar e a necessidade de contratação de veículos extras para atender a demanda de expedição do fechamento do mês.

Neste sentido, fica claro que a concentração de vendas tem efeito direto sobre diversas áreas da empresa, tais como armazenagem, produção, vendas, logística, entre outras e que, especialmente os centros de distribuição sofrem diretamente com seus efeitos. Mesmo as empresas do setor conhecendo o problema e instalando unidades de CD com capacidade para suportar esta particularidade do mercado, isso acaba gerando maiores custos e maior complexidade para as operações.

Nos centros de distribuição do setor de bens de consumo não duráveis, uma situação comum no período de pico de vendas é a dedicação da maior parte das docas do CD e das pessoas para a operação de saída de produtos, reduzindo as operações de recebimento de produtos. Isso significa dizer que as docas existentes no CDs devem operar quase que exclusivamente na operação de *outbound* (expedição de produtos). Isso seria um cenário ideal considerando que planejamentos de nível estratégico e tático são executados pelas grandes empresas do setor e que um CD deveria ser desenvolvido para ter capacidade para suportar este tipo de variação e/ou característica do mercado. No entanto, na prática isso não é o que acontece. O problema de restrição de capacidade no CD pode acontecer mesmo com planejamento de longo e médio prazo, em função de inúmeros fatores que podem acontecer no dia a dia e que se somados causam uma grande dificuldade para operação, tais como: atrasos de produção, divergências de demanda, envio tardio de mercadorias, problemas e atrasos durante o transporte, falta de carretas, entre outros.

Portanto, um cenário comum todos os meses, é ter uma fila de carretas aguardando para descarregar na última semana do mês e a falta de produtos para a entrega de pedidos, sendo que pode acontecer de os produtos que faltam para completar os pedidos estarem nos veículos em fila de espera, ou seja, aguardando para serem recebidas. Além disso, em cada uma das carretas aguardando pode conter diferentes produtos e em diferentes quantidades, sendo que estes produtos são importantes para abastecer o estoque e não faltar produtos. A Figura 3.4 abaixo mostra uma representação esquemática do problema.

Figura 3.4 - Representação esquemática do problema.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2014.

O não recebimento da carreta e conseqüentemente da mercadoria pode resultar em perdas de venda e interferir diretamente no nível de serviço da empresa. Desta maneira, empresas do setor de bens de consumo não duráveis, trabalham para minimizar os problemas para operação, tentando deixar o faturamento de pedidos mais constante durante as semanas, aplicando para isso políticas de descontos para pedidos faturados no início do mês e também parcerias principalmente com distribuidores para que não haja faturamento de pedidos nos últimos dias do mês. No entanto, apesar destas estratégias, os picos de venda ainda ocorrem na última semana e o planejamento da seqüência de descarregamento é um importante foco para estudo e proposição de melhorias para as empresas do setor.

É neste cenário complexo e influenciado pela concentração de vendas que a empresa estudada atua e cujo problema é apresentado em detalhes a seguir.

### 3.2 A EMPRESA ESTUDADA

Este trabalho aborda um estudo de caso de uma empresa multinacional de grande porte do ramo de bens de consumo, mais especificamente do setor de bens de consumo não

duráveis e que atua mundialmente nos subsetores de alimentos, bebidas e tabaco, juntamente com produtos de higiene pessoal e de casa.

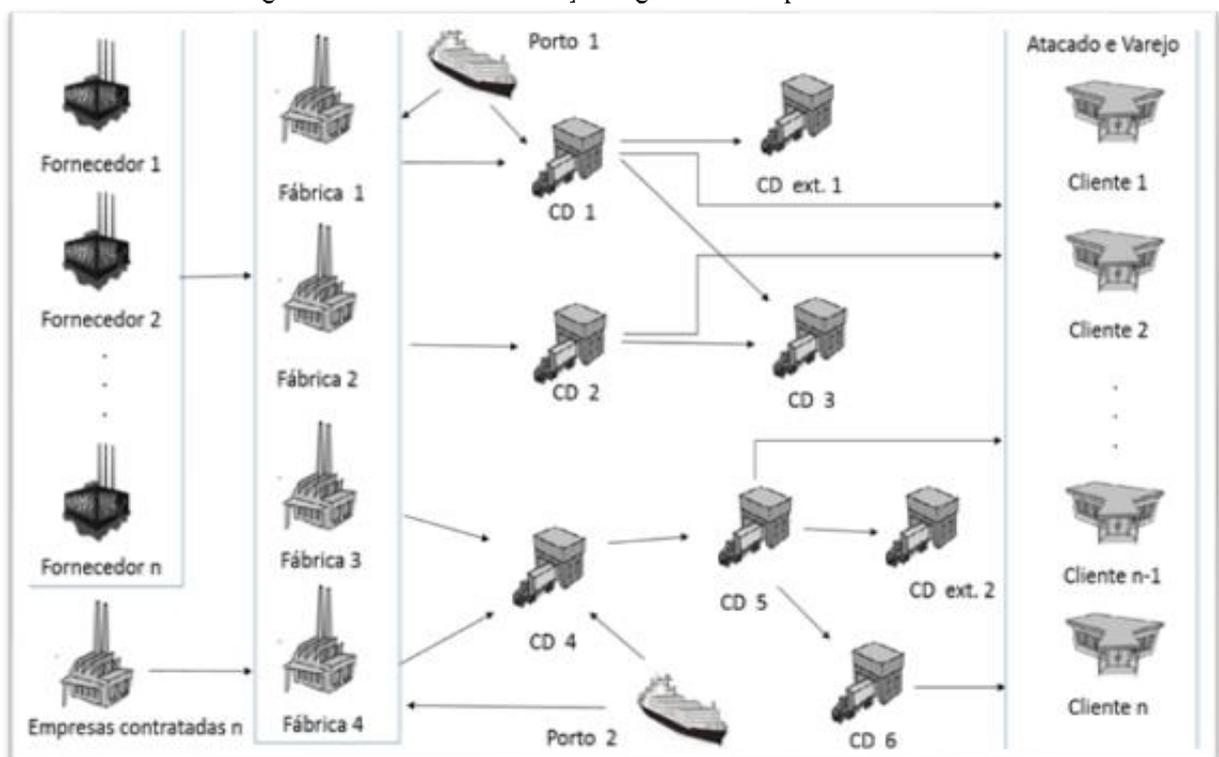
A decisão para realização do estudo de caso nesta empresa foi tomada devido a três principais fatores: o primeiro deles, é o fato da empresa ser conceituada no segmento que atua, sendo uma das 10 principais empresas de bens de consumo do mundo; o segundo, por questão de representatividade, uma vez que a ocorrência do fenômeno da concentração de vendas acontece nesta empresa da mesma forma que acontece em outras empresas do setor e finalmente, pela facilidade de acesso a dados e aos tomadores de decisão da empresa.

### 3.2.1 Característica da empresa

Conforme mencionado anteriormente, a rede de distribuição logística do setor é bastante complexa e a empresa estudada é um exemplo representativo disso. A empresa está presente em diversos países e atende clientes ao redor do mundo. No Brasil, a empresa conta com fábricas próprias e algumas contratadas (na maior parte fornecedores que trabalham principalmente no ramo de embalagem de produtos) e possui vários centros de distribuição distribuídos pelo país.

A Figura 3.5 abaixo mostra o escopo da rede de distribuição logística da empresa no Brasil.

Figura 3.5 - Rede de distribuição logística da empresa no Brasil.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2014.

Como pode ser visto na Figura 3.5 a empresa conta com quatro fábricas próprias (Fábricas 1, 2,3 e 4), as quais podem ainda possuir empresas contratadas prestando serviço para as mesmas. Estas fábricas também são supridas por numerosos fornecedores, sendo que um mesmo fornecedor pode atender mais de uma fábrica ou ser exclusivo. Além disso, ainda podem existir fornecedores de outros países e as importações de matérias-primas ou produtos podem chegar através dos portos (Portos 1 e 2, conforme indicado na Figura 3.5). As fábricas enviam seus produtos para oito centros de distribuição (CD 1, 2, 3, 4, 5 e 6) e (CD ext. 1 e 2), sendo que um deles funciona apenas para armazenagem (não vende produtos a clientes, apenas transfere mercadorias para outros CDs em função de questões fiscais e tributárias adotadas pela empresa) e dois são contratados (externos) e apenas são utilizados quando existe restrição de capacidade nos demais.

Os centros de distribuição podem vender ou não produtos diretamente a clientes de atacado ou varejo, alguns funcionam apenas como armazém. Além disso, alguns clientes são atendidos exclusivamente por um CD ou por vários deles. Também, existe a atividade de importação e exportação de produto final que acontece nos centros de distribuição para os portos. É importante considerar que todo este fluxo de produtos pode acontecer de forma inversa, ou seja, tudo que é enviado também pode ser recebido de volta. Em resumo, esta cadeia é bastante complexa, mas é composta basicamente por fornecedores, fábricas, portos, centros de distribuição e clientes, sendo que cada um destes componentes tem a sua importância e um papel fundamental na cadeia como um todo.

Para aumentar ainda mais a complexidade desta operação, a empresa estudada trabalha com uma grande variedade de produtos que podem ser fabricados nas plantas do Brasil ou podem ser importados das plantas da empresa em outros países. Estes produtos são divididos em função de suas características comuns em grupos de produtos e atualmente no Brasil conta com 8 grupos de produtos, os quais por questão de preservação dos interesses da empresa são tratados neste trabalho como A, B, C, D, E, F, G e H. Além disso, cada grupo de produto possui vários produtos que na empresa são tratados pelo termo SKU (*Stock Keeping Unit*) que é a referência que designa cada item de acordo com sua forma de apresentação, tamanho, forma, cor ou outras características, sendo que um inventário de SKU significa o número de códigos e referências diferentes de produtos que a empresa possui. A empresa estudada apresenta em média para cada grupo 50 SKUs ativos, ou seja, disponíveis para venda, fora os SKUs remanescentes, inativos e pré-ativos (ainda em desenvolvimento).

Assim como todas as empresas do setor de bens de consumo não duráveis, a empresa estudada também é bastante influenciada pela concentração de vendas no final do período. A

Tabela 3.3 a seguir, mostra como as vendas se comportam semanalmente durante o mês traçando um comparativo de alguns países onde a empresa atua, no caso, um país da América do Norte, dois países da América do Sul que são parceiros comerciais do Brasil e o próprio Brasil. A tabela apresenta o percentual de embarques (faturamentos de produtos) feitos ao longo do mês de outubro de 2014 e no final apresenta a média dos países. Nota-se que, o volume de produtos faturados aumenta consideravelmente ao longo das semanas e que o maior volume acontece na última semana do mês, ou seja, existe um pico de faturamento. Também, é possível notar que o Brasil comparado com os demais países, apresenta um pico de faturamento mais acentuado, chegando a ultrapassar 50% do total faturado no mês apenas na última semana.

Tabela 3.3 - Percentual de pedidos faturados semanalmente durante um mês nos países da América Latina.

| <b>Faturamentos Semanais</b> |               |               |               |               |               |
|------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>Do dia</b>                | <b>01/out</b> | <b>06/out</b> | <b>13/out</b> | <b>20/out</b> | <b>27/out</b> |
| <b>Até o dia</b>             | <b>05/out</b> | <b>12/out</b> | <b>19/out</b> | <b>26/out</b> | <b>31/out</b> |
| <b>Semana</b>                | <b>1</b>      | <b>2</b>      | <b>3</b>      | <b>4</b>      | <b>5</b>      |
| País da América do Norte     | 13,0%         | 17,3%         | 21,9%         | 21,3%         | 26,5%         |
| Brasil                       | 4,3%          | 8,8%          | 12,3%         | 22,2%         | 52,5%         |
| País 1 da América do Sul     | 12,1%         | 18,6%         | 16,4%         | 21,2%         | 31,7%         |
| País 2 da América do Sul     | 9,4%          | 14,1%         | 21,0%         | 20,2%         | 35,3%         |
| <b>Média</b>                 | 9,7%          | 14,7%         | 17,9%         | 21,23%        | 36,5%         |

Fonte: Dados coletados pelo autor durante visita na empresa, 2014.

Adicional a isso, a empresa estudada possui algumas características específicas em relação às vendas e o atendimento da demanda que são importantes para o problema em questão. Na empresa, é possível o não atendimento total da demanda, ou seja, a falta de estoque no centro de distribuição implica em não atendimento de alguns pedidos.

Também é aceito que os clientes emitam pedidos em quantidades acima da previsão da demanda semanal ou mensal, ou seja, é permitido ficar com pedido em aberto no sistema e existir a falta de produto. Desta forma, é como se o estoque ficasse negativo até receber mais produto. Teoricamente, pedidos acima da previsão da demanda deveriam ser uma exceção ou casos particulares de negociação com cliente, uma vez que as previsões de vendas realizadas pela empresa deveriam garantir acuracidade nos números. No entanto, na prática, a falta de produto e pedidos acima da previsão da demanda são situações que acontecem com certa frequência.

### 3.2.2 Planejamento de recebimento de veículos

Outra característica importante da empresa estudada em relação à operação dos seus centros de distribuição, mais especificamente a operação de recebimento, é que a maioria deles já trabalha com o planejamento de recebimento de veículos e agendamento de docas para recebimento de produtos e para que isso aconteça de forma mais efetiva, a empresa realiza o planejamento das atividades dos CDs nos três níveis de tomadas de decisão:

– Planejamento estratégico: trata-se de planejamentos de longo prazo, caracterizado por horizonte temporal maior do que um ano. Um exemplo disso é a abertura e encerramento de centros de distribuições.

– Planejamento tático: são planejamentos de médio prazo. Seu horizonte temporal normalmente é inferior a um ano. Neste caso são tomadas decisões do tipo: será ou não necessário utilizar de armazéns privados, redução ou aumento de estoque de segurança dos produtos, etc.;

– Planejamento operacional: caracteriza-se por ter um horizonte temporal de curto prazo, com decisões definidas a cada semana, dia ou horas. Exemplo deste tipo de tomada de decisão é a separação de pedidos, reposição de estoques, agendamento de docas, entre outros.

Como neste trabalho o enfoque é dado ao planejamento de recebimento de veículos que tem impacto direto no planejamento operacional, o mesmo será apresentado de forma mais detalhada a seguir.

Na empresa estudada, segundo informações da gerência do CD, é feito um planejamento operacional para o controle mensal de entrada e saída de produtos no CD e que está dividido em duas partes: cálculo da necessidade das entradas e saídas de veículos e cálculo da capacidade de recebimento e expedição no CD. Estes cálculos são realizados sempre na última semana do mês, considerando o cálculo para o mês seguinte. Por exemplo, na última semana de janeiro é calculado o planejamento prévio de entrada e saída de produtos necessários para o mês de fevereiro.

Para o cálculo da necessidade das entradas de veículos, alguns parâmetros são importantes:

1. O estoque, o qual representa uma quantidade armazenada de produtos com previsão de uso no futuro e tem como objetivo atender a demanda e assegurar a disponibilidade de produtos;
2. A demanda, que é a previsão de vendas de um produto em determinado período. Na empresa estudada a demanda é determinada a longo prazo, com

visibilidade de 18 meses sendo revisada a cada mês, especialmente a demanda do mês seguinte, para melhorar a acuracidade da medida;

3. O estoque de segurança, caracterizado pela manutenção de níveis de estoque suficientes para evitar faltas de estoque diante da variabilidade da demanda e a incerteza do suprimento do produto quando necessário. Quando se trabalha sem essa segurança, o atraso na entrega de uma mercadoria pelo fornecedor normalmente causa o esgotamento do estoque do período previsto da entrega até a efetiva chegada do produto. Já no caso das vendas ou consumo da mercadoria estocada ser maior que o previsto, enquanto o produto fornecido estiver em trânsito para o local de estocagem, também é possível que esse produto não se encontre disponível quando necessário. Por estes motivos, as empresas mantêm o estoque de segurança em seus armazéns, evitando assim problemas de falhas no fornecimento. No caso da empresa é possível trabalhar com estoque de segurança fixo (estoque de segurança) ou estoque variável com tempo conhecido como tempo de segurança (converter diariamente uma quantidade de estoque de segurança baseando nos requerimentos dos dias). A definição sobre a utilização de um ou de outro é em função da estratégia da empresa para cada produto, mas só existe uma medida de estoque de segurança para cada produto em cada CD e o mesmo é revisto com uma periodicidade de 3 meses.

Com base nestes parâmetros, a necessidade de entradas de carretas ( $Cn$ ) no mês é determinada pelo cálculo abaixo, para cada uma das origens, ou seja, para cada fábrica e/ou outro CD que envia produto para o CD analisado:

Índices:

$i$  Produtos existentes:  $i= 1, 2, \dots, N$

$t$  Períodos (mês)

Parâmetros:

$I_{i0}$  Estoque em caixas do produto  $i$  no momento que é feito o cálculo.

$D_{it}$  Demanda em caixas do produto  $i$  no período de tempo  $t$ .

$S_{it}$  Estoque em caixas de segurança do produto  $i$  no período  $t$ .

$Q_{it}$  Quantidade mínima em caixas necessária do produto  $i$  no período  $t$

$P_i$  Número de caixas por palete de cada produto  $i$

$N_{it}$  Número de paletes necessários a receber para cada produto  $i$  no período  $t$

$$C_{nt} = \frac{\sum_{i=1}^N N_{it}}{56} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{Q_{it}}{P_i}}{56} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{D_{it} + S_{it} + I_{i0}}{P_i}}{56} \quad (3.1)$$

A Equação 3.1, determina o número de carretas necessárias para o *inbound* ( $C_n$ ) no CD analisado para um determinado mês  $t$  e de cada origem, o qual é igual ao somatório do número necessário de paletes para receber no mês de cada origem em unidade de paletes e o mesmo dividido pelo número máximo de paletes que cabem em uma carreta que em média é de 56 paletes/carreta. Pressupõe sempre que as cargas são completas. O somatório do número de paletes necessário nada mais é do que a somatória da quantidade de cada produto necessária para ser recebida ( $Q_{it}$ ), dividido pelo número previamente conhecido de quantidades caixas por paleta de cada produto ( $P_i$ ). Sendo que  $Q_{it}$  é a demanda ( $D_{it}$ ) do produto  $i$  para o mês  $t$  somada ao estoque de segurança do produto ( $S_{it}$ ) e diminuído o estoque do produto ( $I_{i0}$ ) que já se encontra no CD no momento que é feito o cálculo.

Como através da origem dos produtos é possível saber na maioria das vezes o tipo de carga, estivada ou paletizada, no final o resultado obtido é um número estimado de carretas que será necessário para receber ao longo do mês por origem e o seu tipo de carga. Como o número é estimado, este cálculo também é utilizado para estimar carga estivada. Com este dado, a empresa calcula a janela de tempo que cada carreta irá ocupar dentro da doca do CD para descarregar, sendo que uma janela de tempo é o tempo médio que leva para descarregar cada carreta, por exemplo: na empresa estudada para descarregar uma carreta com carga estivada leva 6 horas e uma com carga paletizada 3 horas. Considerando isso, se a doca operar 24 horas é possível descarregar 4 cargas estivadas ou 8 cargas paletizadas, ou seja, tem 4 janelas de tempo para carga estivada e 8 janelas para carga paletizada. Esta conta é feita e no final têm-se a necessidade prévia de janelas de tempo em função da cada origem de produtos para o mês.

Em paralelo é feito um cálculo de capacidade do recebimento ou janelas de tempos disponíveis para o *inbound*, que consiste dos seguintes parâmetros:

- Ocupação do centro de distribuição, ou seja, saber quanto do CD está ocupado e determinar o número de posições de paletes disponíveis para receber produto;
- Previsão de demanda ou faturamento de pedidos, conhecendo a demanda para saber a quantidade de paletes que deverá sair (faturar) ao longo dos dias, semanas do CD;

- Capacidade operacional do CD, que considera os dias que o CD vai operar em quantos turnos, números de funcionários, etc.

Com os cálculos da capacidade são determinados previamente quantas carretas/paletes o CD tem capacidade de receber ao longo do mês, ou seja, quantas janelas de tempo e docas terá disponível e com os cálculos da necessidade, determinam a quantidade de paletes/carretas que deverá ser recebido. Desta forma, um comparativo é traçado e, no caso das capacidades serem compatíveis, um plano de distribuição de janelas é feito.

No entanto, em alguns casos a necessidade é maior que a capacidade e planos alternativos são definidos pela empresa, como por exemplo, envio para CD externos, manter a carga na planta de produção ou ainda para itens importados o pagamento de *demurrage* (cobrança de sobre-estadia de unidades de carga, pelos transportadores marítimos e seus agentes); de forma que a capacidade real consiga atender o que é necessário ser recebido.

Como resultado final deste processo de planejamento é obtida uma tabela como a Tabela 3.4, com a distribuição de janelas por mês para recebimento em função da carga e da origem.

Tabela 3.4 - Distribuição de janelas por mês para operação de Inbound.

| INBOUND   |  | 1  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 24 | 25 | 26  | 27 | 28 | 29 | 30  | Total |    |
|---|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|-----|-------|----|
| Agregando   | Janelas disponibilizadas (planejamento prévio) | 32 | 25 | 32 | 32 | 32 | 16 | 16 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 0  | 32 | 31 | 31 | 0  | 23 | 23 | 16 | 16 | 16  | 0  | 0  | 0  | 0   | 533   |    |
|   | Planta Ex 1                                    | -  | -  | -  | -  | -  | 1  | -  | -  | 3  | 1  | 2  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | 1  | -   | -  | -  | -  | -   | 8     |    |
|   | Planta 1                                       | 3  | 4  | 2  | 2  | -  | 2  | -  | 2  | 1  | 1  | 4  | 3  | -  | -  | 2  | 2  | 3  | -  | 4  | -  | -  | 1   | -  | -  | -  | -   | 36    |    |
|   | Planta 2                                       | 1  | 1  | -  | -  | 1  | -  | -  | -  | 2  | -  | -  | -  | -  | -  | 1  | -  | -  | -  | 2  | -  | -  | -   | -  | -  | -  | -   | 8     |    |
|   | Planta 3                                       | 3  | 7  | 3  | 5  | 7  | 3  | 6  | 7  | 9  | 7  | 7  | 7  | -  | -  | 9  | 7  | 7  | -  | 7  | 7  | 7  | 5   | 6  | -  | -  | -   | 133   |    |
|   | Planta 4                                       | 5  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 6  | 5  | 7  | 5  | 7  | -  | -  | 8  | 7  | 7  | -  | 6  | 6  | 6  | 5   | 1  | -  | -  | -   | 105   |    |
|   | Planta 5                                       | -  | -  | -  | -  | 1  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -   | -  | -  | -  | -   | 1     |    |
|   | Planta Ex 2                                    | -  | 1  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | 1  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -   | -  | -  | -  | -   | 2     |    |
|   | Total  | 12 | 16 | 8  | 10 | 12 | 9  | 9  | 15 | 20 | 16 | 18 | 17 | 0  | 20 | 17 | 17 | 0  | 19 | 13 | 13 | 15 | 10  | 7  | 0  | 0  | 0   | 293   |    |
|   | Importado                                      | 8  | 9  | 16 | 8  | 9  | 5  | 9  | 4  | 9  | 4  | 4  | 5  | -  | -  | 5  | 1  | -  | -  | 4  | 3  | 3  | -   | -  | -  | -  | -   | 102   |    |
|   | Planta 6                                       | 7  | -  | 2  | 8  | 9  | 7  | 6  | 1  | 10 | 8  | 8  | -  | -  | -  | 4  | -  | -  | -  | 8  | 2  | 11 | 5   | 9  | 12 | 7  | -   | 124   |    |
|   | CD Ex 1  | -  | -  | -  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | -  | 3  | 3  | 2  | -  | -  | -  | -  | -   | -  | -  | -  | -   | -     | 24 |
|   | CD 2   | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -   | -  | -  | -  | -   | -     | 0  |
|   | Total  | 15 | 9  | 18 | 18 | 20 | 7  | 7  | 17 | 12 | 16 | 14 | 15 | 0  | 12 | 4  | 2  | 0  | 12 | 5  | 11 | 8  | 9   | 12 | 7  | 0  | 0   | 250   |    |
|   | Total agendado (replanejado)                   | 27 | 25 | 26 | 28 | 32 | 16 | 16 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 0  | 32 | 21 | 19 | 0  | 31 | 18 | 24 | 23 | 19  | 19 | 7  | 0  | 0   | 543   |    |
| Janela perdida ou extra em relação ao planejamento prévio | 5  | 0  | 6  | 4  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 10 | 12 | 0  | -8 | 5  | -8 | -7 | -3 | -19 | -7 | 0  | 0  | -10 |       |    |
| Janelas efetivamente perdidas                             | 5  | 2  | 6  | 4  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 3  | 0  | 0  | 10 | 12 | 0  | 0  | 5  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 49  |       |    |
| Janelas efetivamente extras                               | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 8  | 0  | 8  | 7  | 3  | 19  | 7  | 0  | 0  | 52  |       |    |
| Janelas utilizadas efetivamente                           | 27   | 23 | 26 | 28 | 32 | 16 | 16 | 32 | 32 | 31 | 31 | 29 | 0  | 32 | 21 | 19 | 0  | 31 | 18 | 24 | 23 | 19 | 19  | 7  | 0  | 0  | 536 |       |    |

Feriados

Fonte: Dados coletados na empresa e compilados pelo autor, 2014.

Na primeira linha estão os dias úteis para operação no CD. Na segunda linha estão os números de janelas disponibilizadas por dia no planejamento prévio (antes de começar o mês) com base nos cálculos apresentados acima. Depois, as janelas que foram agendadas considerando a planta de origem e o tipo de carga. O número de janelas agendadas significa que um dia antes é feito o agendamento das janelas que realmente serão utilizadas no dia seguinte. A empresa faz o acompanhamento e controle diário desta tabela. Desta forma, se a quantidade de janelas agendadas for maior do que a quantidade disponibilizada previamente, estas entram como janelas extras e se for menor, entram como janelas perdidas e esta diferença entre as janelas disponibilizadas inicialmente e o que foi agendada (replanejada), conta na planilha na linha chamada de janela perdida ou extra, em relação ao plano do início do mês, sendo que para os valores positivos são as janelas perdidas e os valores negativos as janelas extras.

Depois disso, logo abaixo são apresentados os planos que realmente aconteceram, ou seja, os planos efetivos de janelas perdidas e extras em relação ao plano prévio do mês e, finalmente a quantidade total de janelas efetivamente utilizadas. Desta maneira, é possível notar que o total de janelas disponibilizadas previamente foram 533, já as janelas agendadas ao longo do mês foram 543 janelas (sendo 42 perdidas e 52 extras) e o números de janelas que realmente aconteceram (efetivas) foram 536 janelas, destas 49 perdidas e 52 extras.

Importante ressaltar que as janelas extras, na maioria das vezes acaba acarretando custos extras para a empresa, uma vez que é necessário o pagamento destas horas adicionais para o operador logístico que coordenada a operação do CD para que a operação fique trabalhando. Em contrapartida, o não recebimento de um veículo que estava disponível para ser recebido gera o pagamento da sobre-estadia do veículo. Em geral, o valor da sobre-estadia e como estas são cobradas, depende do contrato e/ou acordo que a empresa possui com as transportadoras e no caso da empresa estudada na maioria dos casos o valor só é pago após 24 horas. Da mesma maneira funciona com o valor das horas adicionais, depende do contrato que a empresa possui com operador logístico ou no caso do CD ser operado pela própria empresa dos custos extras envolvidos nestas horas, tais como: mão de obra, equipamentos, etc. Assim, é de extrema importância que a empresa faça um balanço sobre a real necessidade de recebimento do veículo / produto e os custos envolvidos no fato de receber ou não o veículo.

Considerando a tabela de distribuição de janelas de alguns meses fornecida pela empresa, foi possível notar que:

1. O número de janelas total no mês é variável. O que significa dizer que ao longo dos meses pode mudar a quantidade total de janelas disponíveis;
2. O número de janelas varia em função da origem e do mês;
3. De modo geral, na primeira semana do mês a quantidade de janelas disponíveis para recebimento é maior do que comparado com o restante do mês e geralmente nos 3 últimos dias do mês na maioria dos meses não existe nenhum recebimento, ou seja, nenhuma janela é disponibilizada para *inbound*;
4. O planejamento de janelas sofre influência direta das vendas ao longo do mês o que faz com que a disponibilidade de janelas varie dentro do próprio mês. A programação para utilização das docas para *inbound* ou *outbound* é dinâmica, ou seja, durante o mês a quantidade de docas dedicadas à entrada e saída de produto varia principalmente em função do pico do final do mês;
5. O número total de janelas disponibilizadas comparado com o número total de janelas utilizadas também, pode variar tanto para baixo (perda de janelas) como para cima (janelas extras) ao longo dos meses. No entanto, no cenário ideal a empresa trabalha para que esta variação (para mais ou para menos) seja dentro de um limite que ela consiga reagir.

Embora os três níveis de planejamento sejam realizados e a distribuição de janelas ao longo do mês também, frequentemente ocorrem problemas de capacidade ou problemas com excesso ou falta de estoque, causando filas de carretas aguardando para dar entrada no CD. Além disso, ocorrem situações de pedidos de clientes esperando a entrada da carreta para faturar. Neste caso, quando existe pedido de clientes no sistema, o mesmo consome a demanda (previsão de venda) e se não existir nenhum estoque disponível no momento, o sistema gera um estoque negativo. Desta forma, quanto mais negativo, mais urgente para o produto ser recebido, pois já existe um pedido de cliente aguardando. No entanto, o produto necessário pode estar em várias das carretas que estão aguardando para descarregar e em quantidades diferentes. Como a lista de produtos e suas respectivas quantidades são conhecida em cada uma das carretas aguardando para descarregar, é possível determinar a ordem ótima de recebimento. No entanto, como são considerados vários produtos e que um mesmo tipo de produto pode estar em uma ou mais carretas, é difícil determinar esta priorização de carreta manualmente e dentro de um tempo factível. Além disso, a execução manual desta priorização

implica em grandes chances de erros, já que envolve uma combinação de diversos parâmetros que devem ser considerados simultaneamente.

### 3.3 DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA PARA O ESTUDO DE CASO

O escopo deste trabalho contempla a operação de um centro de distribuição de uma empresa multinacional do setor bens de consumo não duráveis e o foco principal é no planejamento em nível operacional da atividade de recebimento no CD. Desta forma, não fazem parte do escopo estudado as outras atividades operacionais básicas de um CD, tais como: a movimentação, a armazenagem, a separação de pedidos e a expedição. Além disso, o trabalho se limita ao período de tempo em que a operação de recebimento sofre maior restrição de capacidade, ou seja, durante o pico de vendas no final do mês onde a operação está focada quase que exclusivamente na operação de expedição de produtos.

A delimitação deste escopo é motivada pela quantidade de carretas que ficam em fila aguardando para serem descarregadas, sabendo que dentro de cada uma delas existe uma quantidade variada de produtos e em quantidades distintas e que alguns destes produtos são necessários para atender a falta de produtos no estoque e assim assegurar o faturamento dos pedidos. Também pelo fato deste problema representar o gargalo na operação do CD no final do mês e por poder impactar diretamente o nível de serviço da empresa junto ao cliente através da não entrega dos produtos. Além de interferir nos custos logísticos da empresa.

Neste contexto, este trabalho pretende abordar as particularidades do setor de bens de consumo não duráveis durante o pico de final de mês, buscando um plano de recebimento de carreta viável do ponto de vista prático, ou seja, determinar quais carretas devem ser recebidas, em quais docas e em qual período de tempo, de forma a minimizar a falta de estoque e custos envolvidos para isso e, conseqüentemente minimizar as perdas de vendas e que permita uma tomada de decisão mais rápida e eficiente pelos tomadores de decisão da empresa.

### 3.4 COLETA DE DADOS

Para a coleta de dados junto a empresa foram utilizadas as seguintes fontes: análise de documentos, entrevistas, depoimentos pessoais e visitas. Na análise de documentos foi utilizado principalmente históricos de e-mails relatando o problema e relatórios da empresa. As entrevistas e os depoimentos foram feitos junto aos tomadores de decisão da empresa.

Além disso, durante as visitas foi possível realizar algumas observações que permitiram o melhor entendimento dos fluxos de processo e das informações.

Desta maneira, todos os experimentos computacionais testados consistem em dados reais coletados e de estimativas e informações providenciadas pela empresa. Dentre as informações coletadas para resolução deste problema temos:

- Em relação aos veículos, os dados obtidos foram o número de veículos aguardando para descarregar, o tempo de descarregamento, o tipo de carga, o número de produtos contido em cada um deles e as respectivas quantidades;
- Para as docas, os parâmetros coletados foram a quantidade de docas disponíveis, assim como a capacidade em horas de cada uma delas;
- Os dados referentes aos produtos foram a demanda por período de tempo, a paletização (número de caixas por palete), o lucro sobre a venda do produto e a quantidade de estoque inicial;
- Em relação a operações no CD, os dados adquiridos foram o valor médio pago por hora extra do operador logístico e o valor médio pago as transportadoras pela sobre-estadia de veículos.

Neste sentido, foram coletados dados do centro de distribuição da empresa que movimenta o maior volume de produtos no Brasil, responsável por atender cerca de 60% dos clientes, que recebe produtos da maioria dos grupos de produtos vindos das mais diversas origens. A seguir são apresentadas algumas considerações em relação a este Centro de distribuição e o processo:

- O centro de distribuição opera todos os dias em três turnos, exceto aos domingos. As docas disponíveis do CD podem executar tanto a operação de *inbound* quanto a de *outbound*, ou seja, não são restritas a uma operação ou outra. O planejamento para utilização das docas para *inbound* ou *outbound* é dinâmico, ou seja, durante o mês a quantidade de docas dedicadas à entrada e saída de produtos varia principalmente em função do pico de vendas do final do mês. Geralmente, nos últimos 3 dias do mês, a operação do CD fica com maior dedicação para faturar pedidos de clientes, ou seja, para a saída de produtos;
- O centro de distribuição pode receber carga paletizada ou estivada;

- No CD cada carreta aguardando para descarregar consiste em um número de *Purchase order* (PO) que é um pedido de compra que o CD faz para as fábricas. Este PO é o que gera a nota fiscal para acompanhar a carga, o que significa dizer que esta PO contém a informação de quais produtos estão contidos na carreta e em quais quantidades. Além disso, na PO consta a cidade de origem de cada produto e isso já deixa pré-determinado o tempo médio de cada descarregamento e o tipo da carga;
- As informações necessárias de cada produto no CD foram obtidas através de relatórios da empresa, por exemplo, o estoque de cada produto do CD, demanda do produto no mês/semana/dia, pedidos em aberto para faturar aos clientes, PO em trânsitos para ser recebidos no CD, etc.

A etapa de coleta de dados juntamente com a compreensão do problema foram as etapas mais desafiadoras para realização deste trabalho e também as atividades demandaram maior tempo para seu desenvolvimento. Isso se deve ao fato de que não existiam informações e dados prontos ou consolidados na empresa e nem na literatura. Desta forma, foi necessário o entendimento do fluxo do processo e das informações, conhecer todas as partes, pessoas e operações envolvidas e também buscar dados que corroborassem com a definição do problema e permitissem o seu estudo.

Também, cabe ressaltar que, todos os dados utilizados nos experimentos são baseados em dados reais da empresa e que para proteger as informações fornecidas pela empresa, alguns dados foram distorcidos, mantendo-se apenas a sua proporcionalidade.

## 4 ABORDAGEM PARA MINIMIZAR A FALTA DE PRODUTOS

Nesta seção é apresentada uma primeira abordagem para tratar o problema de priorização de *inbound* em centro de distribuição de uma empresa do setor de bens de consumo não duráveis. Esta abordagem considera no modelo apenas a questão de falta de estoque e o capítulo está dividido da seguinte forma: primeiramente são apresentadas as considerações para modelagem, depois o modelo desenvolvido é exibido e por último, os resultados dos estudos testados são expostos.

### 4.1 CONSIDERAÇÕES PARA MODELAGEM

Antes de iniciar a formulação matemática, é importante destacar algumas considerações:

- a) Em geral, o número de docas dedicadas para o *inbound* e sua capacidade de descarregamento é menor do que o número de carretas e tempo para descarregar;
- b) Cada carreta deve ser designada a uma e apenas uma doca, ou seja, uma doca é ocupada por apenas uma carreta em um determinado período de tempo discreto;
- c) Cada doca pode processar apenas uma tarefa por vez, ou seja, receber uma carreta de cada vez;
- d) A operação de recebimento na doca uma vez iniciada não pode ser interrompida e não é permitido o recebimento de carretas com carga incompleta;
- e) Uma doca só pode iniciar o processamento de uma nova carreta se a carreta que estava sendo recebida nela já tiver sido concluída.

O processo de designação de carretas envolve diversas questões, buscando uma forma de simplificar o problema, serão levados em consideração os seguintes fatores:

- Docas e carretas idênticas: Assume-se que as docas são todas idênticas e as carretas também, ou seja, qualquer carreta pode ser designada para qualquer doca.
- Dados conhecidos: O número de docas disponíveis para o *inbound* é conhecido, também, o número de carretas aguardando para descarregar é conhecido, assim como os produtos contidos nas mesmas e as suas quantidades.

- Demanda dos produtos: as estimativas de demanda são dadas para cada período de tempo e são permitidos atrasos na entrega dos produtos, ou seja, quando a demanda é maior do que o estoque disponível haverá a falta de produtos;
- Capacidade: A capacidade ou disponibilidade de cada doca é dada em horas e não será considerado nenhum tempo de preparação das docas.
- Tempo de processamento: O tempo de processamento da tarefa de recebimento varia em função de como os produtos estão dentro da carreta e, neste caso, serão considerados que todas as carretas estão 100% completas e as cargas podem ser: a carga estivada e carga paletizada com dois tempos fixos, sendo carga estivada tempo médio de 6 horas e paletizada 3 horas para descarregar.
- Períodos de tempo: cada período de tempo representa um dia do horizonte de planejamento (24 horas). No caso da empresa estudada é considerado um horizonte de planejamento de até três dias. Este período não será maior, visto que algumas origens de produtos (fábricas responsáveis por alimentar o CD) ficam próximas do CD e só são conhecidos os produtos e quantidades que serão transferidas três dias antes do embarque.
- Sequenciamento: Não foi considerado o sequenciamento das carretas dentro de cada período de tempo, apenas a definição de quais carretas descarregar e não a ordem específica na qual cada uma delas deve ser recebida. Essa pressuposição é razoável, pois qualquer permutação na ordem das carretas dentro de um período não altera a solução final e pode flexibilizar as decisões a nível operacional.

## 4.2 MODELO MATEMÁTICO

O modelo formulado será descrito considerando os seguintes parâmetros e dados:

### Índices:

$i$  Produtos existentes:  $i=1, 2, \dots, N$

$k$  Docas idênticas em paralelo:  $k=1, 2, \dots, K$

$j$  Carretas para serem recebidas  $j=1, 2, \dots, J$

$t$  Período de tempo:  $t=1, 2, \dots, T$

Onde  $N$ ,  $K$ ,  $J$  e  $T$  correspondem ao total de produtos, total de docas, total de carretas e horizonte de planejamento, respectivamente.

### Parâmetros:

$I_{i0}$  Estoque inicial do produto  $i$  no início do horizonte de planejamento

$F_{i0}$  Falta de estoque inicial do produto  $i$  no início do horizonte de planejamento

$D_{it}$  Demanda do produto  $i$  no período de tempo  $t$

$C_{kt}$  Capacidade máxima (em tempo) doca  $k$  no período  $t$

$A_{ij}$  Quantidade do produto  $i$  na carreta  $j$

$E_j$  Tempo para descarregamento da carreta  $j$

$Y_{jt}$  Parâmetro binário que indica se carreta  $j$  está disponível no tempo  $t$  ( $Y_{jt} = 1$ ) ou não ( $Y_{jt} = 0$ )

### Variáveis

$I_{it}$  Estoque do produto  $i$  no final do período  $t$

$F_{it}$  Falta do produto  $i$  no final do período  $t$

$X_{jkt} = \begin{cases} 1, & \text{se carreta } j \text{ foi selecionada p/ descarregar na doca } k \text{ no período de tempo } t \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T F_{it} \quad (4.1)$$

Sujeito a:

$$I_{it} - F_{it} = I_{i,t-1} - F_{i,t-1} + \sum_{j=1}^J A_{ij} \sum_{k=1}^K X_{jkt} - D_{it} \quad i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T \quad (4.2)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T X_{jkt} \leq 1 \quad j = 1, \dots, J \quad (4.3)$$

$$\sum_{j=1}^J E_j X_{jkt} \leq C_{kt} \quad t = 1, \dots, T; k = 1, \dots, K \quad (4.4)$$

$$X_{jkt} \leq Y_{jt} \quad j = 1, \dots, J; k = 1, \dots, K; t = 1, \dots, T \quad (4.5)$$

$$I_{it}, F_{it} \geq 0; X_{jkt} \in \{1, 0\} \quad i = 1, \dots, I; j = 1, \dots, J; k = 1, \dots, K; t = 1, \dots, T \quad (4.6)$$

A função objetivo (4.1) minimiza o estoque negativo, ou seja, a falta de estoque de produtos em todos os períodos, o qual depende da designação de carretas nas docas, da demanda de cada produto e dos seus níveis de estoque.

A equação (4.2) corresponde à restrição de balanceamento de estoques, que relacionam as unidades recebidas de cada produto da carreta, sua demanda e os níveis de estoque, que inclui a possibilidade de não atendimento da demanda através de estoques negativos ( $F_{it}$ ). A quantidade recebida de cada produto é obtida através de suas respectivas quantidades em cada carreta descarregada.

A restrição (4.3) garante que cada carreta pode ser designada somente para uma doca, e que nem todas as carretas precisam ser designadas a uma doca, uma vez que se considera que o número de veículos aguardando para descarregar nos períodos de pico em geral é maior que o número de docas disponíveis.

A desigualdade (4.4) define que a soma dos tempos individuais de processamento de cada carreta (tempo de descarregamento) deve ser menor ou igual a capacidade total da doca, ou seja, não pode exceder a capacidade disponível em horas de cada doca.

A restrição (4.5) relaciona a variável que determina se a carreta foi selecionada para descarregar ou não em determinado período de tempo com o parâmetro binário de disponibilidade da carreta para descarregar, de modo que garante que para uma carreta ser selecionada para descarregar em determinado período ( $X_{jkt} = 1$ ), ela deverá necessariamente estar disponível neste período ( $Y_{jkt} = 1$ ).

Finalmente, as equações (4.6) definem o domínio das variáveis do modelo.

O modelo matemático acima resulta em  $(T(N + K(J + 1)) + 1)$  equações e  $(T(2I + JK))$  variáveis, das quais  $2IT$  são binárias.

### 4.3 RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS

O objetivo desta seção é apresentar as soluções geradas pela formulação proposta e avaliar sua adequação para representar o problema de priorização de *inbound* em centros de distribuição em empresas do setor de bens de consumo não duráveis. Desta forma, nesta seção são apresentados os estudos computacionais com duas instâncias reais.

É importante ressaltar que todos os experimentos computacionais realizados neste trabalho foram executados na linguagem algébrica GAMS (*Generic Algebraic Modeling System*) versão 22.6, com o solver CPLEX versão 12.2 e utilizando um computador pessoal de processador Intel®/Core™, 1,8 GHz e 8GB de memória RAM. As estruturas de dados



Desta forma, a primeira parte deste problema que considera o planejamento prévio consiste em determinar quais das 13 carretas disponíveis no primeiro período  $t_1$  (dia 26) devem ser realmente recebidas. Sabendo que no dia 26 existem apenas 7 janelas disponíveis para descarga de carga paletizada e que no período  $t_2$  (dia 27), não existe nenhuma janela disponível e que ficaram desta maneira sem receber seis carretas do dia 26 e mais sete carretas que chegam no dia 27.

Para isso, são conhecidos os produtos existem em cada uma das carretas e as suas respectivas quantidades, um total de 40 produtos, Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Quantidade de produto na carreta em caixas para instância 1.

| Instância real 1 | Quantidade de produto <i>i</i> na carreta <i>j</i> |           |           |           |           |           |           |           |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                  | Produto/Carreta                                    | <i>j1</i> | <i>j2</i> | <i>j3</i> | <i>j4</i> | <i>j5</i> | <i>j6</i> | <i>j7</i> | <i>j8</i> | <i>j9</i> | <i>j10</i> | <i>j11</i> | <i>j12</i> | <i>j13</i> | <i>j14</i> | <i>j15</i> | <i>j16</i> | <i>j17</i> | <i>j18</i> | <i>j19</i> | <i>j20</i> |
| <i>i1</i>        |  |           |           |           | 312       |           |           |           |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <i>i2</i>        | 430  |           |           |           |           |           |           | 990       | 2340      | 540       |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <i>i3</i>        |  |           |           |           |           |           |           |           |           |           |            |            |            |            |            |            | 180        |            |            |            |            |
| <i>i4</i>        |  |           |           |           |           |           |           |           |           |           |            |            |            |            |            |            | 1110       |            |            |            |            |
| <i>i5</i>        |  |           |           |           |           |           |           |           |           |           |            |            |            |            |            |            |            | 5600       | 484        |            |            |
| <i>i6</i>        |  |           |           |           |           |           |           |           |           |           | 3386       |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <i>i7</i>        |  |           |           |           |           |           |           |           |           |           |            |            |            | 5200       |            |            |            |            |            | 5100       | 5600       |
| <i>i8</i>        |  |           |           |           | 504       |           |           |           |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <i>i9</i>        |  |           |           |           |           |           |           |           |           |           |            |            |            |            |            | 3158       |            |            |            |            |            |
| <i>i10</i>       |  |           |           |           |           | 2944      |           |           |           |           |            |            | 3920       |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <i>i11</i>       |  |           |           |           | 2830      |           |           |           |           |           |            | 1656       | 644        | 4600       | 344        |            |            |            |            |            |            |
| <i>i12</i>       |  | 480       | 480       |           |           |           |           |           |           |           |            |            |            |            |            | 72         |            |            |            |            |            |
| <i>i13</i>       |  |           |           |           |           | 2550      |           |           |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <i>i14</i>       |  |           |           |           |           | 213       |           |           |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <i>i15</i>       |  |           |           |           |           | 14        |           |           |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <i>i16</i>       |  |           |           |           |           | 91        |           |           |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <i>i17</i>       |  |           |           |           |           | 302       |           |           |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <i>i18</i>       |  |           |           |           |           | 264       |           |           |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <i>i19</i>       |  |           |           |           |           |           |           |           |           |           | 900        |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <i>i20</i>       |  |           |           |           |           |           | 1075      |           |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <i>i21</i>       |  |           |           |           |           |           |           |           |           |           |            |            |            |            |            |            | 1170       | 2160       |            |            |            |
| <i>i22</i>       |  |           |           |           |           |           | 1890      | 231       |           |           |            |            |            |            |            |            | 514        |            |            |            |            |
| <i>i23</i>       |  |           |           |           |           |           |           | 450       | 450       | 1244      |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <i>i24</i>       |  |           |           |           |           |           | 180       |           | 270       | 630       |            |            |            |            |            |            | 283        |            |            |            |            |
| <i>i25</i>       |  |           |           |           |           |           |           | 3884      | 425       |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <i>i26</i>       |  |           |           |           |           |           |           |           | 1548      |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <i>i27</i>       |  |           |           |           |           |           | 425       | 419       |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <i>i28</i>       |  |           |           |           |           |           |           | 2550      | 5827      |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <i>i29</i>       |  |           |           |           |           |           |           |           |           |           |            |            |            |            |            |            | 4730       | 4546       |            |            |            |
| <i>i30</i>       |  |           |           |           |           |           | 1109      |           |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <i>i31</i>       |  |           |           |           | 84        |           |           |           |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <i>i32</i>       |  |           |           |           |           |           |           |           |           |           |            |            |            |            |            |            | 4193       |            |            |            |            |
| <i>i33</i>       |  |           |           |           |           |           | 6880      | 2532      |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <i>i34</i>       |  |           |           |           |           |           |           |           |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            | 7310       |            |            |
| <i>i35</i>       |  |           |           |           |           |           |           | 4730      |           | 430       |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <i>i36</i>       |  |           |           |           |           |           |           |           | 720       | 2400      |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <i>i37</i>       |  |           |           |           |           |           |           |           |           | 392       |            |            |            |            |            |            | 273        |            |            |            |            |
| <i>i38</i>       |  |           |           |           |           |           |           |           |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            | 700        |            |            |
| <i>i39</i>       |  |           |           | 3000      | 932       |           |           |           |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <i>i40</i>       |  |           |           |           |           |           | 525       | 175       | 175       | 175       |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |

Também são conhecidas as demandas de cada produto em cada período de tempo e as posições iniciais de estoque, Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Informação sobre os produtos em caixas para instância 1.

| Instância 1 |                           |                         | Demanda do produto por períodos em caixas |       |
|-------------|---------------------------|-------------------------|---|-------|
| Produtos    | Estoque inicial em caixas | Falta inicial em caixas | $t1$                                      | $t2$  |
| <i>i1</i>   | 1032                      | 0                       | 1227                                      | 504   |
| <i>i2</i>   | 180                       | 0                       | 0   | 770   |
| <i>i3</i>   | 0                         | 0                       | 0   | 181   |
| <i>i4</i>   | 0                         | 0                       | 0   | 208   |
| <i>i5</i>   | 0                         | 0                       | 494                                       | 2128  |
| <i>i6</i>   | 0                         | 0                       | 4426                                      | 3328  |
| <i>i7</i>   | 0                         | 0                       | 13338                                     | 2014  |
| <i>i8</i>   | 1960                      | 0                       | 1577                                      | 565   |
| <i>i9</i>   | 0                         | 0                       | 2403                                      | 481   |
| <i>i10</i>  | 12426                     | 0                       | 12298                                     | 3021  |
| <i>i11</i>  | 3583                      | 0                       | 20  | 2669  |
| <i>i12</i>  | 7605                      | 0                       | 14179                                     | 3214  |
| <i>i13</i>  | 0                         | 0                       | 0   | 0     |
| <i>i14</i>  | 0                         | 0                       | 3966                                      | 0     |
| <i>i15</i>  | 1204                      | 0                       | 1390                                      | 0     |
| <i>i16</i>  | 0                         | 0                       | 3091                                      | 0     |
| <i>i17</i>  | 163                       | 0                       | 1488                                      | 0     |
| <i>i18</i>  | 550                       | 0                       | 1708                                      | 0     |
| <i>i19</i>  | 3417                      | 0                       | 4274                                      | 2401  |
| <i>i20</i>  | 1696                      | 0                       | 4678                                      | 2176  |
| <i>i21</i>  | 0                         | 0                       | 7429                                      | 2776  |
| <i>i22</i>  | 1271                      | 0                       | 3729                                      | 1984  |
| <i>i23</i>  | 1325                      | 0                       | 4712                                      | 2116  |
| <i>i24</i>  | 846                       | 0                       | 1051                                      | 506   |
| <i>i25</i>  | 18694                     | 0                       | 3844                                      | 2312  |
| <i>i26</i>  | 11306                     | 0                       | 0   | 4024  |
| <i>i27</i>  | 5182                      | 0                       | 1286                                      | 2207  |
| <i>i28</i>  | 24325                     | 0                       | 11792                                     | 3534  |
| <i>i29</i>  | 7109                      | 0                       | 0   | 3673  |
| <i>i30</i>  | 36488                     | 0                       | 14799                                     | 7617  |
| <i>i31</i>  | 1934                      | 0                       | 0   | 535   |
| <i>i32</i>  | 14347                     | 0                       | 1875                                      | 3646  |
| <i>i33</i>  | 12099                     | 0                       | 3511                                      | 3707  |
| <i>i34</i>  | 3854                      | 0                       | 0   | 2034  |
| <i>i35</i>  | 9186                      | 0                       | 2501                                      | 2574  |
| <i>i36</i>  | 6350                      | 0                       | 3998                                      | 1243  |
| <i>i37</i>  | 4556                      | 0                       | 8317                                      | 1846  |
| <i>i38</i>  | 10333                     | 0                       | 7507                                      | 2746  |
| <i>i39</i>  | 2073                      | 0                       | 9512                                      | 11126 |
| <i>i40</i>  | 4889                      | 0                       | 0   | 2940  |

Além disso, para este planejamento feito previamente, segundo dados adquiridos da empresa existiam 2 docas operando para o *inbound*, sendo que a primeira doca opera em dois turnos (16h) e a segunda doca opera em um turno (8h), sendo que o primeiro turno começa às 6h da manhã e no período  $t2$  não existe nenhuma disponibilidade de doca, conforme tabela 4.5.

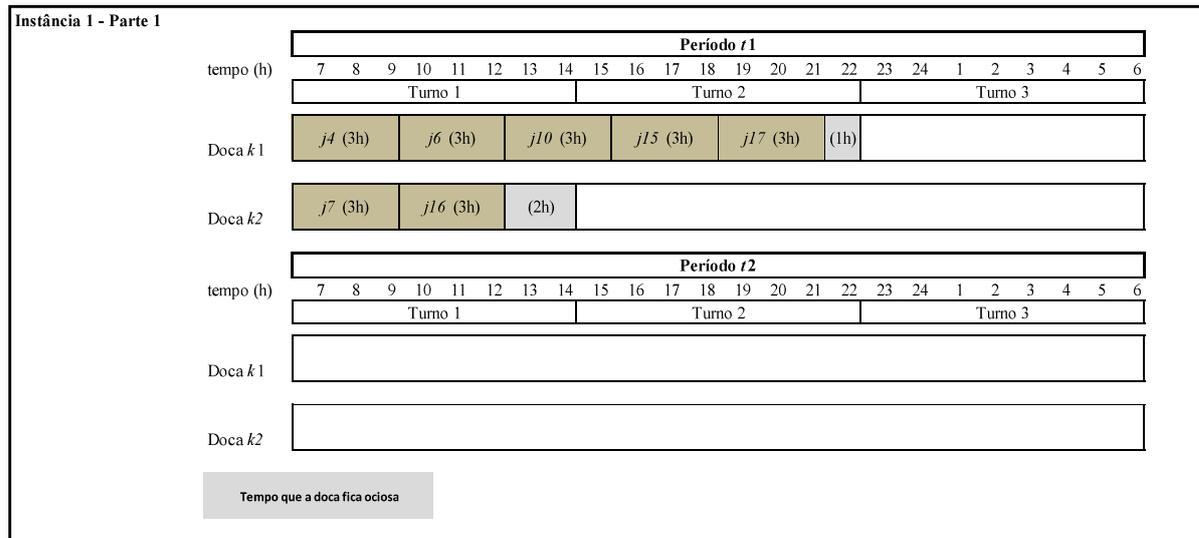
Tabela 4.5 - Horário de operação das docas para modelagem da instância 1 – planejamento prévio.

| Instância 1 - parte 1 | Tempo de operação das docas (h) |      |
|-----------------------|---------------------------------|------|
|                       | $t1$                            | $t2$ |
| Docas                 |                                 |      |
| $k1$                  | 16                              | 0    |
| $k2$                  | 8                               | 0    |

Como resultado, deste planejamento prévio, o tempo de processamento computacional foi de 1.711 segundos e o modelo encontrou a solução ótima de 134873 caixas faltantes. Na Figura 4.1, é apresentado o plano de recebimento no CD proposto pelo modelo, assim como as horas utilizadas em cada uma das docas para o recebimento. Os espaços em cinza claro são as horas que as docas ficam ociosas, já que não é permitido descarregamento parcial de carretas no modelo. Podemos ver também, que o tempo por período é dado em horas e dividido em turnos, sendo que o 1º turno começa às 6h e termina às 14h, o 2º turno vai das 14h às 22h e o 3º turno começa às 22h e finaliza às 6h. Adicional a isso, os espaços em branco correspondem aos períodos em que a doca não está em operação, por exemplo a doca  $k2$  no período  $t1$  opera em apenas um turno das 6 às 14h e, portanto, das 14h até as 24h aparece em branco na figura.

Um ponto relevante é que a ordem das carretas em todas as figuras de plano de descarregamento neste trabalho é meramente ilustrativa, visto que neste trabalho não foi feito o sequenciamento das carretas e sim determinado apenas quais deveriam ser recebidas em cada período. No entanto, com a figura fica mais claro e de fácil entendimento, saber qual foi a capacidade da doca em horas utilizadas e também quais as carretas recebidas e por isso é apresentado.

Figura 4.1 - Resultado do modelo desenvolvido para instância 1 – planejamento prévio.



Como também pode ser visto na Figura 4.1, não é possível efetuar o recebimento das 13 carretas com apenas 2 docas, operando uma em dois turnos e uma em um turno. Desta forma, das 13 carretas disponíveis no dia 26 apenas 7 foram recebidas, ficando sem receber as carretas:  $j1, j2, j3, j5, j8$  e  $j9$ . No dia 27, com a chegada de mais 7 carretas e nenhuma carreta sendo recebida, ficam um total de 13 carretas sem receber, sendo elas:  $j1, j2, j3, j5, j8, j9, j11, j12, j13, j14, j18, j19$  e  $j20$ .

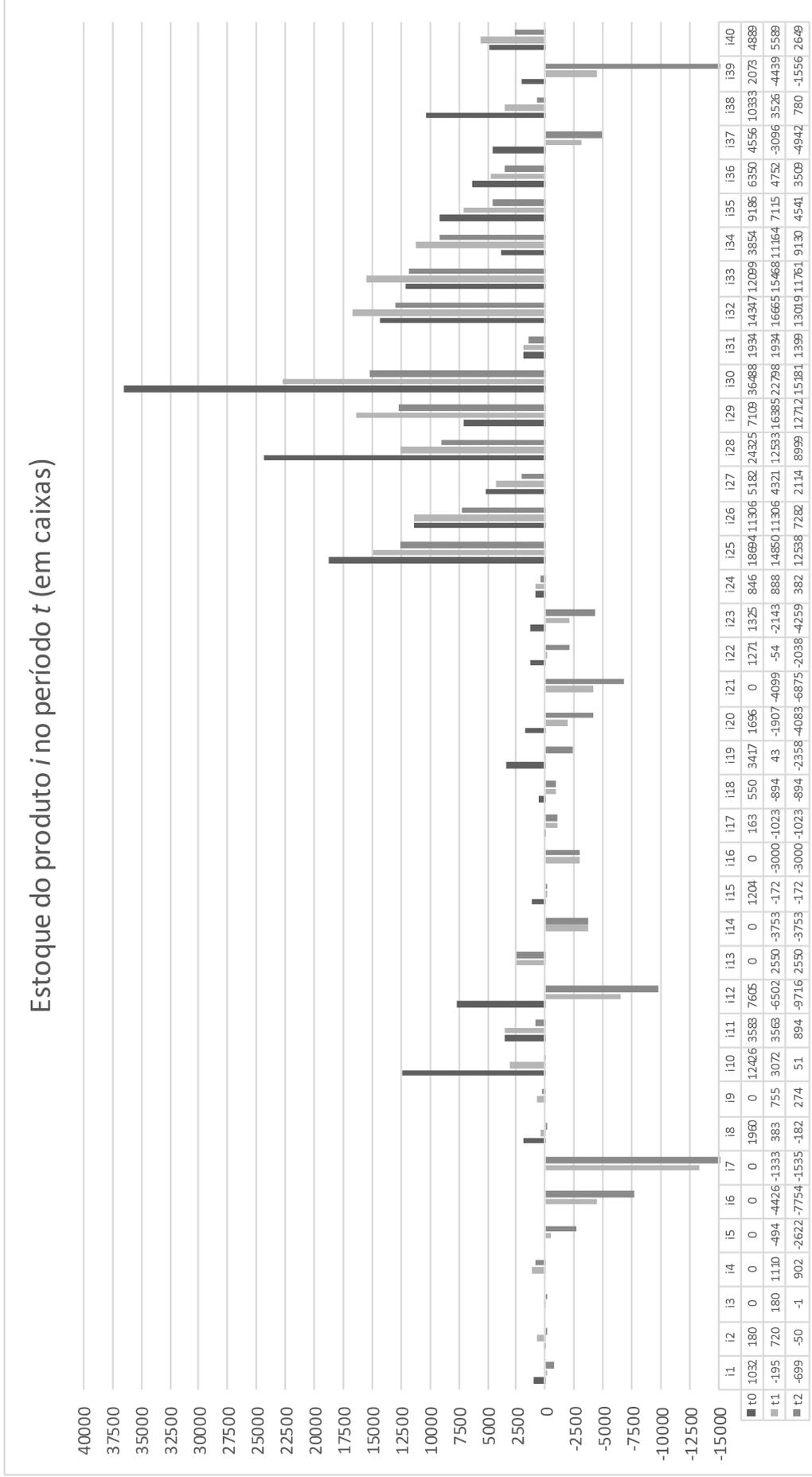
O modelo se comportou adequadamente já que a capacidade total em tempo de cada uma das docas não foi ultrapassada, apenas restando tempo ocioso de 1h na doca  $k1$  e 2h na doca  $k2$ . No caso, se fosse possível recebimento parcial, o somatório de horas ociosas das duas docas seriam de 3h, o que significa que mais uma carreta poderia ser descarregada, ou seja, ao invés de 7 carretas seriam 8 carretas descarregadas para um total de 20 disponíveis. Ou ainda se na empresa ao invés de duas docas disponibilizadas, fosse disponibilizada apenas uma doca para operar o *inbound* em três turnos o número de carretas descarregadas seriam 8 também. No entanto, não se sabe os reais motivos desta disponibilidade e os dados reais são os válidos para o exemplo. Desta forma, apenas para efeito de teste foi reduzido 1h da doca  $k1$  e acrescentado na doca  $k2$ , para ver qual seria a próxima carreta a ser priorizada e foi a carreta  $j5$ , com solução ótima de 132320 caixas faltantes.

A Tabela 4.6 apresenta os resultados gerados pelo modelo para a quantidade recebida por doca, o estoque e a falta de estoque de cada produto no período  $t1$  e  $t2$ . Importante lembrar que no período  $t2$  não existiu recebimento de carretas, apenas a demanda de produto. Isso fica mais nítido observando a Figura 4.2 onde pode ser visto o estoque de cada produto  $i$  nos tempos  $t0, t1$  e  $t2$ .

Tabela 4.6 - Estoque recebido e resultantes do modelo desenvolvido para a instância 1 - planejamento prévio.

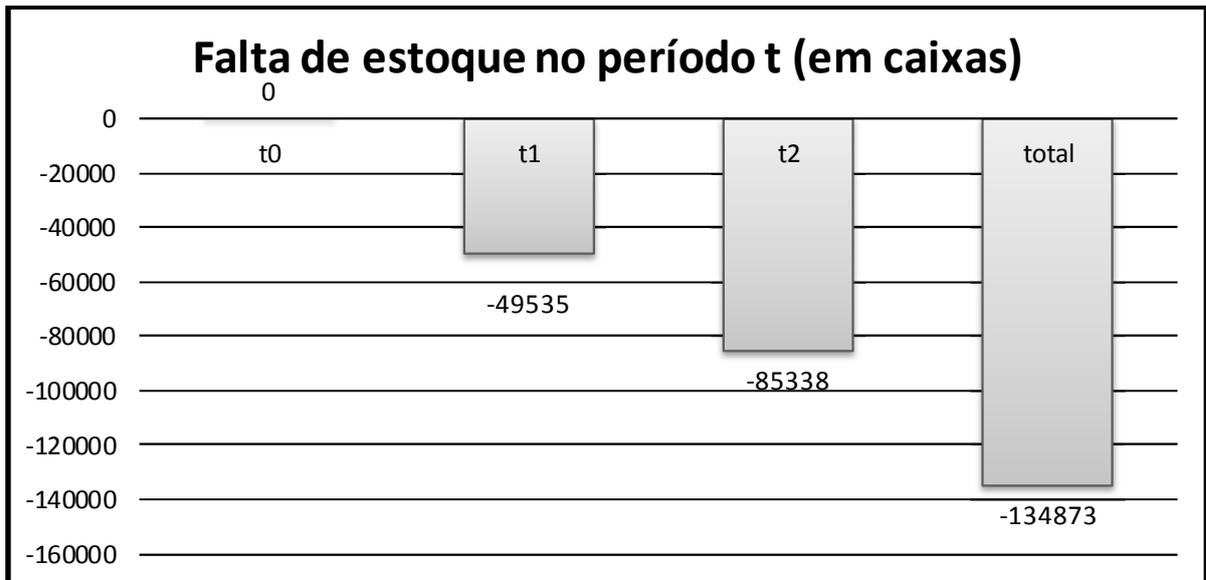
| Instância 1 -<br>parte 1 | Período t1                       |                                  |                               |                          | Período t2                       |                                  |                               |                          |
|--------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|--------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
|                          | Recebido<br>doca k1<br>em caixas | Recebido<br>doca k2<br>em caixas | Estoque<br>final em<br>caixas | Falta final<br>em caixas | Recebido<br>doca k1<br>em caixas | Recebido<br>doca k2<br>em caixas | Estoque<br>final em<br>caixas | Falta final<br>em caixas |
| <i>i1</i>                | 0                                | 0                                | 0                             | 195                      | 0                                | 0                                | 0                             | 699                      |
| <i>i2</i>                | 540                              | 0                                | 720                           | 0                        | 0                                | 0                                | 0                             | 50                       |
| <i>i3</i>                | 0                                | 180                              | 180                           | 0                        | 0                                | 0                                | 0                             | 1                        |
| <i>i4</i>                | 0                                | 1110                             | 1110                          | 0                        | 0                                | 0                                | 902                           | 0                        |
| <i>i5</i>                | 0                                | 0                                | 0                             | 494                      | 0                                | 0                                | 0                             | 2622                     |
| <i>i6</i>                | 0                                | 0                                | 0                             | 4426                     | 0                                | 0                                | 0                             | 7754                     |
| <i>i7</i>                | 0                                | 0                                | 0                             | 13338                    | 0                                | 0                                | 0                             | 15352                    |
| <i>i8</i>                | 0                                | 0                                | 383                           | 0                        | 0                                | 0                                | 0                             | 182                      |
| <i>i9</i>                | 3158                             | 0                                | 755                           | 0                        | 0                                | 0                                | 274                           | 0                        |
| <i>i10</i>               | 2944                             | 0                                | 3072                          | 0                        | 0                                | 0                                | 51                            | 0                        |
| <i>i11</i>               | 0                                | 0                                | 3563                          | 0                        | 0                                | 0                                | 894                           | 0                        |
| <i>i12</i>               | 72                               | 0                                | 0                             | 6502                     | 0                                | 0                                | 0                             | 9716                     |
| <i>i13</i>               | 2550                             | 0                                | 2550                          | 0                        | 0                                | 0                                | 2550                          | 0                        |
| <i>i14</i>               | 213                              | 0                                | 0                             | 3753                     | 0                                | 0                                | 0                             | 3753                     |
| <i>i15</i>               | 14                               | 0                                | 0                             | 172                      | 0                                | 0                                | 0                             | 172                      |
| <i>i16</i>               | 91                               | 0                                | 0                             | 3000                     | 0                                | 0                                | 0                             | 3000                     |
| <i>i17</i>               | 302                              | 0                                | 0                             | 1023                     | 0                                | 0                                | 0                             | 1023                     |
| <i>i18</i>               | 264                              | 0                                | 0                             | 894                      | 0                                | 0                                | 0                             | 894                      |
| <i>i19</i>               | 900                              | 0                                | 43                            | 0                        | 0                                | 0                                | 0                             | 2358                     |
| <i>i20</i>               | 0                                | 1075                             | 0                             | 1907                     | 0                                | 0                                | 0                             | 4083                     |
| <i>i21</i>               | 2160                             | 1170                             | 0                             | 4099                     | 0                                | 0                                | 0                             | 6875                     |
| <i>i22</i>               | 0                                | 2404                             | 0                             | 54                       | 0                                | 0                                | 0                             | 2038                     |
| <i>i23</i>               | 1244                             | 0                                | 0                             | 2143                     | 0                                | 0                                | 0                             | 4259                     |
| <i>i24</i>               | 630                              | 463                              | 888                           | 0                        | 0                                | 0                                | 382                           | 0                        |
| <i>i25</i>               | 0                                | 0                                | 14850                         | 0                        | 0                                | 0                                | 12538                         | 0                        |
| <i>i26</i>               | 0                                | 0                                | 11306                         | 0                        | 0                                | 0                                | 7282                          | 0                        |
| <i>i27</i>               | 0                                | 425                              | 4321                          | 0                        | 0                                | 0                                | 2114                          | 0                        |
| <i>i28</i>               | 0                                | 0                                | 12533                         | 0                        | 0                                | 0                                | 8999                          | 0                        |
| <i>i29</i>               | 4546                             | 4730                             | 16385                         | 0                        | 0                                | 0                                | 12712                         | 0                        |
| <i>i30</i>               | 0                                | 1109                             | 22798                         | 0                        | 0                                | 0                                | 15181                         | 0                        |
| <i>i31</i>               | 0                                | 0                                | 1934                          | 0                        | 0                                | 0                                | 1399                          | 0                        |
| <i>i32</i>               | 0                                | 4193                             | 16665                         | 0                        | 0                                | 0                                | 13019                         | 0                        |
| <i>i33</i>               | 0                                | 6880                             | 15468                         | 0                        | 0                                | 0                                | 11761                         | 0                        |
| <i>i34</i>               | 7310                             | 0                                | 11164                         | 0                        | 0                                | 0                                | 9130                          | 0                        |
| <i>i35</i>               | 430                              | 0                                | 7115                          | 0                        | 0                                | 0                                | 4541                          | 0                        |
| <i>i36</i>               | 2400                             | 0                                | 4752                          | 0                        | 0                                | 0                                | 3509                          | 0                        |
| <i>i37</i>               | 392                              | 273                              | 0                             | 3096                     | 0                                | 0                                | 0                             | 4942                     |
| <i>i38</i>               | 700                              | 0                                | 3526                          | 0                        | 0                                | 0                                | 780                           | 0                        |
| <i>i39</i>               | 3000                             | 0                                | 0                             | 4439                     | 0                                | 0                                | 0                             | 15565                    |
| <i>i40</i>               | 175                              | 525                              | 5589                          | 0                        | 0                                | 0                                | 2649                          | 0                        |
| <b>Total</b>             | <b>34035</b>                     | <b>24537</b>                     | <b>161670</b>                 | <b>49535</b>             | <b>0</b>                         | <b>0</b>                         | <b>110667</b>                 | <b>85338</b>             |

Figura 4.2 - Estoque do produto  $i$  em caixas no período de tempo  $t$  na instância 1 - planejamento prévio.



Considerando a Figura 4.3 verifica-se que o modelo se comportou dentro do planejado, visto que as carretas são recebidas de forma a minimizar a falta de estoque e atender a demanda.

Figura 4.3 - Resultado da função objetivo, falta de estoque em caixas de produtos, no período de tempo  $t$  da instância 1 - planejamento prévio.



No entanto, considerando o cenário real da empresa isso não foi o que realmente aconteceu, uma vez que em função da necessidade de recebimento de mais carretas a empresa acabou por disponibilizar mais janelas extras nos dias 26 e 27. Neste sentido, a segunda parte deste problema considera o cenário do replanejamento com as janelas adicionais praticadas pela empresa e posteriormente, na abordagem para minimizar os custos (próximo capítulo deste trabalho), o custo destas janelas extras serão contabilizados no modelo.

Desta forma, no replanejamento, como pode ser visto na Tabela 4.1, no dia 26 do mês foram agendadas para carga paletizada 10 janelas e no dia 27 mais 7 janelas agendadas, ou seja, comparando com o cenário anterior foram 3 janelas extras no dia 26 e 7 janelas extras dia 27. Do mesmo modo, como mencionado no planejamento prévio, no dia 26 existiam 13 carretas aguardando para descarregar e dia 27 mais 7 carretas chegaram para ser também descarregadas, um total de 20 carretas. Todas elas com tempo de descarregamento de 3 horas cada (carga paletizada), de duas origens diferentes e com a mesma disponibilidade por períodos já apresentada na Tabela 4.2.

Além disso, as informações referentes aos produtos apresentados no planejamento prévio também são válidas para o replanejamento, ou seja, os produtos existentes nas carretas

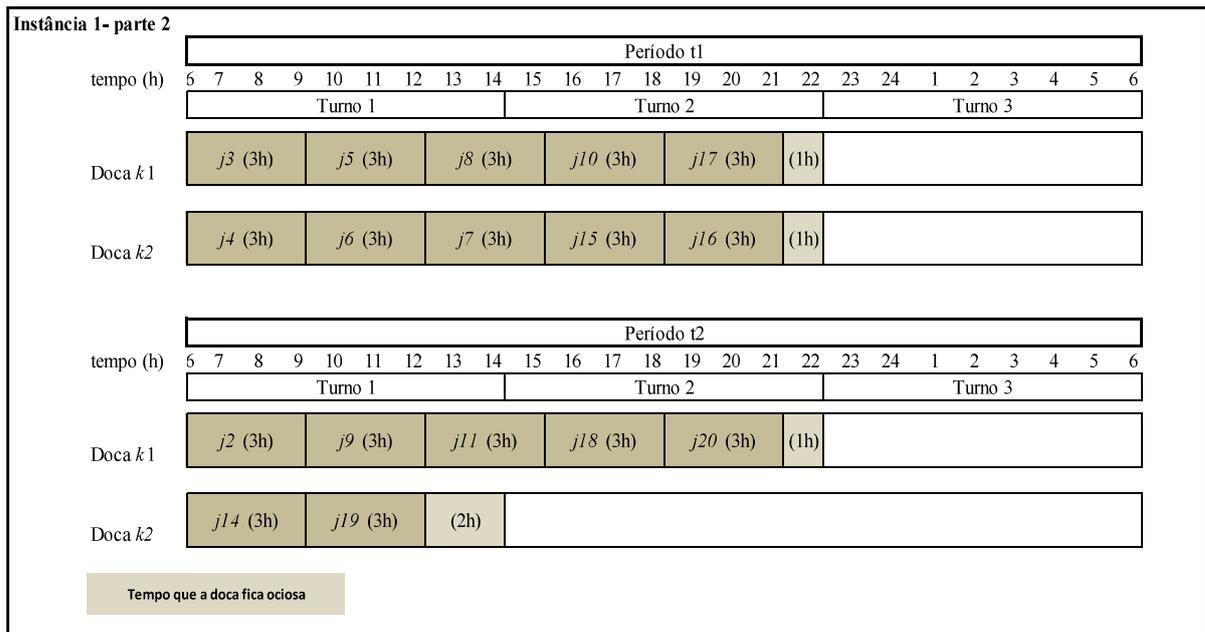
estão na Tabela 4.3 e a demanda e o estoque na Tabela 4.4. Em contrapartida, a disponibilidade das docas é diferente, segundo informações da empresa no replanejamento existiam 2 docas operando, sendo que a primeira doca opera em dois turnos (16h) nos dois períodos e a segunda doca opera no primeiro período em dois turnos (16h) e no segundo período apenas em um turno (8h), conforme Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Horário de operação das docas para modelagem da instância 1 – replanejamento.

| Instância 1 – parte 2 | Horário de operação das docas |        |        |
|-----------------------|-------------------------------|--------|--------|
|                       | Docas                         | t1 (h) | t2 (h) |
| $k1$                  |                               | 16     | 16     |
| $k2$                  |                               | 16     | 8      |

Como resultado, do problema no cenário do replanejamento, o tempo de processamento computacional foi de 1.823 segundos e o modelo encontrou a solução ótima de 107835 caixas faltantes. Na Figura 4.4, é apresentado o plano de recebimento no CD proposto pelo modelo, assim como as horas utilizadas em cada uma das docas para o recebimento. Sendo que os espaços em cinza claro são as horas que as docas ficam ociosas, já que não permitido descarregamento parcial de carretas no modelo. Adicional a isso, os espaços em branco correspondem aos períodos em que a doca não está em operação.

Figura 4.4 - Resultado do modelo desenvolvido para instância real 1 – replanejamento.

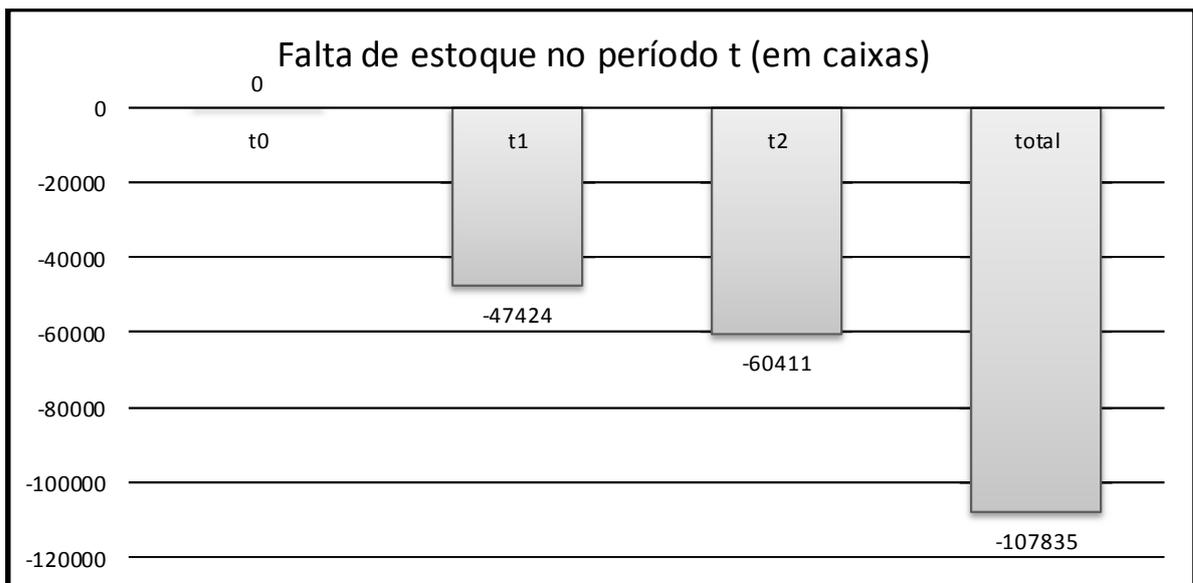


Como também pode ser visto na Figura 4.4, não é possível efetuar o recebimento das 20 carretas com apenas 2 docas, operando dois períodos uma em dois turnos e uma em um turno. Desta forma, das 20 carretas disponíveis 17 foram recebidas, ficando sem receber apenas 3 carretas:  $j1, j12$  e  $j13$ .

O modelo se comportou adequadamente já que a capacidade total em tempo de cada uma das docas não foi ultrapassada, apenas restando tempo ociosa de 1h nas docas  $k1$  e  $k2$  no primeiro período e 1h na doca  $k1$  e 2h na doca  $k2$  no segundo período.

A Figura 4.5 apresenta a falta de estoque em cada um dos períodos e verifica-se que o modelo se comportou dentro do planejado, visto que as carretas são recebidas de forma a minimizar a falta de estoque e atender a demanda.

Figura 4.5 - Resultado da função objetivo, falta de estoque, no período de tempo  $t$  da instância 1 - replanejamento.



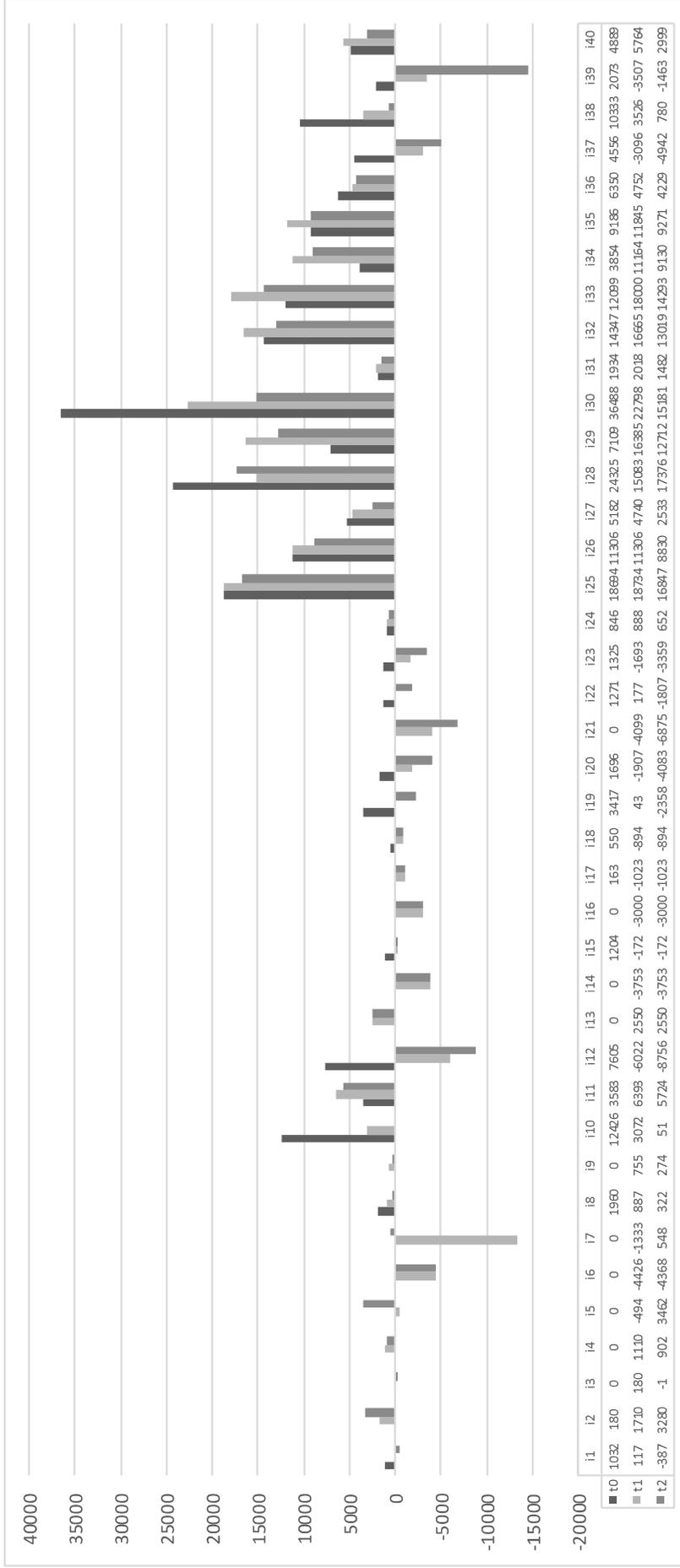
Adicional a isso, a tabela 4.8 apresenta os resultados gerados pelo modelo para a quantidade recebida por doca, o estoque e a falta de cada produto nos períodos  $t1$  e  $t2$ . Isso fica mais nítido observando a Figura 4.6, onde pode ser visto o estoque de cada produto  $i$  nos tempos  $t0$ ,  $t1$  e  $t2$ .

Também, é possível notar com a tabela 4.8 que mesmo com o recebimento de carretas durante o período  $t1$  e  $t2$ , o valor de estoque total no período  $t1$  é maior do que o período  $t2$ , uma vez que o estoque final não apenas sofre influência das carretas recebidas, mas também da demanda de produto em cada período.

Tabela 4.8 - Estoque recebido e resultantes do modelo desenvolvido para a instância 1 - replanejamento.

| Instância 1<br>- parte 2 | Período $t1$                     |                                  |                               |                             | Período $t2$                     |                                  |                               |                             |
|--------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
|                          | Recebido<br>doca k1<br>em caixas | Recebido<br>doca k2<br>em caixas | Estoque<br>final em<br>caixas | Falta<br>final em<br>caixas | Recebido<br>doca k1<br>em caixas | Recebido<br>doca k2<br>em caixas | Estoque<br>final em<br>caixas | Falta<br>final em<br>caixas |
| <i>i1</i>                | 312                              | 0                                | 117                           | 0                           | 0                                | 0                                | 0                             | 387                         |
| <i>i2</i>                | 1530                             | 0                                | 1710                          | 0                           | 2340                             | 0                                | 3280                          | 0                           |
| <i>i3</i>                | 0                                | 180                              | 180                           | 0                           | 0                                | 0                                | 0                             | 1                           |
| <i>i4</i>                | 0                                | 1110                             | 1110                          | 0                           | 0                                | 0                                | 902                           | 0                           |
| <i>i5</i>                | 0                                | 0                                | 0                             | 494                         | 5600                             | 484                              | 3462                          | 0                           |
| <i>i6</i>                | 0                                | 0                                | 0                             | 4426                        | 3386                             | 0                                | 0                             | 4368                        |
| <i>i7</i>                | 0                                | 0                                | 0                             | 13338                       | 5600                             | 10300                            | 548                           | 0                           |
| <i>i8</i>                | 504                              | 0                                | 887                           | 0                           | 0                                | 0                                | 322                           | 0                           |
| <i>i9</i>                | 0                                | 3158                             | 755                           | 0                           | 0                                | 0                                | 274                           | 0                           |
| <i>i10</i>               | 0                                | 2944                             | 3072                          | 0                           | 0                                | 0                                | 51                            | 0                           |
| <i>i11</i>               | 2830                             | 0                                | 6393                          | 0                           | 1656                             | 344                              | 5724                          | 0                           |
| <i>i12</i>               | 480                              | 72                               | 0                             | 6022                        | 480                              | 0                                | 0                             | 8756                        |
| <i>i13</i>               | 0                                | 2550                             | 2550                          | 0                           | 0                                | 0                                | 2550                          | 0                           |
| <i>i14</i>               | 0                                | 213                              | 0                             | 3753                        | 0                                | 0                                | 0                             | 3753                        |
| <i>i15</i>               | 0                                | 14                               | 0                             | 172                         | 0                                | 0                                | 0                             | 172                         |
| <i>i16</i>               | 0                                | 91                               | 0                             | 3000                        | 0                                | 0                                | 0                             | 3000                        |
| <i>i17</i>               | 0                                | 302                              | 0                             | 1023                        | 0                                | 0                                | 0                             | 1023                        |
| <i>i18</i>               | 0                                | 264                              | 0                             | 894                         | 0                                | 0                                | 0                             | 894                         |
| <i>i19</i>               | 900                              | 0                                | 43                            | 0                           | 0                                | 0                                | 0                             | 2358                        |
| <i>i20</i>               | 0                                | 1075                             | 0                             | 1907                        | 0                                | 0                                | 0                             | 4083                        |
| <i>i21</i>               | 2160                             | 1170                             | 0                             | 4099                        | 0                                | 0                                | 0                             | 6875                        |
| <i>i22</i>               | 231                              | 2404                             | 177                           | 0                           | 0                                | 0                                | 0                             | 1807                        |
| <i>i23</i>               | 1694                             | 0                                | 0                             | 1693                        | 450                              | 0                                | 0                             | 3359                        |
| <i>i24</i>               | 630                              | 463                              | 888                           | 0                           | 270                              | 0                                | 652                           | 0                           |
| <i>i25</i>               | 3884                             | 0                                | 18734                         | 0                           | 425                              | 0                                | 16847                         | 0                           |
| <i>i26</i>               | 0                                | 0                                | 11306                         | 0                           | 1548                             | 0                                | 8830                          | 0                           |
| <i>i27</i>               | 419                              | 425                              | 4740                          | 0                           | 0                                | 0                                | 2533                          | 0                           |
| <i>i28</i>               | 2550                             | 0                                | 15083                         | 0                           | 5827                             | 0                                | 17376                         | 0                           |
| <i>i29</i>               | 4546                             | 4730                             | 16385                         | 0                           | 0                                | 0                                | 12712                         | 0                           |
| <i>i30</i>               | 0                                | 1109                             | 22798                         | 0                           | 0                                | 0                                | 15181                         | 0                           |
| <i>i31</i>               | 84                               | 0                                | 2018                          | 0                           | 0                                | 0                                | 1482                          | 0                           |
| <i>i32</i>               | 0                                | 4193                             | 16665                         | 0                           | 0                                | 0                                | 13019                         | 0                           |
| <i>i33</i>               | 2532                             | 6880                             | 18000                         | 0                           | 0                                | 0                                | 14293                         | 0                           |
| <i>i34</i>               | 7310                             | 0                                | 11164                         | 0                           | 0                                | 0                                | 9130                          | 0                           |
| <i>i35</i>               | 5160                             | 0                                | 11845                         | 0                           | 0                                | 0                                | 9271                          | 0                           |
| <i>i36</i>               | 2400                             | 0                                | 4752                          | 0                           | 720                              | 0                                | 4229                          | 0                           |
| <i>i37</i>               | 392                              | 273                              | 0                             | 3096                        | 0                                | 0                                | 0                             | 4942                        |
| <i>i38</i>               | 700                              | 0                                | 3526                          | 0                           | 0                                | 0                                | 780                           | 0                           |
| <i>i39</i>               | 932                              | 3000                             | 0                             | 3507                        | 0                                | 0                                | 0                             | 14633                       |
| <i>i40</i>               | 350                              | 525                              | 5764                          | 0                           | 175                              | 0                                | 2999                          | 0                           |
| Total                    | 42530                            | 37145                            | 180662                        | 47424                       | 28477                            | 11128                            | 146447                        | 60411                       |

Figura 4.6 - Estoque do produto  $i$  no período  $t$  (em caixas) da instância 1- replanejamento.



### 4.3.2 Experimentos computacionais com a Instância 2

Na instância 2, a Tabela 4.9 representa a distribuição de janelas para o período crítico do mês.

Tabela 4.9 - Distribuição de janelas por mês para operação de *inbound* – instância 2.

| INBOUNDS CD   |             | 23           | 24 | 25  | 26  | 27  | 29 | 30 | Total |     |
|---|-------------|--------------|----|-----|-----|-----|----|----|-------|-----|
| Janelas disponibilizadas (planejamento prévio)            |             | 23           | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 510   |     |
| Agendado  | Paletizados | Planta Ex 1  | 1  |     |     |     |    |    | 16    |     |
|   |             | Planta Ex 2  | 4  |     | 1   |     |    |    | 57    |     |
|   |             | Planta 1     | 4  |     | 5   | 2   |    |    | 107   |     |
|   |             | Planta 2     | 7  | 6   | 6   | 6   | 6  |    | 116   |     |
|   |             | Planta Ex 3  |    |     |     |     |    |    | 1     |     |
|   |             | <b>Total</b> | 16 | 6   | 12  | 8   | 6  | 0  | 0     | 297 |
|   | Estivado    | Importado    | 4  |     |     |     | 1  |    |       | 101 |
|   |             | Planta 6     | 8  |     | 13  | 7   | 7  |    |       | 113 |
|   |             | CD Ex 1      |    |     |     | 1   |    |    |       | 20  |
|   |             | CD 2         |    |     |     |     |    |    |       | 0   |
| <b>Total</b>  |             | 12           | 0  | 13  | 8   | 8   | 0  | 0  | 234   |     |
| <b>Total agendado (replanejamento)</b>                    |             | 28           | 6  | 25  | 16  | 14  | 0  | 0  | 531   |     |
| Janela perdida ou extra em relação ao planejamento prévio |             | -5           | -6 | -25 | -16 | -14 | 0  | 0  | -21   |     |
| Janelas efetivamente extras                               |             | 28           | 6  | 25  | 16  | 14  | 0  | 0  | 531   |     |
| Janelas efetivamente perdidas                             |             | 0            | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0     |     |
| <b>Janelas utilizadas efetivamente</b>                    |             | 28           | 6  | 25  | 16  | 14  | 0  | 0  | 531   |     |

Fonte: Dados coletados na empresa e compilados pelo autor, 2014.

Primeiramente, como pode ser visto na Tabela 4.9, nas janelas disponibilizadas para recebimento no início do mês, planejamento prévio, para os dias 25, 26 e 27 nenhuma janela havia sido disponibilizada. No entanto, atrasos e contratempos que aconteceram ao longo do mês, no dia 25 do mês existiam somente da origem (Planta 6) um total de 36 carretas no pátio aguardando para descarregar e nenhuma doca com janela disponível para *inbound*. Além disso, dentro destas 36 carretas haviam alguns produtos importantes para atender a demanda do mês.

Desta forma, o CD acabou por fazer o replanejamento e disponibilizar janelas extras para carga estivada e foram um total de 27 janelas extras, sendo 13 janelas para o dia 25 tinha, 7 janelas para o dia 26 e 7 janelas para o dia 27. Neste sentido, diferente da instância 1, nesta instância 2 a resolução do modelo já se inicia no cenário do replanejamento, onde temos janelas extras disponibilizadas. Uma vez que não faz sentido resolver o cenário de planejamento prévio, sendo que nenhuma janela foi disponibilizada.

No entanto, como nem mesmo com estas 27 janelas extras seria o suficiente para receber todas as carretas que estão aguardando, a questão chave é determinar quais das 36 carretas devem ser descarregadas e em qual dia, sabendo que 9 carretas não seriam recebidas dentro do próprio mês.

Para isso, é sabido que todas as carretas têm tempo de descarregamento de 6 horas (carga estivada), são oriundas da mesma origem e que todas estão disponíveis desde o dia 25 (período  $t1$ ). Também, foi informado pela empresa a disponibilidades das docas, como pode ser visto na Tabela 4.10, sendo que as docas  $k1$  e  $k2$  operam nos três períodos (dias) em três turnos, a doca  $k3$  opera apenas no primeiro período em três turnos e a doca  $k4$  opera somente no primeiro período e apenas no primeiro turno.

Tabela 4.10 - Horário de operação das docas para modelagem da instância 2.

| Instância 2 | Tempo de operação das docas por período (horas) |      |      |
|-------------|---|------|------|
|             | $t1$  | $t2$ | $t3$ |
| $k1$        | 24  | 24   | 24   |
| $k2$        | 24  | 24   | 16   |
| $k3$        | 24  |      |      |
| $k4$        | 8   |      |      |

Além disso, são conhecidos os produtos existentes em cada uma das carretas e as suas respectivas quantidades, um total de 30 produtos, conforme apresentado na Tabela 4.11.

Tabela 4.11 - Quantidade de produto em caixas na carreta em caixas para instância 2.

| Instância Real 2 | Carretas | Produtos i |      |     |    |    |    |    |    |    |      |     |     |     |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |
|------------------|----------|------------|------|-----|----|----|----|----|----|----|------|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|
|                  |          | i1         | i2   | i3  | i4 | i5 | i6 | i7 | i8 | i9 | i10  | i11 | i12 | i13 | i14  | i15  | i16 | i17 | i18 | i19 | i20 | i21 | i22 | i23 | i24 | i25 | i26 | i27 | i28 | i29 | i30 |   |
|                  | j1       | 690        | 0    | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j2       | 30         | 0    | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 2860 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j3       | 750        | 0    | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j4       | 630        | 0    | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1482 | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j5       | 0          | 0    | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j6       | 180        | 0    | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j7       | 450        | 0    | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 2184 | 4680 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j8       | 600        | 0    | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j9       | 720        | 0    | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 96  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j10      | 630        | 0    | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j11      | 0          | 1404 | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0   | 252 | 0   | 90  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j12      | 0          | 0    | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j13      | 690        | 0    | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j14      | 0          | 0    | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j15      | 300        | 0    | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j16      | 630        | 0    | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j17      | 0          | 0    | 624 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j18      | 450        | 468  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j19      | 0          | 468  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j20      | 0          | 936  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j21      | 0          | 0    | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j22      | 0          | 0    | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j23      | 0          | 1248 | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j24      | 0          | 0    | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j25      | 540        | 0    | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j26      | 360        | 0    | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j27      | 1260       | 0    | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j28      | 0          | 624  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j29      | 750        | 1716 | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j30      | 0          | 0    | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j31      | 180        | 0    | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j32      | 600        | 0    | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j33      | 0          | 1092 | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j34      | 0          | 1092 | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j35      | 0          | 1092 | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |
|                  | j36      | 0          | 1248 | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |

Quantidade do produto i na carreta j em caixas

Os dados de demanda e posição de estoque para cada um dos 30 produtos em cada período de tempo são apresentados na Tabela 4.12.

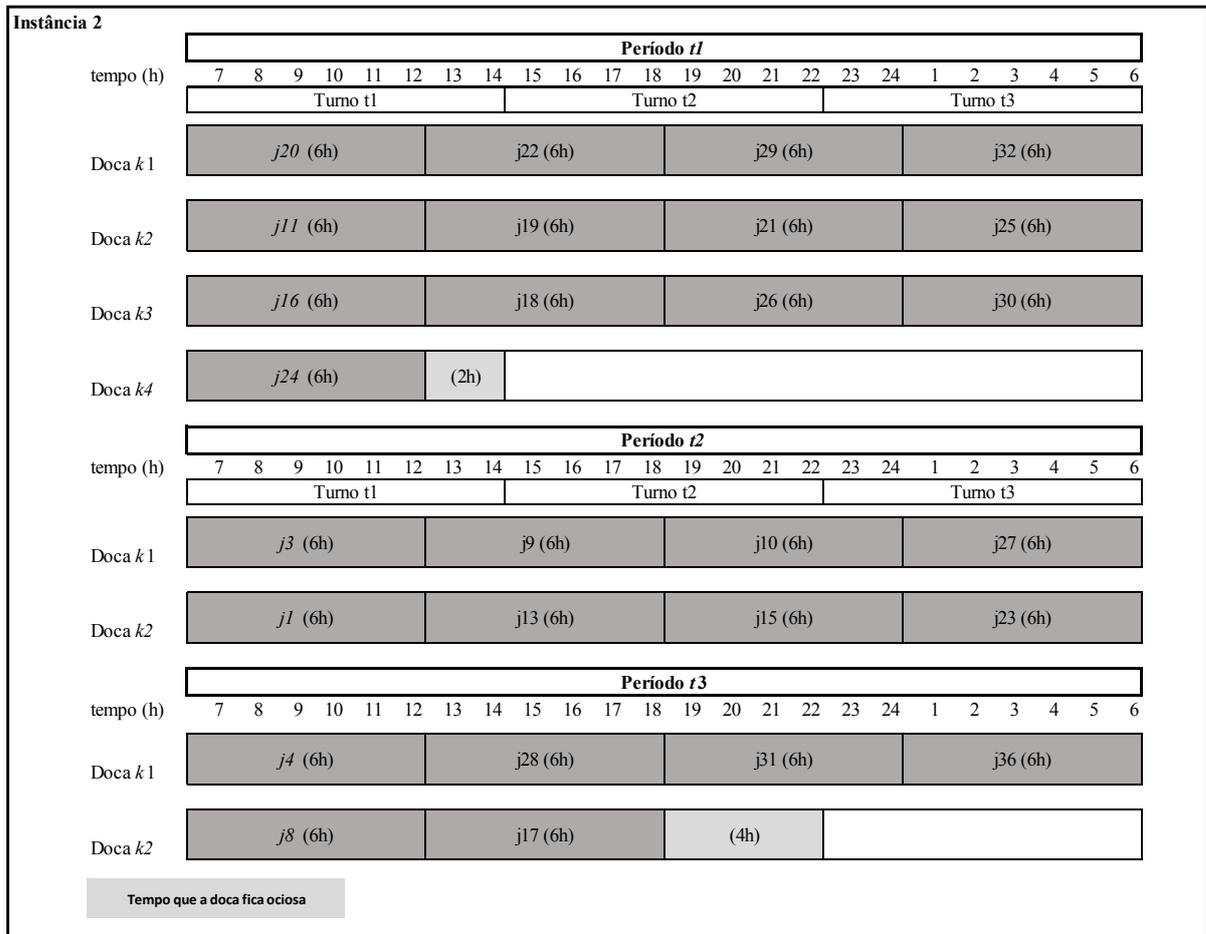
Tabela 4.12 - Informação sobre os produtos em caixas para instância 2.

| Instância 2 |                           |                         | Demanda do produto em caixa por períodos |       |       |
|-------------|---------------------------|-------------------------|--|-------|-------|
| Produto     | Estoque inicial em caixas | Falta inicial em caixas | t1(h)                                    | t2(h) | t3(h) |
| <i>i1</i>   | 16625                     | 0                       | 15018                                    | 10012 | 814   |
| <i>i2</i>   | 12214                     | 0                       | 10082                                    | 6722  | 3415  |
| <i>i3</i>   | 1458                      | 0                       | 440                                      | 293   | 147   |
| <i>i4</i>   | 12035                     | 0                       | 2874                                     | 1916  | 1028  |
| <i>i5</i>   | 2194                      | 0                       | 163                                      | 108   | 76    |
| <i>i6</i>   | 3372                      | 0                       | 0  | 0     | 149   |
| <i>i7</i>   | 789                       | 0                       | 1302                                     | 868   | 462   |
| <i>i8</i>   | 4204                      | 0                       | 2114                                     | 1409  | 1317  |
| <i>i9</i>   | 13500                     | 0                       | 6583                                     | 4389  | 3869  |
| <i>i10</i>  | 6105                      | 0                       | 2819                                     | 1879  | 2022  |
| <i>i11</i>  | 2997                      | 0                       | 137                                      | 92    | 231   |
| <i>i12</i>  | 3516                      | 0                       | 0  | 0     | 768   |
| <i>i13</i>  | 7020                      | 0                       | 0  | 0     | 556   |
| <i>i14</i>  | 10751                     | 0                       | 0  | 0     | 2284  |
| <i>i15</i>  | 7734                      | 0                       | 0  | 0     | 2655  |
| <i>i16</i>  | 4721                      | 0                       | 1092                                     | 728   | 475   |
| <i>i17</i>  | 3243                      | 0                       | 0  | 0     | 0     |
| <i>i18</i>  | 7395                      | 0                       | 1233                                     | 822   | 728   |
| <i>i19</i>  | 3855                      | 0                       | 5245                                     | 3497  | 1974  |
| <i>i20</i>  | 2712                      | 0                       | 2187                                     | 1458  | 659   |
| <i>i21</i>  | 2186                      | 0                       | 317                                      | 211   | 136   |
| <i>i22</i>  | 263                       | 0                       | 148                                      | 99    | 87    |
| <i>i23</i>  | 1915                      | 0                       | 302                                      | 202   | 163   |
| <i>i24</i>  | 1003                      | 0                       | 154                                      | 102   | 57    |
| <i>i25</i>  | 1095                      | 0                       | 0  | 0     | 117   |
| <i>i26</i>  | 660                       | 0                       | 0  | 0     | 138   |
| <i>i27</i>  | 17039                     | 0                       | 2506                                     | 1671  | 1343  |
| <i>i28</i>  | 7877                      | 0                       | 9994                                     | 6662  | 5115  |
| <i>i29</i>  | 8481                      | 0                       | 1614                                     | 1076  | 653   |
| <i>i30</i>  | 3593                      | 0                       | 1024                                     | 682   | 518   |

Como resultado, o tempo de processamento computacional foi de 1.892 segundos e o modelo encontrou a solução ótima de 13148 caixas faltantes. Na Figura 4.7, é apresentado o plano de recebimento no CD proposto pelo modelo, assim como as horas utilizadas em cada

uma das docas para o recebimento. Sendo que os espaços em cinza claro são as horas que as docas ficam ociosas, já que não é permitido descarregamento parcial de carretas no modelo. Adicional a isso, os espaços em branco correspondem aos períodos em que a doca não está em operação.

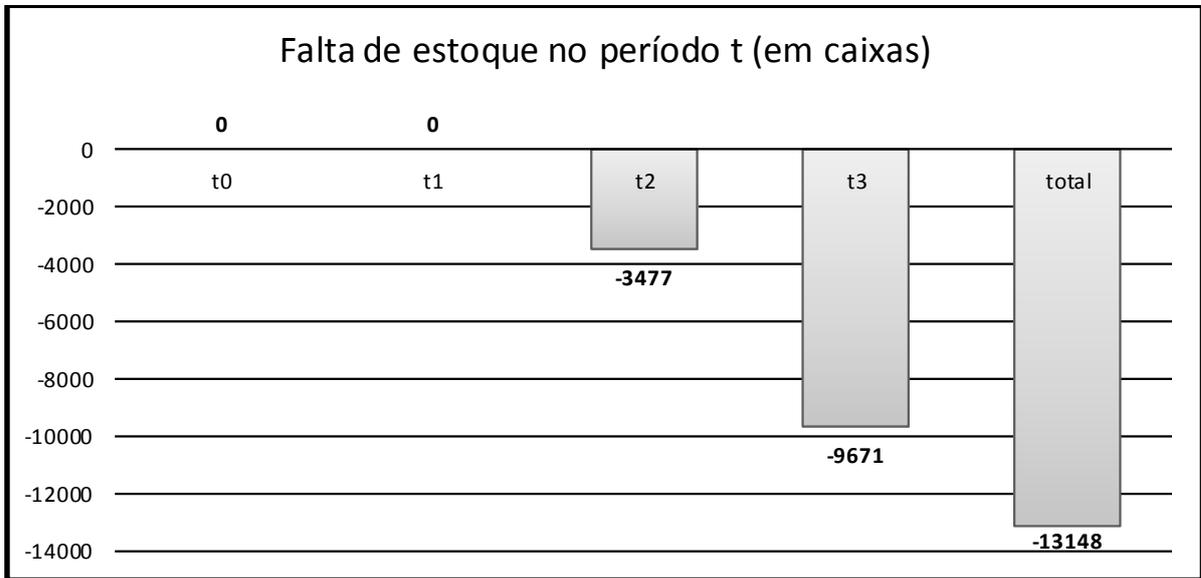
Figura 4.7 - Resultado do modelo desenvolvido para instância 2.



Como também pode ser visto na Figura 4.7, não é possível efetuar o recebimento das 36 carretas com a disponibilidade de docas que a empresa fez. Desta forma, das 36 carretas disponíveis apenas 27 carretas foram recebidas, ficando sem receber 9 carretas:  $j2$ ,  $j5$ ,  $j6$ ,  $j7$ ,  $j12$ ,  $j14$ ,  $j33$ ,  $j34$  e  $j35$ . O modelo se comportou adequadamente já que a capacidade total em tempo de cada uma das docas não foi ultrapassada, apenas restando tempo ocioso de 2h na doca  $k4$  no primeiro período e 4h na doca  $k2$  no terceiro período.

A Figura 4.8 apresenta o valor da falta de estoque de produto em cada um dos períodos e verifica-se que o modelo se comportou dentro do planejado, visto que as carretas são recebidas de forma a minimizar a falta de estoque e atender a demanda.

Figura 4.8 - Resultado da função objetivo, falta de estoque, no período de tempo  $t$  da instância 2.

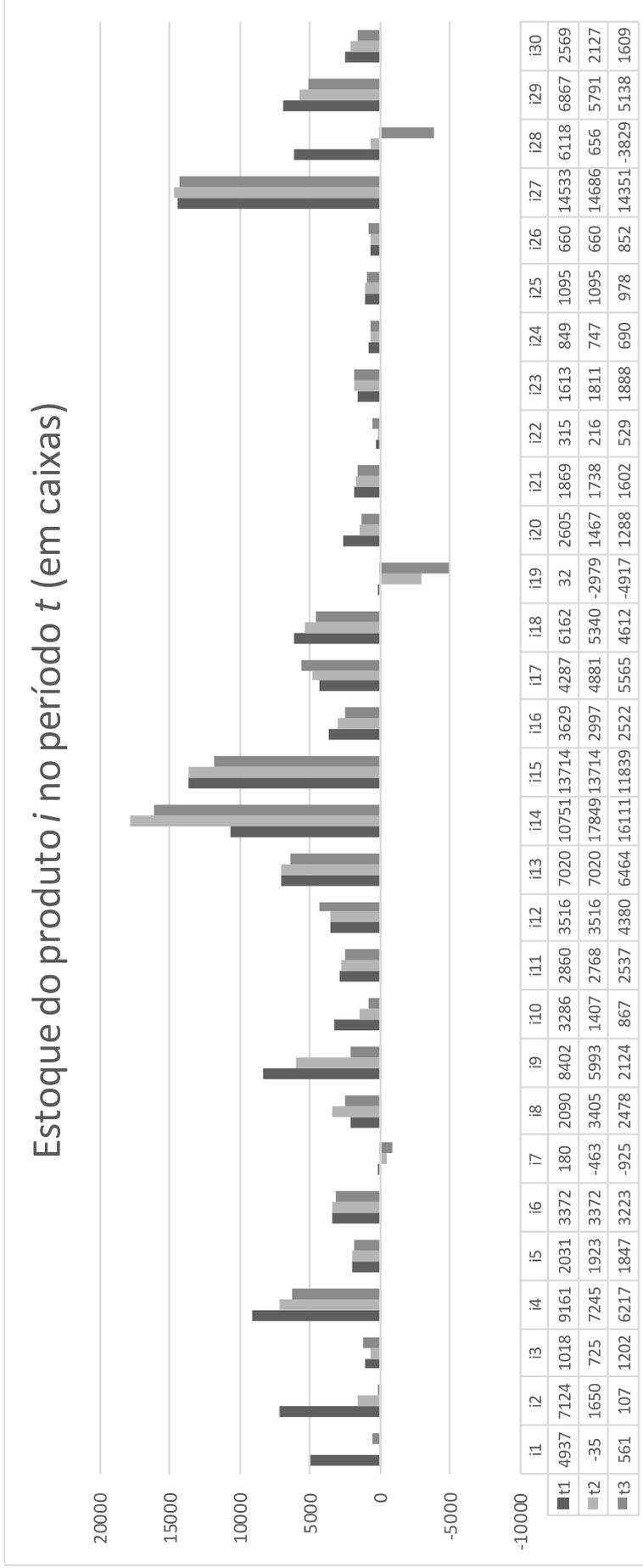


Adicional a isso, a Tabela 4.13 apresenta os resultados gerados pelo modelo para a quantidade recebida por doca, o estoque e a falta de cada produto nos períodos  $t1$ ,  $t2$  e  $t3$ . Também, na Figura 4.9, podem ser vistos os estoques de cada produto  $i$  nos tempos  $t0$ ,  $t1$ ,  $t2$  e  $t3$ .

Tabela 4.13 - Estoque recebido e resultantes do modelo desenvolvido para a instância 2.

| Instância<br>2 | Período t1                       |                                  |                                  |                                  |                               |                                | Período t2                       |                                  |                               |                             |                                  |                                  | Período t3                    |                             |                                  |                                  |                               |                             |
|----------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
|                | Recebido<br>doca k1<br>em caixas | Recebido<br>doca k2<br>em caixas | Recebido<br>doca k3<br>em caixas | Recebido<br>doca k4<br>em caixas | Estoque<br>final em<br>caixas | Falta<br>final<br>em<br>caixas | Recebido<br>doca k1 em<br>caixas | Recebido<br>doca k2<br>em caixas | Estoque<br>final em<br>caixas | Falta<br>final em<br>caixas | Recebido<br>doca k1 em<br>caixas | Recebido<br>doca k2<br>em caixas | Estoque<br>final em<br>caixas | Falta<br>final em<br>caixas | Recebido<br>doca k1 em<br>caixas | Recebido<br>doca k2<br>em caixas | Estoque<br>final em<br>caixas | Falta<br>final<br>em caixas |
| i1             | 1350                             | 540                              | 1440                             | 0                                | 4937                          | 0                              | 3360                             | 1680                             | 0                             | 1872                        | 600                              | 561                              | 0                             | 810                         | 0                                | 0                                | 0                             |                             |
| i2             | 2652                             | 1872                             | 468                              | 0                                | 7124                          | 0                              | 0                                | 1248                             | 0                             | 1872                        | 0                                | 107                              | 0                             | 1872                        | 0                                | 0                                | 0                             |                             |
| i3             | 0                                | 0                                | 0                                | 0                                | 1018                          | 0                              | 0                                | 0                                | 0                             | 0                           | 624                              | 1202                             | 0                             | 0                           | 624                              | 0                                | 0                             |                             |
| i4             | 0                                | 0                                | 0                                | 0                                | 9161                          | 0                              | 0                                | 0                                | 0                             | 0                           | 0                                | 6217                             | 0                             | 0                           | 0                                | 0                                | 0                             |                             |
| i5             | 0                                | 0                                | 0                                | 0                                | 2031                          | 0                              | 0                                | 0                                | 0                             | 0                           | 0                                | 1847                             | 0                             | 0                           | 0                                | 0                                | 0                             |                             |
| i6             | 0                                | 0                                | 0                                | 0                                | 3372                          | 0                              | 0                                | 0                                | 0                             | 0                           | 0                                | 3223                             | 0                             | 0                           | 0                                | 0                                | 0                             |                             |
| i7             | 315                              | 270                              | 108                              | 0                                | 180                           | 0                              | 0                                | 225                              | 0                             | 0                           | 0                                | 0                                | 925                           | 0                           | 0                                | 0                                | 0                             |                             |
| i8             | 0                                | 0                                | 0                                | 0                                | 2090                          | 0                              | 2724                             | 0                                | 3405                          | 0                           | 390                              | 2478                             | 0                             | 0                           | 390                              | 2478                             | 0                             |                             |
| i9             | 1485                             | 0                                | 0                                | 0                                | 8402                          | 0                              | 1980                             | 0                                | 5993                          | 0                           | 0                                | 2124                             | 0                             | 0                           | 0                                | 2124                             | 0                             |                             |
| i10            | 0                                | 0                                | 0                                | 0                                | 3286                          | 0                              | 0                                | 0                                | 1407                          | 0                           | 1482                             | 867                              | 0                             | 1482                        | 0                                | 867                              | 0                             |                             |
| i11            | 0                                | 0                                | 0                                | 0                                | 2860                          | 0                              | 0                                | 0                                | 2768                          | 0                           | 0                                | 2537                             | 0                             | 0                           | 0                                | 2537                             | 0                             |                             |
| i12            | 0                                | 0                                | 0                                | 0                                | 3516                          | 0                              | 0                                | 0                                | 3516                          | 0                           | 1632                             | 4380                             | 0                             | 0                           | 1632                             | 4380                             | 0                             |                             |
| i13            | 0                                | 0                                | 0                                | 0                                | 7020                          | 0                              | 0                                | 0                                | 7020                          | 0                           | 0                                | 6464                             | 0                             | 0                           | 0                                | 6464                             | 0                             |                             |
| i14            | 0                                | 0                                | 0                                | 0                                | 10751                         | 0                              | 4368                             | 2730                             | 17849                         | 0                           | 546                              | 16111                            | 0                             | 0                           | 546                              | 16111                            | 0                             |                             |
| i15            | 2080                             | 1300                             | 2600                             | 0                                | 13714                         | 0                              | 0                                | 0                                | 13714                         | 0                           | 780                              | 11839                            | 0                             | 780                         | 0                                | 11839                            | 0                             |                             |
| i16            | 0                                | 0                                | 0                                | 0                                | 3629                          | 0                              | 96                               | 0                                | 2997                          | 0                           | 0                                | 2522                             | 0                             | 0                           | 0                                | 2522                             | 0                             |                             |
| i17            | 306                              | 738                              | 0                                | 0                                | 4287                          | 0                              | 396                              | 198                              | 4881                          | 0                           | 684                              | 5565                             | 0                             | 684                         | 0                                | 5565                             | 0                             |                             |
| i18            | 0                                | 0                                | 0                                | 0                                | 6162                          | 0                              | 0                                | 0                                | 5340                          | 0                           | 0                                | 4612                             | 0                             | 0                           | 0                                | 4612                             | 0                             |                             |
| i19            | 540                              | 288                              | 414                              | 180                              | 32                            | 0                              | 108                              | 378                              | 0                             | 2979                        | 0                                | 4917                             | 0                             | 36                          | 0                                | 0                                | 4917                          |                             |
| i20            | 1328                             | 384                              | 160                              | 208                              | 2605                          | 0                              | 0                                | 320                              | 1467                          | 0                           | 480                              | 1288                             | 0                             | 480                         | 0                                | 1288                             | 0                             |                             |
| i21            | 0                                | 0                                | 0                                | 0                                | 1869                          | 0                              | 0                                | 80                               | 1738                          | 0                           | 0                                | 1602                             | 0                             | 0                           | 0                                | 1602                             | 0                             |                             |
| i22            | 200                              | 0                                | 0                                | 0                                | 315                           | 0                              | 0                                | 0                                | 216                           | 0                           | 400                              | 529                              | 0                             | 400                         | 0                                | 529                              | 0                             |                             |
| i23            | 0                                | 0                                | 0                                | 0                                | 1613                          | 0                              | 0                                | 400                              | 1811                          | 0                           | 240                              | 1888                             | 0                             | 240                         | 0                                | 1888                             | 0                             |                             |
| i24            | 0                                | 0                                | 0                                | 0                                | 849                           | 0                              | 0                                | 0                                | 747                           | 0                           | 0                                | 690                              | 0                             | 0                           | 0                                | 690                              | 0                             |                             |
| i25            | 0                                | 0                                | 0                                | 0                                | 1095                          | 0                              | 0                                | 0                                | 1095                          | 0                           | 0                                | 978                              | 0                             | 0                           | 0                                | 978                              | 0                             |                             |
| i26            | 0                                | 0                                | 0                                | 0                                | 660                           | 0                              | 0                                | 0                                | 660                           | 0                           | 330                              | 852                              | 0                             | 0                           | 330                              | 852                              | 0                             |                             |
| i27            | 0                                | 0                                | 0                                | 0                                | 14533                         | 0                              | 432                              | 1392                             | 14686                         | 0                           | 1008                             | 14351                            | 0                             | 0                           | 1008                             | 14351                            | 0                             |                             |
| i28            | 1440                             | 2910                             | 3015                             | 870                              | 6118                          | 0                              | 0                                | 1200                             | 656                           | 0                           | 450                              | 0                                | 3829                          | 450                         | 180                              | 0                                | 3829                          |                             |
| i29            | 0                                | 0                                | 0                                | 0                                | 6867                          | 0                              | 0                                | 0                                | 5791                          | 0                           | 0                                | 5138                             | 0                             | 0                           | 0                                | 5138                             | 0                             |                             |
| i30            | 0                                | 0                                | 0                                | 0                                | 2569                          | 0                              | 0                                | 240                              | 2127                          | 0                           | 0                                | 1609                             | 0                             | 0                           | 0                                | 1609                             | 0                             |                             |
| Total          | 11696                            | 8302                             | 8205                             | 1258                             | 132665                        | 0                              | 13464                            | 10091                            | 114799                        | 3477                        | 7234                             | 101581                           | 9671                          | 7234                        | 5310                             | 101581                           | 9671                          |                             |

Figura 4.9 - Estoque do produto *i* em caixas no período *t* (em caixas) da instância 2.



## 5 ABORDAGEM PARA MINIMIZAR CUSTOS

Nesta seção é apresentada a segunda abordagem para o problema de priorização de *inbound* em centro de distribuição de uma empresa do setor de bens de consumo não duráveis. Esta segunda abordagem considera no modelo os custos da falta de estoque, os custos das horas extras e os custos da sobre-estadia de veículos. Assim como o capítulo anterior, este está organizado da seguinte maneira: primeiramente são apresentadas as considerações para modelagem, o modelo e finalmente, os resultados dos estudos.

### 5.1 CONSIDERAÇÕES PARA MODELAGEM

Para esta segunda abordagem é importante destacar algumas considerações:

- a) Em geral, a capacidade de recebimento em tempo para a operação de *inbound* é menor do que o tempo necessário para descarregar todas as carretas que estão aguardando;
- b) Cada carreta deve ser designada para o recebimento uma e apenas uma vez;
- c) A operação de recebimento das carretas uma vez iniciada não pode ser interrompida e não é permitido o recebimento de carretas com carga incompleta;
- d) Só pode iniciar o processamento de uma nova carreta se a carreta que estava sendo recebida anteriormente já tiver sido concluída.

O processo de designação de carretas envolve diversas questões, buscando uma forma de simplificar o problema, serão levados em consideração os seguintes fatores:

- Carretas idênticas: Assume-se que as carretas são todas idênticas, não havendo nenhuma especificação, ou seja, todas podem ser recebidas no CD.
- Dados conhecidos: O número de carretas aguardando para descarregar é conhecido, assim como os produtos contidos em cada carreta e as suas quantidades.
- Demanda dos produtos: as estimativas de demanda são dadas para cada período de tempo e são permitidos atrasos na entrega dos produtos, ou seja, quando a demanda é maior do que o estoque disponível haverá a falta de produtos;
- Capacidade: A capacidade de recebimento no CD é o tempo que o CD tem disponível em horas por período para operação de *inbound*.

- Tempo de processamento: O tempo de processamento da tarefa de recebimento varia em função de como os produtos estão dentro da carreta e, neste caso, serão considerados que todas as carretas estão 100% completas e as cargas podem ser: a carga estivada e carga paletizada com dois tempos fixos, sendo carga estivada tempo médio de 6 horas e paletizada 3 horas para descarregar.
- Períodos de tempo: cada período de tempo representa um dia do horizonte de planejamento (24 horas). No caso da empresa estudada é considerado horizonte de planejamento de até três dias. Este período não será maior, visto que algumas origens de produtos (fábricas responsáveis por alimentar o CD) ficam próximas do CD e só são conhecidos os produtos e quantidades que serão transferidas três dias antes do embarque.
- Sequenciamento: Não foi considerado o sequenciamento das carretas dentro de cada período de tempo, apenas a definição de quais carretas descarregar e não a ordem específica na qual cada uma delas deve ser recebida. Essa pressuposição é razoável, pois qualquer permutação na ordem das carretas dentro de um período não altera a solução final e pode flexibilizar as decisões a nível operacional.
- Sobre-estadia: é um valor fixo que é pago pela retenção / demora no recebimento das carretas, ou seja, se uma carreta estiver disponível no dia para ser descarregada e isso não acontecer é pago uma taxa por dia de retenção.
- Hora extra: taxa cobrada por hora adicional utilizada para manter a operação funcionando além do prazo determinado e existe uma quantidade máxima de hora extra para cada período de tempo.
- Custo pela falta de produto: segundo Falcão (2008, p. 17) relatou:

Produtos acabados: neste caso, o custo da falta é medido pela margem de contribuição de cada venda perdida pela indisponibilidade do produto (caso não seja possível o atendimento com atraso). Em outras palavras, a medida é o lucro que a empresa deixa de obter por não conseguir atender uma demanda existente. Nos casos de produtos com alta margem, o custo da falta tende a ser bastante significativo.

Além disso, o não atendimento de um pedido por falta de estoque pode acarretar em pagamento de uma multa ou até o cancelamento do pedido como um todo, reduzindo o volume de vendas e prejudicando a imagem da empresa. Este

problema acarretará um custo elevado e de difícil medição relacionado com a imagem, custos, confiabilidade, concorrência, etc. Neste sentido, para este trabalho o custo da falta de estoque será apenas o valor do lucro que a empresa perdeu de receber pela venda de um produto, apesar de saber que este valor é muito maior considerando o possível pagamento de multas, da perda de pedidos completos, a questão da imagem da empresa e satisfação do cliente, á que estes valores são difíceis de mensurar.

## 5.2 MODELO MATEMÁTICO

O modelo formulado será descrito considerando os seguintes parâmetros e dados:

### Índices:

$i$  Produtos existentes:  $i=1, 2, \dots, N$

$j$  Carretas para serem recebidas  $j=1, 2, \dots, J$

$t$  Período de tempo:  $t=1, 2, \dots, T$

Onde  $N$ ,  $J$  e  $T$  correspondem ao total de produtos, total de carretas e horizonte de planejamento, respectivamente.

### Parâmetros:

$I_{i0}$  Estoque inicial do produto  $i$  no início do horizonte de planejamento

$F_{i0}$  Falta inicial do produto  $i$  no início do horizonte de planejamento

$D_{it}$  Demanda do produto  $i$  no período de tempo  $t$

$P_i$  Custo unitário em caixas pela falta de estoque do produto  $i$

$A_{ij}$  Quantidade do produto  $i$  na carreta  $j$

$E_j$  Tempo para descarregamento da carreta  $j$

$Y_{jt}$  Parâmetro binário que indica se carreta  $j$  está disponível no tempo  $t$  ( $Y_{jt} = 1$ ) ou não ( $Y_{jt} = 0$ )

$C_t$  Tempo disponível (Capacidade em horas) no período  $t$

$Om_t$  Horas extras máximas permitidas por período  $t$

$q$  Custo unitário de hora extra no período  $t$

$s$  Custo de sobre-estadia da carreta por período de tempo.

### Variáveis

$I_{it}$  Estoque do produto  $i$  no final do período  $t$

$F_{it}$  Falta do produto  $i$  no final do período  $t$

$O_t$  Quantidade de horas extras utilizadas no período  $t$ .

$X_{jt} = \begin{cases} 1, & \text{se carreta } j \text{ foi selecionada p/ descarregar no período de tempo } t \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

$G_{jt} = \begin{cases} 1, & \text{se carreta } j \text{ fica sobre – estadia no período de tempo } t \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

$$\text{Min} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T F_{it} \times P_i + \sum_{t=1}^T q O_t + \sum_{t=1}^T G_{jt} s \quad (5.1)$$

Sujeito a:

$$I_{it} - F_{it} = I_{i,t-1} - F_{i,t-1} + \sum_{j=1}^J A_{ij} \sum_{k=1}^K X_{jt} - D_{it} \quad i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T \quad (5.2)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{jt} \leq 1 \quad j = 1, \dots, J \quad (5.3)$$

$$\sum_{j=1}^J E_j X_{jt} \leq C_t + O_t \quad t = 1, \dots, T \quad (5.4)$$

$$G_{jt} \geq Y_{jt} - \sum_{t'=1}^t X_{jt'} \quad j = 1, \dots, J; t = 1, \dots, T \quad (5.5)$$

$$X_{jt} \leq Y_{jt} \quad j = 1, \dots, J; t = 1, \dots, T \quad (5.6)$$

$$O_t \leq Om_t \quad t = 1, \dots, T \quad (5.7)$$

$$I_{it}, F_{it}, O_t \geq 0; X_{jt} e G_{jt} \in \{1,0\} \quad i = 1, \dots, I; j = 1, \dots, J t = 1, \dots, T \quad (5.8)$$

A função objetivo (5.1) visa à minimização dos custos totais da priorização de veículos, que consistem nos custos da falta de estoque dos produtos na primeira parcela, custos de utilização de horas extras na segunda parcela e na terceira parcela o custo da sobre-estadia dos veículos.

A equação (5.2) corresponde à restrição de balanceamento de estoques, que relaciona as unidades recebidas de cada produto da carreta, sua demanda e os níveis de estoque, que inclui a possibilidade de não atendimento da demanda através de estoques negativos ( $F_{it}$ ). A quantidade recebida de cada produto é obtida através de suas respectivas quantidades em cada carreta descarregada.

A restrição (5.3) garante que cada carreta pode ser designada somente uma vez, e que nem todas as carretas precisam ser designadas, uma vez que se considera que o número de veículos aguardando para descarregar nos períodos de pico em geral é maior do que a capacidade disponível para recebê-los.

A desigualdade (5.4) define que a soma dos tempos individuais de processamento de cada carreta (tempo de descarregamento), não deve ser superior à quantidade disponível de tempo (horas normais  $C_t$ ), mais o número de horas extras necessárias  $O_t$ .

A restrição (5.5) garante que a taxa de sobre-estadia só será cobrada se a carreta não for descarregada ( $X_{jt} = 0$ ) e estiver disponível naquele período ( $Y_{jt} = 1$ ).

A restrição (5.6) relaciona a variável que determina se a carreta foi selecionada para descarregar ou não em determinado período com o parâmetro binário de disponibilidade da carreta para descarregar, de modo que garante que para uma carreta ser selecionada para descarregar em determinado período ( $X_{jt} = 1$ ), ela deverá necessariamente estar disponível neste período ( $Y_{jt} = 1$ ).

A restrição (5.7) refere-se ao máximo de horas extras permitido por período de tempo. No presente estudo de caso, o número máximo de horas extras está tanto relacionado com às metas de planejamento estratégico da empresa quanto com as leis trabalhistas. No entanto, como a operação do CD em questão é feita por um operador logístico e que na maioria das vezes o controle da equipe de trabalho e dos seus horários são definidos por eles, isso possibilita uma maior flexibilidade.

Finalmente, as equações (5.8) definem o domínio das variáveis do modelo.

### 5.3 RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS

Os experimentos computacionais, assim como a etapa de coleta de dados foram executadas da mesma maneira que a abordagem para minimizar a falta de estoque. Além disso, os dados utilizados nas duas instâncias reais apresentadas a seguir também são os mesmos, exceto os dados referentes a docas que não são utilizados nesta abordagem e alguns novos dados que são acrescentados. Os dados acrescentados são os referentes a custos: custo

unitário em caixas pela falta de estoque do produto, custo unitário de hora extra, número máximo de hora extra por período de tempo e custo de sobre-estadia de veículos.

### 5.3.1 Experimentos computacionais com Instância 1

Para instância 1 é utilizado o mesmo cenário da primeira abordagem (Tabela 4.1) considerando o planejamento prévio, com a mesma disponibilidade de carretas (Tabela 4.2), mesma distribuição de produtos nas carretas (Tabela 4.3) e mesmas informações sobre os produtos (Tabela 4.4). Adicional a isso temos:

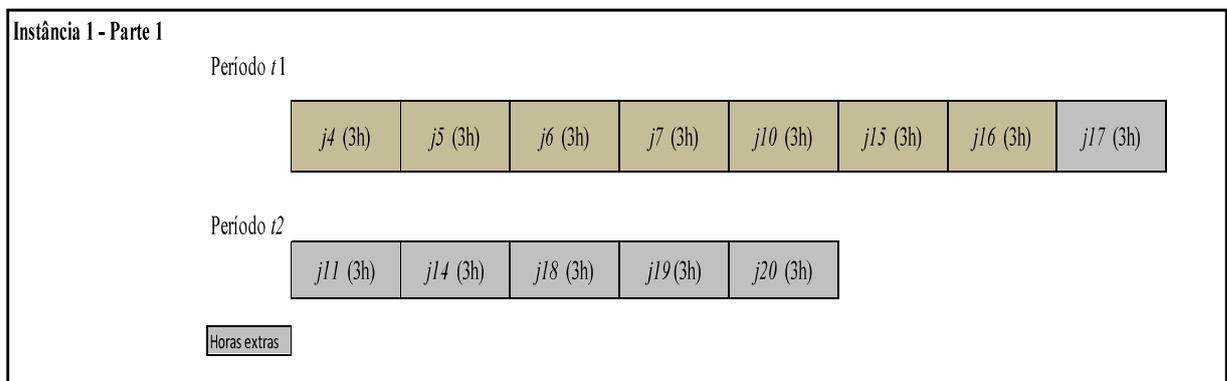
- Tempo disponível (Capacidade em horas), na primeira parte desta instância, temos apenas 7 janelas de carga paletizada no dia 26 apenas, ou seja, 21 horas disponíveis no período ( $t_1$ ),  $C_{t_1} = 21$  e, para o dia 27 nenhuma janela disponível  $C_{t_2} = 0$ .
- Hora extra máxima por período de tempo, foi considerado o maior número de janelas extras que o CD disponibilizou no replanejamento e neste cenário 7 janelas extras disponíveis no dia 27, sendo que cada uma delas equivale a 3 horas, ou seja, temos um total de  $Om_t = 21$  horas por período;
- Custo unitário de hora extra,  $q = R\$ 1.500,00$ .
- Custo de sobre-estadia da carreta,  $s = R\$ 750,00$ .
- Na Tabela 5.1, custo da falta de estoque do produto ( $P_i$ ):

Tabela 5.1 - Custo da falta de estoque de produto ( $P_i$ ) da instância 1.

| Instância 1 |   |            |   |
|-------------|---|------------|---|
| Produtos    | Custo da falta de estoque de produto ( $P_i$ ) em Reais por caixa | Produtos   | Custo da falta de estoque de produto ( $P_i$ ) em Reais por caixa |
| <i>i1</i>   | R\$ 0,32  | <i>i21</i> | R\$ 2,00  |
| <i>i2</i>   | R\$ 2,00  | <i>i22</i> | R\$ 2,00  |
| <i>i3</i>   | R\$ 2,00  | <i>i23</i> | R\$ 2,00  |
| <i>i4</i>   | R\$ 2,00  | <i>i24</i> | R\$ 2,00  |
| <i>i5</i>   | R\$ 14,00   | <i>i25</i> | R\$ 4,67  |
| <i>i6</i>   | R\$ 14,00   | <i>i26</i> | R\$ 4,67  |
| <i>i7</i>   | R\$ 14,00   | <i>i27</i> | R\$ 4,67  |
| <i>i8</i>   | R\$ 19,00   | <i>i28</i> | R\$ 4,67  |
| <i>i9</i>   | R\$ 2,30  | <i>i29</i> | R\$ 4,67  |
| <i>i10</i>  | R\$ 19,00   | <i>i30</i> | R\$ 4,67  |
| <i>i11</i>  | R\$ 19,00   | <i>i31</i> | R\$ 18,67   |
| <i>i12</i>  | R\$ 3,10  | <i>i32</i> | R\$ 4,67  |
| <i>i13</i>  | R\$ 9,30  | <i>i33</i> | R\$ 4,67  |
| <i>i14</i>  | R\$ 2,00  | <i>i34</i> | R\$ 4,67  |
| <i>i15</i>  | R\$ 2,00  | <i>i35</i> | R\$ 4,67  |
| <i>i16</i>  | R\$ 2,00  | <i>i36</i> | R\$ 14,00   |
| <i>i17</i>  | R\$ 2,00  | <i>i37</i> | R\$ 0,90  |
| <i>i18</i>  | R\$ 2,00  | <i>i38</i> | R\$ 2,70  |
| <i>i19</i>  | R\$ 2,00  | <i>i39</i> | R\$ 12,30   |
| <i>i20</i>  | R\$ 2,00  | <i>i40</i> | R\$ 2,70  |

Como resultado, o tempo de processamento computacional foi de 1.359 segundos e o modelo encontrou a solução ótima de R\$ 724.621,84. Na Figura 5.1, é apresentado o plano de recebimento no CD proposto pelo modelo, assim como as horas utilizadas da capacidade inicial e as horas extras utilizadas. As carretas que não são recebidas em  $t1$  são as  $j1, j2, j3, j8$  e  $j9$  e em  $t2$  são as  $j12$  e  $j13$ , ou seja, das 20 carretas disponíveis ficaram sem receber nestes dois períodos 7 carretas.

Figura 5.1 - Resultado do modelo desenvolvido para instância 1.



Na Tabela 5.2 podem ser vistos os custos da falta de estoque nos períodos  $t1$  e  $t2$ . Observe que o custo da falta de estoque de produto é muito maior do que o custo de horas extras e custo de sobre-estadia, de forma, que se houver produto nas carretas para suprir a falta de estoque de produto na maioria das vezes é preferível pagar hora extra e sobre-estadia do que não receber o produto. No entanto, na prática apesar do custo da falta de estoque ser realmente o que mais impacta, existe limitantes de hora extra e taxa de sobre-estadia que devem ser seguidos.

Tabela 5.2- Custos referentes a instância 1.

| Custos           | Instância 1    |                | Custo          |
|------------------|----------------|----------------|----------------|
|                  | $t1$           | $t2$           | Total          |
| Falta de estoque | R\$ 355.780,70 | R\$ 332.841,14 | R\$ 688.621,84 |
| Hora extra       | R\$ 4.500,00   | R\$ 22.500,00  | R\$ 27.000,00  |
| Sobre-estadia    | R\$ 3.750,00   | R\$ 5.250,00   | R\$ 9.000,00   |
| Total            | R\$ 364.030,70 | R\$ 360.591,14 | R\$ 724.621,84 |

Além disso, na Tabela 5.3 apresenta os resultados gerados pelo modelo para a quantidade recebida, o estoque e a falta de cada produto nos períodos  $t1$  e  $t2$ .

Tabela 5.3 - Estoque recebido e resultantes do modelo desenvolvido para a instância 1.

| Instância 1 | Período $t1$       |                         |                       | Período $t2$       |                         |                       |
|-------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|
|             | Recebido em caixas | Estoque final em caixas | Falta final em caixas | Recebido em caixas | Estoque final em caixas | Falta final em caixas |
| <i>i1</i>   | 312                | 117                     | 0                     | 0                  | 0                       | 387                   |
| <i>i2</i>   | 540                | 720                     | 0                     | 0                  | 0                       | 50                    |
| <i>i3</i>   | 180                | 180                     | 0                     | 0                  | 0                       | 1                     |
| <i>i4</i>   | 1110               | 1110                    | 0                     | 0                  | 902                     | 0                     |
| <i>i5</i>   | 0                  | 0                       | 494                   | 6084               | 3462                    | 0                     |
| <i>i6</i>   | 0                  | 0                       | 4426                  | 3386               | 0                       | 4368                  |
| <i>i7</i>   | 0                  | 0                       | 13338                 | 15900              | 548                     | 0                     |
| <i>i8</i>   | 504                | 887                     | 0                     | 0                  | 322                     | 0                     |
| <i>i9</i>   | 3158               | 755                     | 0                     | 0                  | 274                     | 0                     |
| <i>i10</i>  | 2944               | 3072                    | 0                     | 0                  | 51                      | 0                     |
| <i>i11</i>  | 2830               | 6393                    | 0                     | 2000               | 5724                    | 0                     |
| <i>i12</i>  | 72                 | 0                       | 6502                  | 0                  | 0                       | 9716                  |
| <i>i13</i>  | 2550               | 2550                    | 0                     | 0                  | 2550                    | 0                     |
| <i>i14</i>  | 213                | 0                       | 3753                  | 0                  | 0                       | 3753                  |
| <i>i15</i>  | 14                 | 0                       | 172                   | 0                  | 0                       | 172                   |
| <i>i16</i>  | 91                 | 0                       | 3000                  | 0                  | 0                       | 3000                  |
| <i>i17</i>  | 302                | 0                       | 1023                  | 0                  | 0                       | 1023                  |
| <i>i18</i>  | 264                | 0                       | 894                   | 0                  | 0                       | 894                   |
| <i>i19</i>  | 900                | 43                      | 0                     | 0                  | 0                       | 2358                  |
| <i>i20</i>  | 1075               | 0                       | 1907                  | 0                  | 0                       | 4083                  |
| <i>i21</i>  | 3330               | 0                       | 4099                  | 0                  | 0                       | 6875                  |
| <i>i22</i>  | 2404               | 0                       | 54                    | 0                  | 0                       | 2038                  |
| <i>i23</i>  | 1244               | 0                       | 2143                  | 0                  | 0                       | 4259                  |
| <i>i24</i>  | 1093               | 888                     | 0                     | 0                  | 382                     | 0                     |
| <i>i25</i>  | 0                  | 14850                   | 0                     | 0                  | 12538                   | 0                     |
| <i>i26</i>  | 0                  | 11306                   | 0                     | 0                  | 7282                    | 0                     |
| <i>i27</i>  | 425                | 4321                    | 0                     | 0                  | 2114                    | 0                     |
| <i>i28</i>  | 0                  | 12533                   | 0                     | 0                  | 8999                    | 0                     |
| <i>i29</i>  | 9276               | 16385                   | 0                     | 0                  | 12712                   | 0                     |
| <i>i30</i>  | 1109               | 22798                   | 0                     | 0                  | 15181                   | 0                     |
| <i>i31</i>  | 84                 | 2018                    | 0                     | 0                  | 1483                    | 0                     |
| <i>i32</i>  | 4193               | 16665                   | 0                     | 0                  | 13019                   | 0                     |
| <i>i33</i>  | 6880               | 15468                   | 0                     | 0                  | 11761                   | 0                     |
| <i>i34</i>  | 7310               | 11164                   | 0                     | 0                  | 9130                    | 0                     |
| <i>i35</i>  | 430                | 7115                    | 0                     | 0                  | 4541                    | 0                     |
| <i>i36</i>  | 2400               | 4752                    | 0                     | 0                  | 3509                    | 0                     |
| <i>i37</i>  | 665                | 0                       | 3096                  | 0                  | 0                       | 4942                  |
| <i>i38</i>  | 700                | 3526                    | 0                     | 0                  | 780                     | 0                     |
| <i>i39</i>  | 3932               | 0                       | 3507                  | 0                  | 0                       | 14633                 |
| <i>i40</i>  | 700                | 5589                    | 0                     | 0                  | 2649                    | 0                     |
| Total       | 63234              | 165206                  | 48408                 | 27370              | 119915                  | 62553                 |

### 5.3.2 Experimentos computacionais com Instância 2

Na instância 2 temos o mesmo cenário da primeira abordagem (Tabela 4.9), com a tempo de descarregamento de 6 horas (carga estivada), são oriundas da mesma origem e que todas estão disponíveis desde o dia 25 (período  $t1$ ). Além disso, possuem a mesma distribuição de produtos nas carretas (Tabela 4.11) e mesmas informações sobre os produtos (tabela 4.12). Adicional a isso temos:

- Tempo disponível (Capacidade em horas), assim como mencionado anteriormente na seção 4.3.2, no planejamento prévio não foi disponibilizada nenhuma carreta em nenhum dos três períodos,  $C_{t1}, C_{t2}, C_{t3} = 0$ .
- Hora extra máxima por período de tempo, foi considerado o maior número de janelas extras que o CD disponibilizou no replanejamento e neste cenário 13 janelas extras disponíveis no dia 25, sendo que cada uma delas equivale a 6 horas, ou seja, temos um total de  $Om_t = 78$  horas por período;
- Custo unitário de hora extra,  $q = R\$ 1.500,00$ .
- Custo de sobre-estadia da carreta,  $s = R\$ 750,00$ .
- Na Tabela 5.4, custo da falta de estoque do produto ( $P_i$ ):

Tabela 5.4 - Custo da falta de estoque de produto ( $P_i$ ) da instância 2.

| Instância 2 |   |            |   |
|-------------|---|------------|---|
| Produtos    | Custo da falta de estoque de produto ( $P_i$ ) em Reais por caixa | Produtos   | Custo da falta de estoque de produto ( $P_i$ ) em Reais por caixa |
| <i>i1</i>   | R\$ 11,00   | <i>i16</i> | R\$ 13,00   |
| <i>i2</i>   | R\$ 17,00   | <i>i17</i> | R\$ 3,00  |
| <i>i3</i>   | R\$ 12,30   | <i>i18</i> | R\$ 19,00   |
| <i>i4</i>   | R\$ 5,00  | <i>i19</i> | R\$ 19,00   |
| <i>i5</i>   | R\$ 14,00   | <i>i20</i> | R\$ 9,00  |
| <i>i6</i>   | R\$ 18,00   | <i>i21</i> | R\$ 13,00   |
| <i>i7</i>   | R\$ 11,00   | <i>i22</i> | R\$ 4,67  |
| <i>i8</i>   | R\$ 1,00  | <i>i23</i> | R\$ 18,00   |
| <i>i9</i>   | R\$ 10,00   | <i>i24</i> | R\$ 7,00  |
| <i>i10</i>  | R\$ 4,00  | <i>i25</i> | R\$ 10,00   |
| <i>i11</i>  | R\$ 12,00   | <i>i26</i> | R\$ 20,00   |
| <i>i12</i>  | R\$ 15,00   | <i>i27</i> | R\$ 2,00  |
| <i>i13</i>  | R\$ 7,00  | <i>i28</i> | R\$ 17,00   |
| <i>i14</i>  | R\$ 7,00  | <i>i29</i> | R\$ 8,10  |
| <i>i15</i>  | R\$ 10,00   | <i>i30</i> | R\$ 20,00   |

Como resultado, o tempo de processamento computacional foi de 1.585 segundos e o modelo encontrou a solução ótima de R\$ 488.368,00. Na Figura 5.2, é apresentado o plano de recebimento no CD proposto pelo modelo, assim como as horas utilizadas da capacidade inicial e as horas extras utilizadas, neste caso toda as horas utilizadas foram extras. As carretas que não são recebidas são as  $j2, j5, j6, j7, j8, j10, j12, j14, j17, j31, j33, j34$  e  $j35$ , ou seja, 13 carretas não recebidas de 36 disponíveis. Outro ponto importante é que todas as carretas são recebidas nos dois primeiros períodos, mesmo existindo o período  $t3$  e respeitando o número máximo de horas extras em todos os períodos. Isso só acontece porque o custo de hora extra para receber mais carretas acaba sendo maior do que o valor que será economizado se receber mais estoque e não pagar taxa de sobre-estadia, caso contrário o modelo teria selecionado mais carretas para ser recebida.

Figura 5.2 - Resultado do modelo desenvolvido para instância 2.

| <b>Instância 2</b>            |  |            |  |            |
|-------------------------------|--|------------|--|------------|
| Período $t1$                  |  |            |  |            |
| tempo (h)                     |  |            |  |            |
| $j1$ (6h)                     |  | $j13$ (6h) |  | $j15$ (6h) |
| $j20$ (6h)                    |  | $j22$ (6h) |  | $j24$ (6h) |
| $j25$ (6h)                    |  | $j26$ (6h) |  | $j29$ (6h) |
| $j32$ (6h)                    |  |            |  |            |
| Período $t2$                  |  |            |  |            |
| tempo (h)                     |  |            |  |            |
| $j3$ (6h)                     |  | $j4$ (6h)  |  | $j11$ (6h) |
| $j16$ (6h)                    |  | $j19$ (6h) |  | $j27$ (6h) |
| $j30$ (6h)                    |  | $j36$ (6h) |  |            |
| <b>Hora extras utilizadas</b> |  |            |  |            |

Na Tabela 5.5 apresenta os resultados gerados pelo modelo para a quantidade recebida, o estoque e a falta de cada produto nos períodos  $t1$ ,  $t2$  e  $t3$ . Observe que o recebimento só acontece no período  $t1$  e  $t2$  e que no período  $t3$  não existe recebimento, apenas a retirada de produto para atendimento da demanda e por esta razão que a falta de estoque acaba por aumentar ao longo dos períodos.

Tabela 5.5 - Estoque recebido e resultantes do modelo desenvolvido para a instância 2.

| Instância<br>2 | Período $t1$          |                  |                | Período $t2$             |                  |                | Período $t3$          |                  |                |
|----------------|-----------------------|------------------|----------------|--------------------------|------------------|----------------|-----------------------|------------------|----------------|
|                | Recebido<br>em caixas | Estoque<br>final | Falta<br>final | Recebido<br>em<br>caixas | Estoque<br>final | Falta<br>final | Recebido<br>em caixas | Estoque<br>final | Falta<br>final |
| $i1$           | 4380                  | 5987             | 0              | 3990                     | 0                | 35             | 0                     | 0                | 849            |
| $i2$           | 4992                  | 7124             | 0              | 3120                     | 3522             | 0              | 0                     | 107              | 0              |
| $i3$           | 0                     | 1018             | 0              | 0                        | 725              | 0              | 0                     | 578              | 0              |
| $i4$           | 0                     | 9161             | 0              | 0                        | 7245             | 0              | 0                     | 6217             | 0              |
| $i5$           | 0                     | 2031             | 0              | 0                        | 1923             | 0              | 0                     | 1847             | 0              |
| $i6$           | 0                     | 3372             | 0              | 0                        | 3372             | 0              | 0                     | 3223             | 0              |
| $i7$           | 540                   | 27               | 0              | 378                      | 0                | 463            | 0                     | 0                | 925            |
| $i8$           | 0                     | 2090             | 0              | 2724                     | 3405             | 0              | 0                     | 2088             | 0              |
| $i9$           | 1485                  | 8402             | 0              | 0                        | 4013             | 0              | 0                     | 144              | 0              |
| $i10$          | 0                     | 3286             | 0              | 1482                     | 2889             | 0              | 0                     | 867              | 0              |
| $i11$          | 0                     | 2860             | 0              | 0                        | 2768             | 0              | 0                     | 2537             | 0              |
| $i12$          | 0                     | 3516             | 0              | 0                        | 3516             | 0              | 0                     | 2748             | 0              |
| $i13$          | 0                     | 7020             | 0              | 0                        | 7020             | 0              | 0                     | 6464             | 0              |
| $i14$          | 2730                  | 13481            | 0              | 0                        | 13481            | 0              | 0                     | 11197            | 0              |
| $i15$          | 5460                  | 13194            | 0              | 1300                     | 14494            | 0              | 0                     | 11839            | 0              |
| $i16$          | 0                     | 3629             | 0              | 96                       | 2997             | 0              | 0                     | 2522             | 0              |
| $i17$          | 900                   | 4143             | 0              | 1134                     | 5277             | 0              | 0                     | 5277             | 0              |
| $i18$          | 0                     | 6162             | 0              | 0                        | 5340             | 0              | 0                     | 4612             | 0              |
| $i19$          | 1638                  | 248              | 0              | 270                      | 0                | 2979           | 0                     | 0                | 4953           |
| $i20$          | 2496                  | 3021             | 0              | 384                      | 1947             | 0              | 0                     | 1288             | 0              |
| $i21$          | 80                    | 1949             | 0              | 0                        | 1738             | 0              | 0                     | 1602             | 0              |
| $i22$          | 600                   | 715              | 0              | 0                        | 616              | 0              | 0                     | 529              | 0              |
| $i23$          | 400                   | 2013             | 0              | 240                      | 2051             | 0              | 0                     | 1888             | 0              |
| $i24$          | 0                     | 849              | 0              | 0                        | 747              | 0              | 0                     | 690              | 0              |
| $i25$          | 0                     | 1095             | 0              | 0                        | 1095             | 0              | 0                     | 978              | 0              |
| $i26$          | 0                     | 660              | 0              | 0                        | 660              | 0              | 0                     | 522              | 0              |
| $i27$          | 1392                  | 15925            | 0              | 432                      | 14686            | 0              | 0                     | 13343            | 0              |
| $i28$          | 5730                  | 3613             | 0              | 4110                     | 1061             | 0              | 0                     | 0                | 4054           |
| $i29$          | 0                     | 6867             | 0              | 0                        | 5791             | 0              | 0                     | 5138             | 0              |
| $i30$          | 240                   | 2809             | 0              | 0                        | 2127             | 0              | 0                     | 1609             | 0              |
| <b>Total</b>   | <b>33063</b>          | <b>136267</b>    | <b>0</b>       | <b>19660</b>             | <b>114506</b>    | <b>3477</b>    | <b>0</b>              | <b>89854</b>     | <b>10781</b>   |

Além disso, na Tabela 5.6, podem ser vistos os custos da falta de estoque nos períodos  $t1$ ,  $t2$  e  $t3$ .

Tabela 5.6 - Custos referentes a instância 2.

| <b>Instância 2</b> |                        |                        |                        | <b>Custo</b>   |
|--------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------|
| <b>Custos</b>      | <b><math>t1</math></b> | <b><math>t2</math></b> | <b><math>t3</math></b> | <b>Total</b>   |
| Falta de estoque   | R\$ 0,00               | R\$ 62.079,00          | R\$ 182.539,00         | R\$ 244.618,00 |
| Hora extra         | R\$ 117.000,00         | R\$ 90.000,00          | R\$ 0,00               | R\$ 207.000,00 |
| Sobre-estadia      | R\$ 17.250,00          | R\$ 9.750,00           | R\$ 9.750,00           | R\$ 36.750,00  |
| <b>Total</b>       | R\$ 134.250,00         | R\$ 161.829,00         | R\$ 192.289,00         | R\$ 488.368,00 |

Observando a Tabela 5.5 e a Tabela 5.6 é possível notar que todas as carretas e consequentemente os produtos possíveis foram recebidos no período  $t1$ , respeitando apenas o limite de hora extra (78h) e evitando o pagamento de sobre-estadia de veículos. No período  $t2$  foram utilizadas apenas 60h horas extras das 78h disponíveis. Notou-se também que o custo da falta de estoque de produto é na maioria das vezes maior que os outros dois custos e desta forma é viável receber todas as carretas necessárias o quanto antes para evitar cobrança da taxa de sobre-estadia.

## 6 CONSIDERAÇÕES PRÁTICAS PARA AS ABORDAGENS PROPOSTAS

### 6.1 ANÁLISE DE ADEQUAÇÃO DAS ABORDAGENS PROPOSTAS AO PROBLEMA PRÁTICO

As duas abordagens tiveram os problemas resolvidos em um tempo rápido e encontraram uma solução ótima, tornando ambos modelos viáveis para auxiliar o tomador de decisão da empresa. No entanto, as abordagens apresentam algumas diferenças. A abordagem de minimização de falta de estoque visa apenas atender os produtos faltantes para atender a demanda e tem impacto no nível de serviço, já a abordagem de minimização de custos considera os custos envolvidos na priorização dos veículos e envolve custo de hora extra e sobre-estadia não tendo impacto direto em nível de serviço, mas sim em redução de custo. Por exemplo, um produto pode ter uma grande quantidade de caixas faltantes e ter um custo de falta relativamente baixo ou ao contrário, um produto ter uma quantidade faltante pequena, mas ter um custo de falta alto e isso faz com que a prioridade de veículos mude entre as duas abordagens.

Adicional a isso, a abordagem de minimização de custo envolve o custo da falta de produto que como mencionado anteriormente é bastante difícil de mensurar e, portanto, uma análise de sensibilidade deste parâmetro poderia ser interessante para maior veracidade desta abordagem.

Desta forma, cabe ao tomador de decisão da empresa definir qual das abordagens mais se adequa a estratégia da empresa.

### 6.2 COMPARATIVO COM AS PRÁTICAS DA EMPRESA

A geração de priorização de *inbound* representa um desafio para o tomador de decisão da empresa, uma vez que o responsável por determinar esta priorização dentro da empresa recebe de cada um dos planejadores das diferentes categorias de produtos informações e dados sobre quais produtos e carretas devem ser priorizadas, considerando o estoque já disponível no CD, os pedidos em aberto, a importância de determinados clientes e produtos e entre outros. Desta forma, com base nestas informações recebidas o responsável deve consolidar todos os dados para gerar a ordem final de priorização das carretas. Esta ordem final de priorização de carretas deve ser enviada para cada um dos planejadores e responsáveis das diferentes categorias de produtos, para que eles tenham conhecimento do que o CD irá receber. O mais importante é que todo este processo de fluxo de informações

deveria levar no máximo uma hora para não atrasar as operações do CD e muitas vezes acaba levando quase meio turno (4 horas) para acontecer e com grande chance de erro já que é feito de forma manual e envolve muitas variáveis.

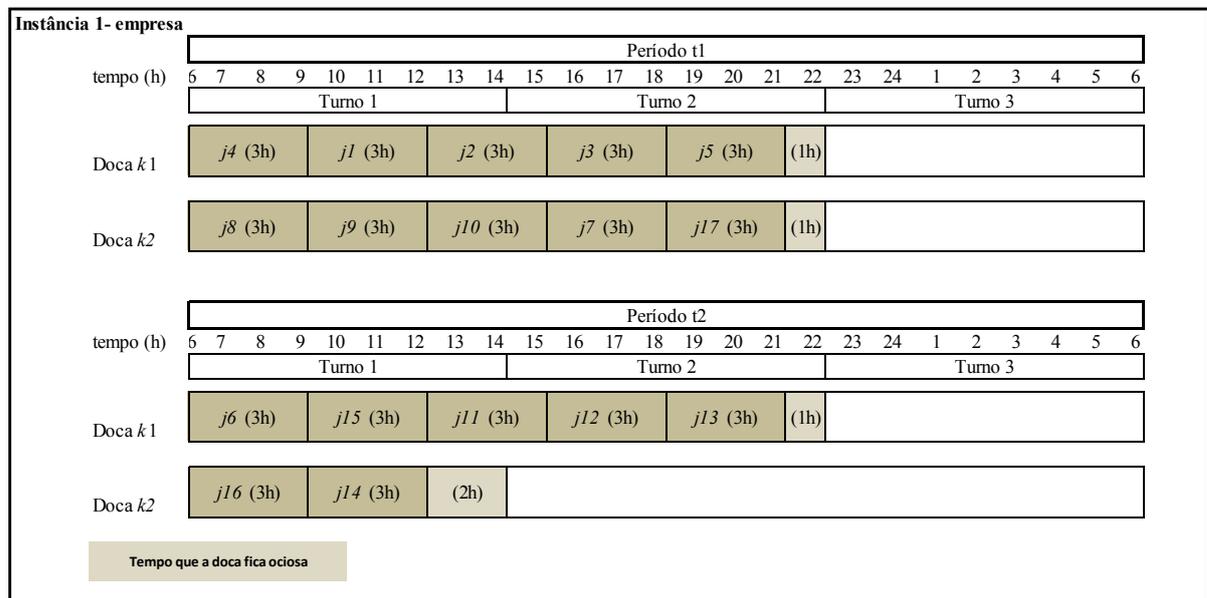
Neste sentido, este capítulo tem como objetivo comparar a priorização de *inbound* e os custos obtidos a partir dos modelos propostos com a priorização adotada pela empresa, para as duas instâncias estudadas nos capítulos anteriores (Capítulos 4 e 5) e para facilitar esta comparação a priorização adotada pela empresa nas duas instâncias são formatadas como um gráfico de Grant, conforme a Figura 6.1 para instância 1 e Figura 6.2 para instância 2.

## 6.2.1 Abordagem para minimizar falta de estoque

### 6.2.1.1 Comparativo da Instância 1

Para a instância 1 a comparação foi feita somente com o cenário do replanejamento, uma vez que este foi o cenário efetivamente adotado pela empresa e a priorização adotada pela empresa está representada na Figura 6.1.

Figura 6.1- Priorização adotada pela empresa na instância 1 – replanejamento.



Observe que na priorização adotada pela empresa o número de carretas recebidas é o mesmo que o do método proposto, já considerando as horas adicionais que a empresa propôs no replanejamento do problema. No entanto, as carretas que não são descarregadas são diferentes ( $j18$ ,  $j19$  e  $j20$ ) assim como é diferente as carretas que foram recebidas em cada um dos períodos de tempo.

Adicional a isso, na Tabela 6.1 é apresentado a quantidade recebida por doca e por período de tempo na priorização adotada pela empresa, assim como o estoque final e a falta de estoque em cada um dos períodos.

Tabela 6.1 - Estoque recebido e resultados da priorização adotada pela empresa (instância 1 – replanejamento).

| Instância real 1 -<br>parte 2 (empresa) | Período t1                       |                                  |                               |                             | Período t2                       |                                  |                               |                             |
|---|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
|   | Recebido<br>doca k1 em<br>caixas | Recebido<br>doca k2 em<br>caixas | Estoque<br>final em<br>caixas | Falta<br>final em<br>caixas | Recebido<br>doca k1 em<br>caixas | Recebido<br>doca k2 em<br>caixas | Estoque<br>final em<br>caixas | Falta<br>final em<br>caixas |
| <i>i1</i>                               | 312                              | 0                                | 117                           | 0                           | 0                                | 0                                | 0                             | 386                         |
| <i>i2</i>                               | 430                              | 3870                             | 4480                          | 0                           | 0                                | 0                                | 3710                          | 0                           |
| <i>i3</i>                               | 0                                | 0                                | 0                             | 0                           | 0                                | 180                              | 0                             | 1                           |
| <i>i4</i>                               | 0                                | 0                                | 0                             | 0                           | 0                                | 1110                             | 902                           | 0                           |
| <i>i5</i>                               | 0                                | 0                                | 0                             | 494                         | 0                                | 0                                | 0                             | 2622                        |
| <i>i6</i>                               | 0                                | 0                                | 0                             | 4426                        | 3386                             | 0                                | 0                             | 4368                        |
| <i>i7</i>                               | 0                                | 0                                | 0                             | 13338                       | 0                                | 5200                             | 0                             | 10152                       |
| <i>i8</i>                               | 504                              | 0                                | 888                           | 0                           | 0                                | 0                                | 323                           | 0                           |
| <i>i9</i>                               | 0                                | 0                                | 0                             | 2403                        | 3158                             | 0                                | 274                           | 0                           |
| <i>i10</i>                              | 0                                | 0                                | 129                           | 0                           | 6864                             | 0                                | 3971                          | 0                           |
| <i>i11</i>                              | 2830                             | 0                                | 6394                          | 0                           | 6900                             | 344                              | 10969                         | 0                           |
| <i>i12</i>                              | 960                              | 0                                | 0                             | 5614                        | 72                               | 0                                | 0                             | 8756                        |
| <i>i13</i>                              | 0                                | 0                                | 0                             | 0                           | 2550                             | 0                                | 2550                          | 0                           |
| <i>i14</i>                              | 0                                | 0                                | 0                             | 3966                        | 213                              | 0                                | 0                             | 3753                        |
| <i>i15</i>                              | 0                                | 0                                | 0                             | 186                         | 14                               | 0                                | 0                             | 172                         |
| <i>i16</i>                              | 0                                | 0                                | 0                             | 3091                        | 91                               | 0                                | 0                             | 3000                        |
| <i>i17</i>                              | 0                                | 0                                | 0                             | 1326                        | 302                              | 0                                | 0                             | 1024                        |
| <i>i18</i>                              | 0                                | 0                                | 0                             | 1158                        | 264                              | 0                                | 0                             | 894                         |
| <i>i19</i>                              | 0                                | 900                              | 43                            | 0                           | 0                                | 0                                | 0                             | 2358                        |
| <i>i20</i>                              | 0                                | 1075                             | 0                             | 1908                        | 0                                | 0                                | 0                             | 4083                        |
| <i>i21</i>                              | 0                                | 2160                             | 0                             | 5269                        | 0                                | 1170                             | 0                             | 6875                        |
| <i>i22</i>                              | 0                                | 2121                             | 0                             | 338                         | 0                                | 514                              | 0                             | 1808                        |
| <i>i23</i>                              | 0                                | 2144                             | 0                             | 1243                        | 0                                | 0                                | 0                             | 3359                        |
| <i>i24</i>                              | 0                                | 1080                             | 875                           | 0                           | 0                                | 283                              | 652                           | 0                           |
| <i>i25</i>                              | 0                                | 4309                             | 19159                         | 0                           | 0                                | 0                                | 16847                         | 0                           |
| <i>i26</i>                              | 0                                | 1548                             | 12854                         | 0                           | 0                                | 0                                | 8830                          | 0                           |
| <i>i27</i>                              | 0                                | 844                              | 4740                          | 0                           | 0                                | 0                                | 2533                          | 0                           |
| <i>i28</i>                              | 0                                | 8377                             | 20911                         | 0                           | 0                                | 0                                | 17376                         | 0                           |
| <i>i29</i>                              | 0                                | 4546                             | 11655                         | 0                           | 0                                | 4730                             | 12712                         | 0                           |
| <i>i30</i>                              | 0                                | 1109                             | 22798                         | 0                           | 0                                | 0                                | 15181                         | 0                           |
| <i>i31</i>                              | 84                               | 0                                | 2018                          | 0                           | 0                                | 0                                | 1482                          | 0                           |
| <i>i32</i>                              | 0                                | 0                                | 12472                         | 0                           | 0                                | 4193                             | 13019                         | 0                           |
| <i>i33</i>                              | 0                                | 9412                             | 18000                         | 0                           | 0                                | 0                                | 14293                         | 0                           |
| <i>i34</i>                              | 0                                | 7310                             | 11164                         | 0                           | 0                                | 0                                | 9130                          | 0                           |
| <i>i35</i>                              | 0                                | 5160                             | 11845                         | 0                           | 0                                | 0                                | 9271                          | 0                           |
| <i>i36</i>                              | 0                                | 3120                             | 5472                          | 0                           | 0                                | 0                                | 4228                          | 0                           |
| <i>i37</i>                              | 0                                | 392                              | 0                             | 3369                        | 0                                | 273                              | 0                             | 4942                        |
| <i>i38</i>                              | 0                                | 700                              | 3526                          | 0                           | 0                                | 0                                | 780                           | 0                           |
| <i>i39</i>                              | 3932                             | 0                                | 0                             | 3507                        | 0                                | 0                                | 0                             | 14633                       |
| <i>i40</i>                              | 0                                | 1050                             | 5939                          | 0                           | 0                                | 0                                | 2999                          | 0                           |
| <b>Total</b>                            | 9052                             | 61227                            | 175479                        | 51637                       | 23814                            | 17997                            | 152035                        | 73188                       |

Considerando o resultado da Tabela 4.8 (método proposto) com a Tabela 6.1 (adotado pela empresa) foi possível gerar a Tabela 6.2. Nesta tabela pode ser visto os resultados desta comparação entre a falta de estoque no método proposto e na priorização adotada pela empresa e a mesma fica claro que a falta de estoque no final dos períodos assim como em cada um dos períodos é menor utilizando o método proposto na abordagem de minimização da falta de estoque, ou seja, o método proposto apresentou um melhor resultado do que o adotado pela empresa.

Apenas uma observação importante é que na empresa é feito o sequenciamento das carretas e no modelo isso não acontece. Portanto, a comparação não considera a sequência, apenas a questão se foi ou não recebido no período.

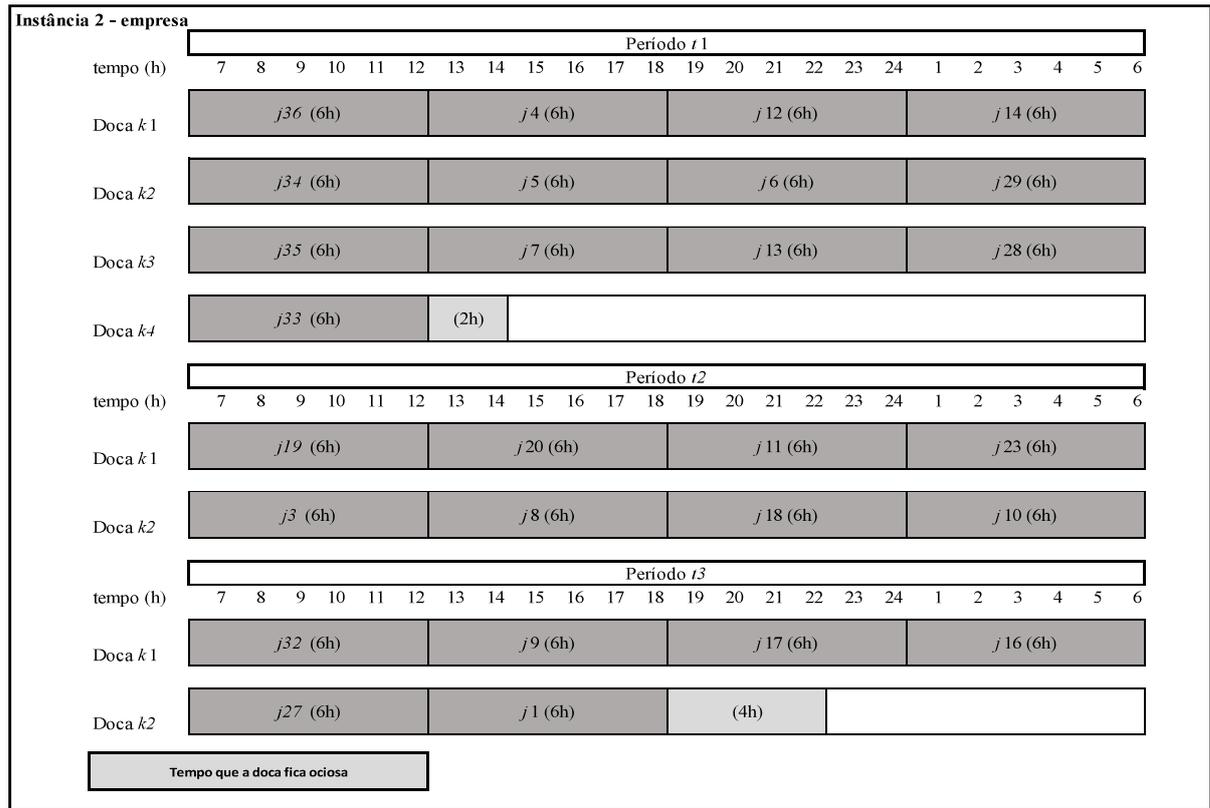
Tabela 6.2 - Comparativo entre resultado do modelo proposto e o plano adotado pela empresa (instância 1 – replanejamento).

| Falta de estoque<br>(em caixas) | Período de tempo |           |           |              |  |
|---------------------------------|------------------|-----------|-----------|--------------|--|
|                                 | <i>t0</i>        | <i>t1</i> | <i>t2</i> | <i>Total</i> | <i>Percentual</i>  |
| <b>Proposto</b>                 | 0                | 47424     | 60511     | 107935       | Melhora de 13,5% no resultado do método proposto em relação ao praticado pela empresa. |
| <b>Empresa</b>                  | 0                | 51637     | 73188     | 124825       |  |

#### 6.2.1.2 Comparativo da Instância 2

Para a instância 2 a Figura 6.2 apresenta a priorização adotada pela empresa.

Figura 6.2 - Priorização adotada pela empresa na instância 2.



Traçando um comparativo do resultado da priorização obtido pelo modelo da abordagem da falta de estoque com a relação de prioridade informada pela planejadora da empresa, observe que o número de carretas recebidas em ambos casos foi o mesmo, o que significa que das 36 carretas disponíveis apenas 27 carretas foram recebidas, ficando 9 carretas sem receber. No entanto, as carretas recebidas em cada um dos períodos, assim como no final de todos os períodos foram diferentes.

No resultado da abordagem para minimizar a falta, as carretas ( $j_2, j_5, j_6, j_7, j_{12}, j_{14}, j_{33}, j_{34}$  e  $j_{35}$ ) não foram recebidas e em contrapartida, na priorização adotada pela empresa a maioria destas carretas foram recebidas no primeiro período. Desta forma, as carretas ( $j_2, j_{15}, j_{21}, j_{22}, j_{24}, j_{25}, j_{26}, j_{30}$  e  $j_{31}$ ) foram as que ficaram pendentes de descarregamento na priorização da empresa, evidenciando a grande diferença entre as priorizações. Nota-se ainda que apenas a carreta  $j_2$  foi a única que não foi descarregada nem pela empresa e nem pelo método proposto.

Buscando entender melhor porque tal diferença em relação ao método proposto e a priorização adotada pela empresa e conversando com os tomadores de decisão da empresa, algumas possíveis respostas surgiram, sendo elas: é possível de ter acontecido alguma venda ou negociação especial para algum cliente ou alguma antecipação de iniciativas de produto importante para atingir a meta de venda do mês.

Adicional a isso, na Tabela 6.3 é apresentado a quantidade recebida por doca e por período de tempo na priorização adotada pela empresa, assim como o estoque final e a falta de estoque em cada um dos períodos.

Tabela 6.3 - Estoque recebido e resultados da priorização adotada pela empresa para a instância 2.

| Instância 2<br>(empresa) | Período t1            |                               |                                | Período t2               |                               |                             | Período t3            |                                  |                             |
|--------------------------|-----------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------------|
|                          | Recebido<br>em caixas | Estoque<br>final em<br>caixas | Falta<br>final<br>em<br>caixas | Recebido<br>em<br>caixas | Estoque<br>final em<br>caixas | Falta<br>final em<br>caixas | Recebido<br>em caixas | Estoque<br>final<br>em<br>caixas | Falta<br>final em<br>caixas |
| <i>i1</i>                | 2700                  | 4307                          | 0                              | 2430                     | 0                             | 3275                        | 3900                  | 0                                | 189                         |
| <i>i2</i>                | 6864                  | 8996                          | 0                              | 4524                     | 6798                          | 0                           | 0                     | 3383                             | 0                           |
| <i>i3</i>                | 0                     | 1018                          | 0                              | 0                        | 725                           | 0                           | 624                   | 1202                             | 0                           |
| <i>i4</i>                | 736                   | 9897                          | 0                              | 0                        | 7981                          | 0                           | 0                     | 6953                             | 0                           |
| <i>i5</i>                | 165                   | 2196                          | 0                              | 0                        | 2088                          | 0                           | 0                     | 2012                             | 0                           |
| <i>i6</i>                | 165                   | 3537                          | 0                              | 0                        | 3537                          | 0                           | 0                     | 3388                             | 0                           |
| <i>i7</i>                | 0                     | 0                             | 513                            | 225                      | 0                             | 1156                        | 108                   | 0                                | 1510                        |
| <i>i8</i>                | 546                   | 2636                          | 0                              | 1794                     | 3021                          | 0                           | 1320                  | 3024                             | 0                           |
| <i>i9</i>                | 0                     | 6917                          | 0                              | 1980                     | 4508                          | 0                           | 1485                  | 2124                             | 0                           |
| <i>i10</i>               | 2574                  | 5860                          | 0                              | 0                        | 3981                          | 0                           | 0                     | 1959                             | 0                           |
| <i>i11</i>               | 495                   | 3355                          | 0                              | 0                        | 3263                          | 0                           | 0                     | 3032                             | 0                           |
| <i>i12</i>               | 0                     | 3516                          | 0                              | 0                        | 3516                          | 0                           | 1632                  | 4380                             | 0                           |
| <i>i13</i>               | 825                   | 7845                          | 0                              | 0                        | 7845                          | 0                           | 0                     | 7289                             | 0                           |
| <i>i14</i>               | 2184                  | 12935                         | 0                              | 4368                     | 17303                         | 0                           | 3276                  | 18295                            | 0                           |
| <i>i15</i>               | 5460                  | 13194                         | 0                              | 2600                     | 15794                         | 0                           | 0                     | 13139                            | 0                           |
| <i>i16</i>               | 0                     | 3629                          | 0                              | 0                        | 2901                          | 0                           | 96                    | 2522                             | 0                           |
| <i>i17</i>               | 396                   | 3639                          | 0                              | 540                      | 4179                          | 0                           | 504                   | 4683                             | 0                           |
| <i>i18</i>               | 405                   | 6567                          | 0                              | 0                        | 5745                          | 0                           | 0                     | 5017                             | 0                           |
| <i>i19</i>               | 234                   | 0                             | 1156                           | 432                      | 0                             | 4221                        | 396                   | 0                                | 5799                        |
| <i>i20</i>               | 1712                  | 2237                          | 0                              | 768                      | 1547                          | 0                           | 352                   | 1240                             | 0                           |
| <i>i21</i>               | 0                     | 1869                          | 0                              | 0                        | 1658                          | 0                           | 80                    | 1602                             | 0                           |
| <i>i22</i>               | 400                   | 515                           | 0                              | 200                      | 616                           | 0                           | 0                     | 529                              | 0                           |
| <i>i23</i>               | 240                   | 1853                          | 0                              | 0                        | 1651                          | 0                           | 400                   | 1888                             | 0                           |
| <i>i24</i>               | 128                   | 977                           | 0                              | 0                        | 875                           | 0                           | 0                     | 818                              | 0                           |
| <i>i25</i>               | 0                     | 1095                          | 0                              | 0                        | 1095                          | 0                           | 0                     | 978                              | 0                           |
| <i>i26</i>               | 0                     | 660                           | 0                              | 0                        | 660                           | 0                           | 330                   | 852                              | 0                           |
| <i>i27</i>               | 5328                  | 19861                         | 0                              | 1008                     | 19198                         | 0                           | 960                   | 18815                            | 0                           |
| <i>i28</i>               | 405                   | 0                             | 1712                           | 3525                     | 0                             | 4849                        | 870                   | 0                                | 9094                        |
| <i>i29</i>               | 400                   | 7267                          | 0                              | 0                        | 6191                          | 0                           | 0                     | 5538                             | 0                           |
| <i>i30</i>               | 240                   | 2809                          | 0                              | 0                        | 2127                          | 0                           | 0                     | 1609                             | 0                           |
| <b>Total</b>             | <b>32602</b>          | <b>139187</b>                 | <b>3381</b>                    | <b>24394</b>             | <b>128803</b>                 | <b>13501</b>                | <b>16333</b>          | <b>116271</b>                    | <b>16592</b>                |

Considerando o resultado da Tabela 4.13 (método proposto) com a Tabela 6.3 (adotado pela empresa) foi possível gerar a Tabela 6.4. Nesta tabela pode ser visto os resultados desta comparação entre a falta de estoque no método proposto e na priorização adotada pela empresa e a mesma fica claro que a falta de estoque no final dos períodos assim como em cada um dos períodos é menor utilizando o método proposto na abordagem de falta, ou seja, o método proposto apresentou um melhor resultado do que o adotado pela empresa. Desta forma, em função da menor falta de estoque no método proposto a empresa conseguirá atender melhor a sua demanda por período e consequentemente ter um melhor nível de serviço em todos os períodos.

Tabela 6.4 - Comparativo da falta de estoque por período de tempo na instância 2 do resultado proposto com o plano adotado pela empresa.

| Falta de estoque<br>(em caixas) | Período de tempo |      |       |       |       | Percentual   |
|---------------------------------|------------------|------|-------|-------|-------|--|
|                                 | t0               | t1   | t2    | t3    | Total |  |
| <b>Empresa</b>                  | 0                | 3381 | 13501 | 16592 | 33474 | Melhora de 60,7% no resultado do método proposto em relação ao praticado pela empresa. |
| <b>Proposto</b>                 | 0                | 0    | 3477  | 9671  | 13148 |  |

## 6.2.2 Abordagem para minimizar custos

Nesta seção é feita a comparação dos custos do método proposto na abordagem de minimização de custos com os custos da priorização adotada pela empresa. Para isso, primeiramente foi necessário encontrar cada um dos custos (custo de falta de estoque de produto, custo de hora extra e custo de sobre-estadia) para a priorização adotada pela empresa e depois o comparativo pode ser feito.

### 6.2.2.1 Comparativo da Instância 1

Para instância 1 o cenário considerado foi o do replanejamento, assim como já explicado anteriormente na seção 6.1.1. Além disso, cada um dos custos da priorização adotada pela empresa foi calculado conforme segue:

O custo da sobre-estadia dos veículos é possível determinar considerando a disponibilidade dos veículos e os veículos que foram recebidos em cada período. No caso desta instância, temos no primeiro período sobre-estadia apenas das carretas j6, j15 e j16 e para o segundo período temos taxa de sobre-estadia das carretas j18, j19 e j20, ou seja, no total de sobre-estadia são 6 vezes o valor de R\$ 750,00, ou seja, igual a R\$ 4.500,00.

Em relação ao custo de horas extras, no replanejamento, a empresa disponibilizou 3 janelas extras no dia 26 e 7 janelas extras no dia 27, o que representa um total de 10 janelas extras. Sabendo que cada uma destas janelas equivale a 3 horas, no final foram 30 horas extras disponibilizadas. Desta forma, estas 30 horas extras multiplicadas pelo valor da hora extra, que é R\$ 1.500,00 leva um valor total de R\$ 45.000,00.

O custo da falta é encontrado multiplicando a quantidade dos produtos faltantes em cada um dos períodos (encontrado na Tabela 6.1) pelo valor do custo da falta de cada produto (Tabela 5.1). Os resultados se encontram na Tabela 6.5.

Tabela 6.5 - Custo da falta de estoque na priorização adotada pela empresa para instância 1.

| Produtos | Período t1                | Período t2                | Total                     |
|----------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|          | Custo da falta de estoque | Custo da falta de estoque | Custo da falta de estoque |
| i1       | R\$ -                     | R\$ 123,64                | R\$ 123,64                |
| i2       | R\$ -                     | R\$ -                     | R\$ -                     |
| i3       | R\$ -                     | R\$ 2,97                  | R\$ 2,97                  |
| i4       | R\$ -                     | R\$ -                     | R\$ -                     |
| i5       | R\$ 6.921,89              | R\$ 36.713,64             | R\$ 43.635,53             |
| i6       | R\$ 61.961,61             | R\$ 61.146,96             | R\$ 123.108,57            |
| i7       | R\$ 186.735,91            | R\$ 142.127,88            | R\$ 328.863,78            |
| i8       | R\$ -                     | R\$ -                     | R\$ -                     |
| i9       | R\$ 5.527,25              | R\$ -                     | R\$ 5.527,25              |
| i10      | R\$ -                     | R\$ -                     | R\$ -                     |
| i11      | R\$ -                     | R\$ -                     | R\$ -                     |
| i12      | R\$ 17.402,96             | R\$ 27.144,41             | R\$ 44.547,37             |
| i13      | R\$ -                     | R\$ -                     | R\$ -                     |
| i14      | R\$ 7.932,63              | R\$ 7.506,63              | R\$ 15.439,27             |
| i15      | R\$ 372,02                | R\$ 344,02                | R\$ 716,03                |
| i16      | R\$ 6.182,89              | R\$ 6.000,89              | R\$ 12.183,78             |
| i17      | R\$ 2.651,18              | R\$ 2.047,18              | R\$ 4.698,35              |
| i18      | R\$ 2.316,59              | R\$ 1.788,59              | R\$ 4.105,19              |
| i19      | R\$ -                     | R\$ 4.716,13              | R\$ 4.716,13              |
| i20      | R\$ 3.815,16              | R\$ 8.166,70              | R\$ 11.981,86             |
| i21      | R\$ 10.538,94             | R\$ 13.750,75             | R\$ 24.289,69             |
| i22      | R\$ 675,31                | R\$ 3.615,16              | R\$ 4.290,48              |
| i23      | R\$ 2.485,26              | R\$ 6.717,08              | R\$ 9.202,35              |
| i24      | R\$ -                     | R\$ -                     | R\$ -                     |
| i25      | R\$ -                     | R\$ -                     | R\$ -                     |
| i26      | R\$ -                     | R\$ -                     | R\$ -                     |
| i27      | R\$ -                     | R\$ -                     | R\$ -                     |
| i28      | R\$ -                     | R\$ -                     | R\$ -                     |
| i29      | R\$ -                     | R\$ -                     | R\$ -                     |
| i30      | R\$ -                     | R\$ -                     | R\$ -                     |
| i31      | R\$ -                     | R\$ -                     | R\$ -                     |
| i32      | R\$ -                     | R\$ -                     | R\$ -                     |
| i33      | R\$ -                     | R\$ -                     | R\$ -                     |
| i34      | R\$ -                     | R\$ -                     | R\$ -                     |
| i35      | R\$ -                     | R\$ -                     | R\$ -                     |
| i36      | R\$ -                     | R\$ -                     | R\$ -                     |
| i37      | R\$ 3.032,50              | R\$ 4.448,02              | R\$ 7.480,52              |
| i38      | R\$ -                     | R\$ -                     | R\$ -                     |
| i39      | R\$ 43.135,80             | R\$ 179.985,98            | R\$ 223.121,77            |
| i40      | R\$ -                     | R\$ -                     | R\$ -                     |
| Total    | R\$ 361.687,90            | R\$ 506.346,63            | R\$ 868.034,54            |

Os resultados dos custos da instância 1 para priorização da empresa estão na Tabela 6.6, assim como aos custos do método proposto, a diferença em módulo e o percentual entre eles. Traçando o comparativo notou-se que o custo total da priorização de veículos do método proposto é menor do que o custo da priorização adotada pela empresa.

Tabela 6.6 - Comparativo dos custos da instância 1 para método proposto e adotado pela empresa.

| <b>Instância 1</b> |                       |                       |                       |                       |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>Custos</b>      | <b>Proposto</b>       | <b>Empresa</b>        | <b> Diferença </b>    | <b>Percentual</b>     |
| Falta de estoque   | R\$ 688.621,84        | R\$ 868.034,54        | R\$ 179.412,70        | Melhora de 21%        |
| Hora extra         | R\$ 27.000,00         | R\$ 45.000,00         | R\$ 18.000,00         | Melhora de 40%        |
| Sobre-estadia      | R\$ 9.000,00          | R\$ 4.500,00          | R\$ 4.500,00          | Piora de 100%         |
| <b>Total</b>       | <b>R\$ 724.621,84</b> | <b>R\$ 917.534,54</b> | <b>R\$ 192.912,70</b> | <b>Melhora de 21%</b> |

#### 6.2.2.2 Comparativo da Instância 2

Para instância 2, todos os custos da prioridade adotada pela empresa também foram calculados conforme abaixo:

O custo da sobre-estadia dos veículos é possível determinar considerando a disponibilidade dos veículos e os veículos que foram recebidos em cada período, no caso desta instância temos em  $t_1$  sobre-estadia de 23 carretas, para  $t_2$  de 15 carretas e em  $t_3$  temos sobre-estadia de 9 carretas, um total de 47 sobre-estadia vezes o valor de R\$ 750,00, igual a R\$ 35.250,00.

Em relação ao custo de horas extras, como mencionado no problema da instância 2, a empresa disponibilizou 13 janelas extras no dia 25, 7 janelas extras no dia 26 e 7 janelas extras dia 27 o que representa um total de 27 janelas extras. Sabendo que cada uma destas janelas equivale a 6 horas (carga estivada), foi disponibilizado um total de 162 horas extras. Este total de horas extras multiplicado pelo valor de cada hora extra, que é R\$ 1.500,00, no final o valor total de horas extras foram R\$ 243.000,00.

O custo da falta é encontrado multiplicando a quantidade dos produtos faltantes em cada um dos períodos (encontrado na Tabela 6.3) pelo valor do custo da falta de cada produto (tabela 5.4). Os resultados se encontram na Tabela 6.7.

Tabela 6.7 - Custo da falta de estoque na priorização adotada pela empresa para instância 2.

| Instância 2<br>(empresa) | Período t1                              | Período t2                              | Período t3                              | Total                                   |
|--------------------------|---|---|---|---|
| Produtos                 | Custo da falta de<br>estoque de produto |
| <i>i1</i>                | R\$ -                                   | R\$ 36.025,00                           | R\$ 2.079,00                            | R\$ 38.104,00                           |
| <i>i2</i>                | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   |
| <i>i3</i>                | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   |
| <i>i4</i>                | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   |
| <i>i5</i>                | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   |
| <i>i6</i>                | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   |
| <i>i7</i>                | R\$ 5.643,00                            | R\$ 12.716,00                           | R\$ 16.610,00                           | R\$ 34.969,00                           |
| <i>i8</i>                | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   |
| <i>i9</i>                | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   |
| <i>i10</i>               | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   |
| <i>i11</i>               | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   |
| <i>i12</i>               | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   |
| <i>i13</i>               | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   |
| <i>i14</i>               | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   |
| <i>i15</i>               | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   |
| <i>i16</i>               | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   |
| <i>i17</i>               | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   |
| <i>i18</i>               | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   |
| <i>i19</i>               | R\$ 21.964,00                           | R\$ 80.199,00                           | R\$ 110.181,00                          | R\$ 212.344,00                          |
| <i>i20</i>               | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   |
| <i>i21</i>               | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   |
| <i>i22</i>               | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   |
| <i>i23</i>               | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   |
| <i>i24</i>               | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   |
| <i>i25</i>               | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   |
| <i>i26</i>               | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   |
| <i>i27</i>               | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   |
| <i>i28</i>               | R\$ 29.104,00                           | R\$ 82.433,00                           | R\$ 154.598,00                          | R\$ 266.135,00                          |
| <i>i29</i>               | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   |
| <i>i30</i>               | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   | R\$ -                                   |
| <b>Total</b>             | R\$ 56.711,00                           | R\$ 211.373,00                          | R\$ 283.468,00                          | R\$ 551.552,00                          |

Os resultados dos custos da instância 2 para priorização da empresa estão na Tabela 6.8 assim como aos custos do método proposto, a diferença em módulo e o percentual entre eles. Traçando o comparativo notou-se nesta instância também, que o custo total da

priorização de veículos do método proposto é menor do que o custo da priorização adotada pela empresa.

Tabela 6.8 - Comparativo dos custos da instância 2 para método proposto e adotado pela empresa.

| <b>Instância 2</b> |                 |                |                    |                   |
|--------------------|-----------------|----------------|--------------------|-------------------|
| <b>Custos</b>      | <b>Proposto</b> | <b>Empresa</b> | <b> Diferença </b> | <b>Percentual</b> |
| Falta de estoque   | R\$ 244.618,00  | R\$ 551.552,00 | R\$ 306.934,00     | Melhora de 56%    |
| Hora extra         | R\$ 207.000,00  | R\$ 243.000,00 | R\$ 36.000,00      | Melhora de 15%    |
| Sobre-estadia      | R\$ 36.750,00   | R\$ 35.250,00  | R\$ 1.500,00       | Piora de 4%       |
| Total              | R\$ 488.368,00  | R\$ 829.802,00 | R\$ 341.434,00     | Melhora de 41%    |

Em resumo, nas duas instâncias (1 e 2) o custo total do método proposto é menor do que o custo da priorização adotada pela empresa, isso em função dos custos de hora extra e falta de estoque que são menores no método proposto. Já o custo da sobre-estadia no método proposto é maior em ambas instâncias, devido ao menor número de carretas recebidos, por exemplo: na instância 1, no método proposto foram recebidas 13 carretas contra 17 recebidas na priorização adotada pela empresa e na instância 2, no método proposto foram recebidas 23 carretas contra 27 recebidas na priorização adotada pela empresa.

Desta forma, podemos concluir neste capítulo que para os dois métodos propostos nas duas abordagens, os resultados dos métodos foram melhores do que a priorização adotada pela empresa, tornando os métodos uma ferramenta viável para aplicação com dados reais. Para a abordagem para minimizar a falta temos um percentual médio de melhora nas duas instâncias de 37.1% (13,5% na instância 1 e 60,7% na instância 2) e na abordagem para minimizar custos um percentual de melhora de 31% (21% na instância 1 e 41% na instância 2).

## 7 RESULTADOS DE DADOS ALEATÓRIOS

Este capítulo, apresenta os resultados de experimentos computacionais com dados aleatórios para uma avaliação complementar do desempenho dos modelos propostos neste trabalho. O capítulo está organizado da seguinte maneira: primeiramente são apresentadas as considerações para geração dos dados aleatórios, em seguida os experimentos e os resultados da primeira abordagem e por último, são apresentados as considerações complementares e os resultados da segunda abordagem.

### 7.1 ABORDAGEM PARA MINIMIZAR FALTA DE ESTOQUE

Para validação complementar dos modelos desenvolvidos foram realizados testes com dados aleatórios. Para isso, três grupos com nove exemplares cada foram gerados aleatoriamente considerando o número de docas disponíveis para *inbound*, uma vez que a complexidade do problema aumenta com o aumento do número de docas. Desta forma, o Grupo 1 compreende exemplares menores de duas docas, o grupo 2 envolve problemas moderados de cinco docas e por último, o grupo 3 que abrange problemas maiores de dez docas. As características dos exemplares estão indicadas na Tabela 7.1.

Tabela 7.1 - Características das instâncias geradas aleatoriamente

| Grupo | Número de instâncias | Número de Docas (K) | Número de Produtos (N) | Número de Carretas (J) | Número de Períodos de tempo (T) | Disponibilidade de carretas por período de tempo ( $Y_{jkt}$ ) |     |     |
|-------|----------------------|---------------------|------------------------|------------------------|---------------------------------|--|-----|-----|
|       |                      |                     |                        |                        |                                 | t1   | t2  | t3  |
| 1     | 1                    | 2                   | 31                     | 26                     | 1                               | 26   | -   | -   |
|       | 2                    | 2                   | 37                     | 34                     | 2                               | 34   | 34  | -   |
|       | 3                    | 2                   | 37                     | 34                     | 2                               | 24   | 34  | -   |
|       | 4                    | 2                   | 32                     | 61                     | 3                               | 61   | 61  | 61  |
|       | 5                    | 2                   | 32                     | 61                     | 3                               | 39   | 46  | 61  |
|       | 6                    | 2                   | 44                     | 61                     | 3                               | 61   | 61  | 61  |
|       | 7                    | 2                   | 22                     | 61                     | 3                               | 61   | 61  | 61  |
|       | 8                    | 2                   | 32                     | 56                     | 3                               | 56   | 56  | 56  |
|       | 9                    | 2                   | 32                     | 67                     | 3                               | 67   | 67  | 67  |
| 2     | 10                   | 5                   | 81                     | 58                     | 1                               | 58   | -   | -   |
|       | 11                   | 5                   | 122                    | 104                    | 2                               | 104  | 104 | -   |
|       | 12                   | 5                   | 122                    | 104                    | 2                               | 69   | 104 | -   |
|       | 13                   | 5                   | 129                    | 148                    | 3                               | 148  | 148 | 148 |
|       | 14                   | 5                   | 129                    | 148                    | 3                               | 66   | 100 | 148 |
|       | 15                   | 5                   | 178                    | 148                    | 3                               | 148  | 148 | 148 |
|       | 16                   | 5                   | 86                     | 148                    | 3                               | 148  | 148 | 148 |
|       | 17                   | 5                   | 129                    | 137                    | 3                               | 137  | 137 | 137 |
|       | 18                   | 5                   | 129                    | 158                    | 3                               | 158  | 158 | 158 |
| 3     | 19                   | 10                  | 270                    | 134                    | 1                               | 134  | -   | -   |
|       | 20                   | 10                  | 287                    | 136                    | 2                               | 136  | 136 | -   |
|       | 21                   | 10                  | 287                    | 136                    | 2                               | 93   | 136 | -   |
|       | 22                   | 10                  | 234                    | 267                    | 3                               | 267  | 267 | 267 |
|       | 23                   | 10                  | 234                    | 267                    | 3                               | 150  | 201 | 267 |
|       | 24                   | 10                  | 241                    | 267                    | 3                               | 267  | 267 | 267 |
|       | 25                   | 10                  | 209                    | 267                    | 3                               | 267  | 267 | 267 |
|       | 26                   | 10                  | 234                    | 245                    | 3                               | 245  | 245 | 245 |
|       | 27                   | 10                  | 234                    | 283                    | 3                               | 283  | 283 | 283 |

Os parâmetros que compõe cada uma das instâncias foram estimados como segue:

- **Números das docas ( $k$ ) para recebimento:** considerou-se constante para cada instância testada, podendo assumir um número fixo de 2, 5 e 10.
- **Período de tempo ( $t$ ):** considerou-se constante para cada instância testada, podendo assumir ser de 1 a 3 dias, que se referem aos períodos críticos para o recebimento no final do mês;
- **Número de produtos ( $i$ ):** considerou-se um dado aleatório variando em função do número de docas disponíveis no CD, visto que conceitualmente quanto maior o número de produtos que a empresa movimenta, maior deve ser a capacidade do CD para esta movimentação. Desta forma temos:

$k = 2$  docas, aleatório entre 20-50;

$k = 5$  docas, aleatório entre 51-200;

$k = 10$  docas, aleatório entre 200-300.

- **Número de carretas ( $j$ ):** considerou-se um dado aleatório variando em função do número de docas disponíveis no CD e do período de tempo da instância, uma vez que para existir o problema, o número de carretas aguardando para descarregar deve ser maior do que a capacidade que as docas possuem para receber. Neste sentido, considerando que as docas operem na sua capacidade máxima de 24h e que o tempo de descarregamento mínimo é de 3 horas para carga paletizada, temos na tabela abaixo com o número de carretas possíveis de ser recebido:

Tabela 7.2 - Número de carretas possíveis de receber em função do número de docas e períodos considerados.

| <b>Número de carretas capaz de receber</b> |           |           |           |
|--|-----------|-----------|-----------|
| <b>Nº de Docas / Período de tempo</b>      | <b>t1</b> | <b>t2</b> | <b>t3</b> |
|  | <b>24</b> | <b>48</b> | <b>72</b> |
| 2  | 16        | 32        | 48        |
| 5  | 40        | 80        | 120       |
| 10   | 80        | 160       | 240       |

Desta forma, em função do número de docas e período de tempo considerado na instância, temos o número de carretas disponíveis para descarregar. O número de carretas é um dado aleatório que varia em função da capacidade das docas em receber, por exemplo: para duas docas operando em apenas em um período de tempo foi considerado que o número de carretas aguardando para descarregar varia entre 17 e 32 carretas, no caso de dois períodos de 33 até 48 carretas e no caso de três períodos varia entre 49 e 80 que é o número da capacidade do segundo período do número de docas seguinte.

- **Capacidade máxima (em tempo) doca ( $C_{kt}$ ):** considerou-se constante para cada doca no valor de 24 horas.
- **Tempo para descarregamento da carreta ( $E_j$ ):** pode ser 3 ou 6 horas, sendo obtido aleatoriamente seguindo a proporcionalidade de 60% para carreta estiva de 6h para descarregar e 40% para carga paletizada de 3h, uma vez que no estudo de caso estudado em média o CD recebe 60% de carga estivada por mês.
- **Estoque inicial do produto ( $I_{i0}$ ) ou Falta inicial do produto ( $F_{i0}$ ):** considerou-se um número aleatório entre 1 – 30000 caixas, com probabilidade de acontecer de 80% para estoque e 20% para falta. Visto que na última semana do mês deveria ter no CD a grande maioria dos estoques de produtos para atender a demanda do mês. Uma consideração importante neste modelo é o fato de que se existir estoque não deve existir a falta e vice-versa.

- **Demanda do produto ( $D_{it}$ ):** considerou-se um número aleatório entre 0 – 5000 de caixas por período.
- **Quantidade do produto na carreta ( $A_{ij}$ ):** considerou-se um número aleatório baseado no número máximo de palete por carreta que é de 56 paletes. Desta forma, primeiramente para cada produto determinou-se a sua paletização (dado aleatório entre 72 – 576 caixas) e a sua probabilidade de chance estar na carreta era de 20%; depois disso, para os produtos que estava em cada uma das carretas foi determinado uma quantidade de produto aleatória entre 1 e 32256 caixas e calculou-se o número de paletes de cada uma destas quantidades e finalmente com a quantidade total de produtos fez uma proporcionalidade para garantir que cada uma das carretas tenha em média 56 paletes.
- **Disponibilidade da carreta ( $Y_{jt}$ ):** este parâmetro varia em função dos períodos de tempo considerados em cada uma das instâncias, ou seja, para instâncias com apenas um período de tempo  $t1$ , todas as carretas estão disponíveis neste período; para instância com dois períodos  $t1$  e  $t2$ , no  $t1$  temos disponibilidade de 65 a 70% das carretas e em  $t2$  100% das carretas; finalmente, para instâncias com três períodos, temos em  $t1$  disponibilidade de 40% a 65% das carretas, em  $t2$  de 66% a 76% das carretas e em  $t3$  temos 100% das carretas disponíveis.

Os resultados obtidos para primeira abordagem estão divididos em três grupos e são apresentados nas tabelas (Tabela 7.3, Tabela 7.4 e tabela 7.5).

Tabela 7.3 - Resultados do Grupo 1 de instâncias aleatórias

| Número da instância | Número de interações | Número de nós | Tempo em que a solução final foi encontrada (segundos) | Solução final (número de caixas faltantes) | Gap absoluto | Gap relativo |
|---------------------|----------------------|---------------|--|--|--------------|--------------|
| 1                   | 52                   | 6             | 3,718  | 58995,00                                   | 0            | 0,00%        |
| 2                   | 1414                 | 507           | 1,750  | 166952,00                                  | 0            | 0,00%        |
| 3                   | 481                  | 215           | 1,653  | 175696,00                                  | 0            | 0,00%        |
| 4                   | 2527                 | 553           | 2,040  | 38762,00                                   | 0            | 0,00%        |
| 5                   | 53                   | 0             | 1,716  | 66714,00                                   | 0            | 0,00%        |
| 6                   | 312                  | 28            | 1,862  | 193058,00                                  | -6,18874E-05 | 0,00%        |
| 7                   | 100                  | 0             | 1,600  | 1248,00                                    | -4,54747E-13 | 0,00%        |
| 8                   | 2523                 | 481           | 2,015  | 40874,00                                   | 0            | 0,00%        |
| 9                   | 3205                 | 622           | 2,119  | 23696,00                                   | 0            | 0,00%        |

Tabela 7.4 - Resultados do Grupo 2 de instâncias aleatórias

| Número da instância | Número de interações | Número de nós | Tempo em que a solução final foi encontrada (segundos) | Solução final (número de caixas faltantes) | Gap absoluto | Gap relativo |
|---------------------|----------------------|---------------|--|--|--------------|--------------|
| 10                  | 709                  | 75            | 1,839  | 139849,00                                  | 5,82077E-11  | 0,00%        |
| 11                  | 7021                 | 1490          | 3,410  | 423092,00                                  | 0            | 0,00%        |
| 12                  | 31188                | 9292          | 5,398  | 451043,00                                  | 0            | 0,00%        |
| 13                  | 13289                | 1249          | 5,381  | 545810,00                                  | -2,32831E-10 | 0,00%        |
| 14                  | 7795                 | 676           | 2,940  | 646161,00                                  | 0            | 0,00%        |
| 15                  | 7852                 | 530           | 2,453  | 1167569,00                                 | 2,32831E-10  | 0,00%        |
| 16                  | 12110330             | 1358538       | 3600,656   | 286323,00                                  | 385,5184006  | 0,13%        |
| 17                  | 13316                | 1392          | 3,414  | 565493,00                                  | 0            | 0,00%        |
| 18                  | 21112                | 2079          | 6,967  | 550654,00                                  | -6,98492E-10 | 0,00%        |

Tabela 7.5 - Resultados do grupo 3 de instâncias aleatórias

| Número da instância | Número de interações | Número de nós | Tempo em que a solução final foi encontrada (segundos) | Solução final (Número de caixas faltantes) | Gap absoluto | Gap relativo |
|---------------------|----------------------|---------------|--|--|--------------|--------------|
| 19                  | 629                  | 0             | 0,608  | 570022,00                                  | 0            | 0,00%        |
| 20                  | 10466                | 502           | 2,579  | 1218392,00                                 | -7,43687E-05 | 0,00%        |
| 21                  | 6741                 | 510           | 4,922  | 1255738,00                                 | 2,32831E-10  | 0,00%        |
| 22                  | 20417                | 493           | 8,036  | 1349623,00                                 | 9,31323E-10  | 0,00%        |
| 23                  | 19634                | 535           | 6,616  | 1437587,00                                 | -1,16415E-09 | 0,00%        |
| 24                  | 27535                | 714           | 16,442   | 1338440,00                                 | -6,98492E-10 | 0,00%        |
| 25                  | 15094                | 470           | 8,889  | 1071824,00                                 | -1,33179E-07 | 0,00%        |
| 26                  | 19357                | 653           | 6,887  | 1390195,00                                 | 6,98492E-10  | 0,00%        |
| 27                  | 23031                | 509           | 11,941   | 1306985,00                                 | 2,32831E-10  | 0,00%        |

Os resultados dos estudos computacionais sobre o conjunto de exemplares aleatórios mostram que, o modelo proposto resolve todos os exemplares de forma ótima, com um tempo computacional médio para cada um dos grupos de: grupo 1 de 2,053 segundos, grupo 2 de 3,975 segundos (exceto pelo exemplar 16 que teve seu tempo computacional limitado em uma hora) e grupo 3 de 7,436 segundos, sendo que o máximo tempo computacional apresentado foi de 16,442 segundos para o exemplar número 24 e exceto pelo exemplar 16. Adicional a

isso, excluindo o exemplar 16, todos os exemplares apresentaram gap relativo e gap absoluto muito baixo, ou seja, muito próximo de zero.

Para o melhor entendimento do exemplar 16 que teve um tempo computacional alto, como pode ser visto na Tabela 7.6, foram feitos testes alterando alguns parâmetros: em 16\_1 foi apenas alterado o tempo limite de execução do solver de 3600 segundos cenário original para 360 segundos; em 16\_2 uma nova distribuição de produto  $A_{ij}$  foi gerada aleatoriamente; em 16\_3 a disponibilidade das carretas  $Y_{jt}$  ao longo dos períodos foi alterada aleatoriamente; e finalmente em 16\_4 foram alterados todos os dados aleatório, mantendo apenas o número de produtos de 86 e o número de carretas de 148.

Tabela 7.6 - Características das alterações do exemplar 16.

| Instâncias | Tipo de alteração                                   |
|------------|---|
| 16         | Problema original                                   |
| 16_1       | Limite de tempo computacional para 360 segundos     |
| 16_2       | Distribuição de produtos nas carretas               |
| 16_3       | Disponibilidade de carretas                         |
| 16_4       | Todos os dados exceto número de carretas e produtos |

Os resultados dos estudos computacionais sobre as alterações do exemplar 16 são apresentados na Tabela 7.7 e com base neles, notou-se que uma possível razão para o tempo computacional do exemplar 16 ter sido elevado é que os parâmetros aleatórios gerados para este exemplar em específico criou uma combinação de maior complexidade para o problema.

Tabela 7.7 - Resultados das alterações do exemplar 16.

| Número da instância | Número de interações | Número de nós | Tempo em que a solução final foi encontrada (segundos) | Solução final (Número de caixas faltantes) | gap absoluto | gap relativo |
|---------------------|----------------------|---------------|--|--|--------------|--------------|
| 16                  | 12110330             | 1358538       | 3600,656   | 286323,00                                  | 385,5184006  | 0,13%        |
| 16_1                | 1134818              | 117198        | 361,135  | 286323,00                                  | 530,5395249  | 0,19%        |
| 16_2                | 9909983              | 2510834       | 3600,760   | 281294,00                                  | 5,638710385  | 0,00%        |
| 16_3                | 4149187              | 523997        | 1287,614   | 295393,00                                  | 0            | 0,00%        |
| 16_4                | 1332795              | 222244        | 427,175  | 245014,00                                  | 0            | 0,00%        |

Além disso, algumas premissas básicas ficam claras nos exemplares, tais como: quanto maior número de carretas disponíveis no primeiro período menor a falta de estoque do que se as carretas forem disponibilizadas ao longo dos períodos; quanto maior o número de produtos maior a falta dos produtos; quanto maior o número de carretas para descarregar menor deveria ser a falta de estoque de produtos. Sabendo que estas premissas logicamente dependem da demanda, do estoque ou falta inicial dos produtos e da quantidade de produtos em cada uma das carretas.

Desta forma, os resultados mostram que o modelo proposto pode ser utilizado como uma ferramenta para priorização *inbound* em centros de distribuição, independentemente do número de produtos, docas e carretas envolvidos nos problemas, especialmente porque casos reais no setor de bens de consumo não duráveis não envolvem números de grande dimensão para estes parâmetros.

## 7.2 ABORDAGEM PARA MINIMIZAR CUSTOS

Para validação complementar do modelo gerado na abordagem para minimizar os custos foram realizados testes com os dados aleatórios. Estes dados na sua maioria iguais aos dados gerados na abordagem para minimizar a falta de estoque, exceto os dados referentes às docas. Além disso, novos dados aleatórios foram gerados, tais como:

- Custo unitário de hora extra ( $q$ ): considerou-se um valor aleatório entre R\$ 1.000,00 – R\$ 5.000,00.
- Custo unitário de sobre-estadia ( $s$ ): considerou-se um valor aleatório entre R\$ 500,00 – R\$ 1.000,00.
- Capacidade em tempo por período ( $C_t$ ): considerou-se um valor constante para o grupo 1 de 48 horas, para o grupo 2 de 120 horas e para grupo 3 de 240 horas.
- Hora extra máxima por período ( $Om_t$ ): considerou-se um valor constante por grupo e por período de tempo. Desta forma, para o grupo 1 de 6 horas, para o grupo 2 de 9 horas e para grupo 3 de 12 horas.
- Custo da falta de estoque do produto ( $P_i$ ): considerou-se um valor aleatório entre R\$ 2,00 – R\$ 20,00.

Três grupos com nove exemplares cada foram gerados aleatoriamente e as características dos exemplares estão indicadas na Tabela 7.8 e os seus resultados estão apresentados na Tabela 7.9.

Tabela 7.8 - Características das instâncias geradas aleatoriamente.

| Grupo | Instâncias | Períodos de tempo (T) | Produtos (N) | Carretas (J) | Capacidade no período t (horas) |     |     | Hora extra por período máxima (horas) | Disponibilidade da carreta em t |     |     | Custos                                  |  |
|-------|------------|-----------------------|--------------|--------------|---------------------------------|-----|-----|---------------------------------------|---------------------------------|-----|-----|---|--|
|       |            |                       |              |              | t1                              | t2  | t3  |                                       | t1                              | t2  | t3  | Custo unitário de hora extra (g) em R\$ | Custo unitário de sobre-estadia (s) em R\$ |
| 1     | 1          | 1                     | 31           | 26           | 48                              | -   | -   | 6                                     | 26                              | -   | -   | 2604                                    | 958  |
|       | 2          | 2                     | 37           | 34           | 48                              | 48  | -   | 6                                     | 34                              | 34  | -   | 4711                                    | 961  |
|       | 3          | 2                     | 37           | 34           | 48                              | 48  | -   | 6                                     | 24                              | 34  | -   | 4711                                    | 961  |
|       | 4          | 3                     | 32           | 61           | 48                              | 48  | 48  | 6                                     | 61                              | 61  | 61  | 3269                                    | 778  |
|       | 5          | 3                     | 32           | 61           | 48                              | 48  | 48  | 6                                     | 39                              | 46  | 61  | 3269                                    | 778  |
|       | 6          | 3                     | 44           | 61           | 48                              | 48  | 48  | 6                                     | 61                              | 61  | 61  | 3269                                    | 778  |
|       | 7          | 3                     | 22           | 61           | 48                              | 48  | 48  | 6                                     | 61                              | 61  | 61  | 3269                                    | 778  |
|       | 8          | 3                     | 32           | 56           | 48                              | 48  | 48  | 6                                     | 56                              | 56  | 56  | 3269                                    | 778  |
|       | 9          | 3                     | 32           | 67           | 48                              | 48  | 48  | 6                                     | 67                              | 67  | 67  | 3269                                    | 778  |
|       | 10         | 1                     | 81           | 58           | 120                             | -   | -   | 9                                     | 58                              | -   | -   | 2402                                    | 811  |
| 2     | 11         | 2                     | 122          | 104          | 120                             | 120 | -   | 9                                     | 104                             | 104 | -   | 2564                                    | 568  |
|       | 12         | 2                     | 122          | 104          | 120                             | 120 | -   | 9                                     | 69                              | 104 | -   | 2564                                    | 568  |
|       | 13         | 3                     | 129          | 148          | 120                             | 120 | 120 | 9                                     | 148                             | 148 | 148 | 2795                                    | 862  |
|       | 14         | 3                     | 129          | 148          | 120                             | 120 | 120 | 9                                     | 66                              | 100 | 148 | 2795                                    | 862  |
|       | 15         | 3                     | 178          | 148          | 120                             | 120 | 120 | 9                                     | 148                             | 148 | 148 | 2795                                    | 862  |
|       | 16         | 3                     | 86           | 148          | 120                             | 120 | 120 | 9                                     | 148                             | 148 | 148 | 2795                                    | 862  |
|       | 17         | 3                     | 129          | 137          | 120                             | 120 | 120 | 9                                     | 137                             | 137 | 137 | 2795                                    | 862  |
|       | 18         | 3                     | 129          | 158          | 120                             | 120 | 120 | 9                                     | 158                             | 158 | 158 | 2795                                    | 862  |
|       | 19         | 1                     | 270          | 134          | 240                             | -   | -   | 12                                    | 134                             | -   | -   | 3358                                    | 644  |
|       | 20         | 2                     | 287          | 136          | 240                             | 240 | -   | 12                                    | 136                             | 136 | -   | 1135                                    | 851  |
| 3     | 21         | 2                     | 287          | 136          | 240                             | 240 | -   | 12                                    | 93                              | 136 | -   | 1135                                    | 851  |
|       | 22         | 3                     | 234          | 267          | 240                             | 240 | 240 | 12                                    | 267                             | 267 | 267 | 2428                                    | 789  |
|       | 23         | 3                     | 234          | 267          | 240                             | 240 | 240 | 12                                    | 150                             | 201 | 267 | 2428                                    | 789  |
|       | 24         | 3                     | 241          | 267          | 240                             | 240 | 240 | 12                                    | 267                             | 267 | 267 | 2428                                    | 789  |
|       | 25         | 3                     | 209          | 267          | 240                             | 240 | 240 | 12                                    | 267                             | 267 | 267 | 2428                                    | 789  |
|       | 26         | 3                     | 234          | 245          | 240                             | 240 | 240 | 12                                    | 245                             | 245 | 245 | 2428                                    | 789  |
|       | 27         | 3                     | 234          | 283          | 240                             | 240 | 240 | 12                                    | 283                             | 283 | 283 | 2428                                    | 789  |

Tabela 7.9 - Resultados do Grupo 1, 2 e 3 das instâncias aleatórias.

| Grupo | Instância | Resultados           |               |  |                               |              |              |  |
|-------|-----------|----------------------|---------------|--|-------------------------------|--------------|--------------|--|
|       |           | Número de interações | Número de nós | Tempo em que a solução final foi encontrada (segundos) | Solução final – Best (custos) | gap absoluto | gap relativo |  |
| 1     | 1         | 3                    | 0             | 1,214  | R\$ 795.581,10                | -2,32831E-10 | 0,00%        |  |
|       | 2         | 51                   | 0             | 1,588  | R\$ 1.471.692,30              | 1,62981E-09  | 0,00%        |  |
|       | 3         | 39                   | 0             | 1,703  | R\$ 1.550.161,44              | 7,45058E-09  | 0,00%        |  |
|       | 4         | 296                  | 17            | 1,844  | R\$ 384.090,82                | -1,74623E-10 | 0,00%        |  |
|       | 5         | 117                  | 5             | 1,650  | R\$ 644.115,84                | 0            | 0,00%        |  |
|       | 6         | 252                  | 14            | 1,808  | R\$ 1.780.534,67              | 4,65661E-10  | 0,00%        |  |
|       | 7         | 214                  | 25            | 1,835  | R\$ 92.275,00                 | 1,85682E-08  | 0,00%        |  |
|       | 8         | 198                  | 3             | 1,828  | R\$ 393.400,62                | -5,82077E-11 | 0,00%        |  |
|       | 9         | 944                  | 105           | 2,011  | R\$ 275.437,72                | 1,16415E-10  | 0,00%        |  |
|       | 10        | 16                   | 0             | 1,795  | R\$ 1.565.116,68              | 0            | 0,00%        |  |
| 2     | 11        | 244                  | 14            | 1,822  | R\$ 4.914.255,41              | 1,39698E-08  | 0,00%        |  |
|       | 12        | 479                  | 134           | 1,881  | R\$ 5.254.646,61              | -1,49012E-08 | 0,00%        |  |
|       | 13        | 4978                 | 650           | 2,393  | R\$ 7.556.892,66              | 7,45058E-09  | 0,00%        |  |
|       | 14        | 3676                 | 429           | 2,346  | R\$ 8.850.929,37              | -1,86265E-09 | 0,00%        |  |
|       | 15        | 414                  | 1             | 1,877  | R\$ 14.536.077,94             | 5,58794E-08  | 0,00%        |  |
|       | 16        | 8921                 | 653           | 4,188  | R\$ 4.157.276,76              | 0            | 0,00%        |  |
|       | 17        | 1425                 | 159           | 1,985  | R\$ 7.800.665,79              | 2,79397E-09  | 0,00%        |  |
|       | 18        | 5030                 | 499           | 3,066  | R\$ 7.673.191,59              | -9,31323E-10 | 0,00%        |  |
|       | 19        | 11                   | 0             | 1,703  | R\$ 65.888.990,97             | 2,98023E-08  | 0,00%        |  |
|       | 20        | 198                  | 0             | 1,700  | R\$ 113.878.695,69            | 2,98023E-08  | 0,00%        |  |
| 3     | 21        | 131                  | 0             | 1,667  | R\$ 118.251.625,40            | 5,96046E-08  | 0,00%        |  |
|       | 22        | 3970                 | 519           | 3,128  | R\$ 130.145.138,96            | 8,9407E-08   | 0,00%        |  |
|       | 23        | 708                  | 0             | 2,044  | R\$ 140.784.948,54            | 2,98023E-08  | 0,00%        |  |
|       | 24        | 7108                 | 627           | 4,799  | R\$ 127.437.917,30            | -4,47035E-08 | 0,00%        |  |
|       | 25        | 5043                 | 465           | 3,199  | R\$ 102.363.823,59            | 1,81794E-06  | 0,00%        |  |
|       | 26        | 2932                 | 485           | 2,417  | R\$ 135.748.591,17            | -2,98023E-08 | 0,00%        |  |
|       | 27        | 1344                 | 84            | 2,269  | R\$ 125.756.216,03            | 1,49012E-08  | 0,00%        |  |

Os resultados dos estudos computacionais sobre o conjunto de exemplares aleatórios mostram que, o modelo proposto resolve todos os exemplares de forma ótima, com um tempo computacional médio para cada um dos grupos de: grupo 1 de 1,720 segundos, grupo 2 de 2,373 segundos e grupo 3 de 2,547 segundos, sendo que o máximo tempo computacional apresentado foi de 4,799 segundos para o exemplar número 24. Também, um ponto notado é que em função do custo da falta de estoque ser maior quando comparado com o custo de hora extra e sobre-estadia, na maioria dos casos é preferível utilizar estas opções ao invés de deixar faltar produto. Adicional a isso, como a quantidade de hora extra é restrita por período, quando existe falta de estoque é preferível na maioria dos casos receber produto até o limite de horas extras do período ao invés de ter custos com falta de estoque e custo de sobre-estadia.

Em resumo, o modelo proposto na segunda abordagem pode ser utilizado como uma ferramenta para minimização dos custos envolvidos na priorização *inbound* em centros de distribuição independentemente do número de produtos e carretas envolvidos nos problemas, assim como do valor da hora extra cobrado e do custo de sobre-estadia gerado no caso do não recebimento quando o veículo já está disponibilizado.

### 7.3 CONCLUSÃO DOS DADOS ALEATÓRIOS

Os resultados dos estudos computacionais sobre o conjunto de exemplares aleatórios mostram que, as duas abordagens de minimização de falta de estoque e de minimização de custos apresentam um bom desempenho em todos os exemplares testados. Todos os exemplares foram resolvidos de forma ótima, em um tempo computacional médio de 3,323 segundos na maioria dos exemplares.

## 8 CONCLUSÕES FINAIS

### 8.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA

O objetivo deste trabalho consistiu no estudo do problema de priorização de *inbound* em centro de distribuições de uma empresa do setor de bens de consumo não-duráveis, um setor particularmente influenciado pela concentração de vendas no final do mês, o que agrega maior complexidade para suas operações e isso inclui a operação de recebimento. Visto que neste período, os centros de distribuição do setor estão focados no processo de expedição de produto para os clientes e existe uma restrição de capacidade para o recebimento, o que acaba gerando fila de carretas esperando para descarregar e produtos críticos para serem vendidos podem estar dentro das carretas na fila. Desta forma, a modelagem deste problema incorpora elementos e considerações importantes para o setor, especialmente pelo fato da empresa estudada ser bastante representativa para o setor.

Primeiramente, para abordar este problema de priorização de *inbound* neste período crítico, foram propostos dois modelos baseados em programação matemática que estão descritos nos capítulos 4 e capítulo 5. De forma geral, o modelo proposto na abordagem para minimizar a falta de estoque é diferente dos modelos apresentados na literatura, especialmente em função da sua função objetivo que está relacionada com a minimização da falta de estoque de produto e difere da maioria dos problemas que considera minimização de custos, tempo, entre outros. Na abordagem para minimizar os custos, o modelo tem como objetivo a minimização dos custos da falta de estoque, de horas extras e da taxa de sobre-estadia dos veículos. As duas abordagens combinam estruturas de modelagem clássicas para tratar um problema ainda não abordado na literatura.

Os estudos computacionais foram realizados em duas instâncias baseadas em dados reais e um comparativo com a priorização adotada pela empresa foi realizado. Os modelos conseguiram encontrar uma solução ótima em questões de segundos (em média 1,674 segundos). Desta forma, o modelo evidenciou um baixo custo computacional necessário para resolução de problema de tamanho real. Além disso, as formulações do modelo foram testadas em exemplos de dados gerados aleatoriamente, a fim de verificar a adequação ao problema estudado e algumas variações de cenários são propostos para melhor validação. A partir dos resultados obtidos nos estudos computacionais para dados aleatórios observou que os modelos encontram a solução ótima em praticamente todos cenários propostos.

Do ponto de vista acadêmico, considerando que o setor de bens de consumos, assim como as operações em centros de distribuição são temas muito estudados, este trabalho apresenta contribuições, uma vez que aborda o pico de vendas no final do período de comercialização, que é uma particularidade do setor de bens não duráveis. Os impactos deste fenômeno são pouco discutidos na literatura, particularmente na operação de *inbound*. A abordagem utilizada é baseada na combinação e adaptação de problemas clássicos para representar as decisões envolvidas.

Do ponto de vista prático, o estudo de caso comprovou que os resultados gerados são viáveis do ponto de vista real e podem ser utilizados para auxiliar o processo de tomada de decisão da empresa, uma vez que o método de solução proposto além de ser eficiente no tempo de resposta, também traz de forma estruturada quais carretas que devem ser recebidas, em quais docas e em quais períodos de tempo. Adicional a isso, possibilita a realização de cenários para avaliação. Neste sentido, um problema que demanda uma carga horária alta de um funcionário para realizar estes cálculos manualmente e chegar a uma solução, com maiores chances de erros, em função principalmente do número de dados envolvidos no problema, é resolvido pela abordagem proposta neste trabalho em questão de segundos.

## 8.2 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Embora o estudo de caso único tenha apresentado a viabilidade nos resultados apresentados, permitindo realizar uma generalização do problema e dos modelos desenvolvidos, a ampliação e a realização de outros estudos de caso permitiriam a generalização estatística dos resultados e um melhor entendimento da concentração de venda no final do período de comercialização.

Conforme mencionado na pesquisa, o modelo da abordagem para minimizar a falta de estoque apresenta limitações em relação ao tempo de descarregamento e o tempo disponível das docas, isso significa dizer que se a capacidade da doca não for múltipla de 3 ou 6 horas dependendo das carretas disponível para carregar, sempre restará uma capacidade ociosa na doca, uma vez que os modelos não possibilitam recebimento parcial das carretas e nem continuação no período seguinte.

Além disso, em razão da própria função objetivo traçada para o modelo da abordagem de minimização da falta, uma vez que a falta de estoque é cessada para todos os produtos, mesmo ainda existindo capacidade nas docas e carretas aguardando para descarregar, o modelo não determina o recebimento de mais nenhuma carreta. Na prática, a empresa

continuará recebendo por FIFO, já que a ordem de recebimento não teria mais impacto direto na falta de estoque e nível de serviço junto ao cliente.

Da mesma forma, em relação ao modelo proposto na abordagem para minimizar os custos, o custo da falta de estoque de produto considera apenas o lucro que a empresa deixou de ganhar com a venda do produto por falta de estoque. No entanto, esta perda na prática é muito maior, pois podem existir acordos comerciais envolvendo multas por atraso de entregas de pedidos, cancelamento de pedidos como um todo e não somente do produto faltante e entre outros, fora os custos da imagem da empresa junto aos clientes. Custos estes que são difíceis mensurar para incluir no modelo.

### 8.3 PERSPECTIVAS PARA FUTURAS PESQUISAS

Os resultados encontrados nesta pesquisa, bem como as particularidades deste sistema, instigam o desenvolvimento de pesquisas futuras em relação a priorização de *inbound* em Centros de Distribuições, dentre as quais temos:

O sequenciamento de veículos não foi realizado e foi apenas determinado quais carretas receber em cada período de tempo. Desta forma, o modelo pode ser aperfeiçoado através da inclusão desta sequência.

Algumas considerações e premissas foram adotadas para o desenvolvimento do modelo e neste sentido, seria possível adicionar outras decisões ao modelo atual, como por exemplo, diferenciar os tipos de carretas e docas, cargas incompletas, entre outras, de forma a levar ao aprimoramento e desenvolvimento teórico e prático.

Esta pesquisa focou no setor de bens de consumo não duráveis. Neste sentido, seria possível expandir o estudo para outros setores ou indústrias para avaliar possíveis extensões da proposta.

Também combinar a otimização com simulação, incorporando novas decisões e ampliando o escopo de decisão do problema proposto.

No problema estudado foi considerado a disponibilidade dos veículos como sendo determinísticas, ou seja, um parâmetro fixo no problema. No entanto, poderá ser interessante considerar no modelo proposto a chegada de veículos ao longo do tempo e as suas incertezas, uma vez que o tempo de chegada dos veículos sofre bastante com as incertezas de problemas ocorridos em função do tráfego, clima, entre outros.

## REFERÊNCIAS

- ALPAN, G.; LARBI, R.; PENZ, B. A bounded dynamic programming approach to schedule operations in a cross docking platform. *Computers & Industrial Engineering*, Amsterdam, v. 60, p. 385 – 396, 2011.
- ALVES, N. F.; ARIMA, C. H. A logística no comércio eletrônico de uma livraria brasileira. *Contabilidade Vista & Revista*, Belo Horizonte, n. 15, p. 91 - 110, abr. 2004. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=197018279007>>. Acesso em: 06 jun. 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SUPERMERCADOS (ABRAS). *ABRAS Brasil*. 2014. Disponível em: <<http://www.abras.com.br/clipping.php?area=20&clipping=46661>>. Acesso em: 14 abr. 2015.
- BALLOU, R. H. *Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial*. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 616 p.
- BARROS, V. H. *Problema de alocação de berços em portos graneleiros com restrições de estoque e condições favoráveis de maré*. 2010. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletricidade) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2010.
- BELLE, J. V. et al. A tabu search approach to the truck scheduling problem with multiple docks and time windows. *Computer & Industrial Engineering*, Amsterdam, v. 66, p. 818 – 826, 2013.
- BELLE, J. V.; VALCKENAERS, P.; CATTRYSSE, D. Cross-docking: state of the art. *Omega*, Amsterdam, v. 40, p. 827 – 846, 2012.
- BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. *International Journal of Operations & Production Management*, Bingley, v. 2, n. 2, p. 241 – 264, 2002.
- BIERWIRTH, C.; MEISEL, F. A survey of berth allocation and quay crane scheduling problems in container terminal. *European Journal of Operational Research*, Amsterdam, v. 202, p. 615–627, 2010.
- BOWERSOX, D. J.; COOPER, M. B.; CLOSS, D. J. *Gestão logística de cadeias de suprimentos*. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BOYSEN, N.; FLIEDNER, M.; SCHOLL, A. Scheduling inbound and outbound trucks at cross docking terminals. *OR Spectrum*, New York, v. 32, p. 135 –161, 2010.
- CALAZANS, F. *Centros de distribuição: análise setorial centros de distribuição, panorama setorial*. São Paulo: Gazeta Mercantil, 2001.
- CHENG, C.-H.; HO, S. C.; KWAN, C.-L. The use of meta-heuristics for airport gate assignment. *Expert System with Applications*, Elmsford, v. 39, p. 12430-12437, 2012.
- CHING, H. Y. *Gestão de estoques na cadeia de logística integrada*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 254 p.

DELOITTE TOUCHE TOHMATSU. *Os poderosos da indústria de bens de consumo – 2014: o consumidor conectado em constante evolução*. Disponível em: <<http://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/br/Documents/consumer-business/Ind%C3%BAstriaBensConsumo2014.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2015.

ERNST & YOUNG TERCO. *Brasil sustentável: Crescimento econômico e potencial de consumo*. Disponível em: <[http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/Crescimento\\_Economico\\_e\\_Potencial\\_de\\_Consumo/%24FILE/Potencial\\_de\\_consumo\\_port\\_2011.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/Crescimento_Economico_e_Potencial_de_Consumo/%24FILE/Potencial_de_consumo_port_2011.pdf)>. Acesso em: 14 abr. 2014.

FALCÃO, R. F. *Gestão de estoques: uma ferramenta para a redução de custos*. 2008. 203 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Administração) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

FARIA, A. C.; COSTA, M. D. F. G. *Gestão de custos logísticos: Custeio Baseado em Atividades (ABC), Balanced Scorecard (BSC), Valor Econômico Agregado (EVA)*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007. 431 p.

GENÇ, H. M. et al. A stochastic neighborhood search approach for gate assignment problem. *Expert Systems with Applications*, Elmsford, v. 39, p. 316-327, 2012.

GU, J.; GOETSCHALCKX, M.; MCGINNIS, L. F. Research on warehouse operation: a comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, Amsterdam, v. 177, p. 1-21, 2007.

IMAIA, A. et al. Berth allocation in a container port: using a continuous location space approach. *Transportation Research Part B*, Amsterdam, v. 39, p. 199 - 221, 2005.

LIAO, T. W.; EGBELU, P. J.; CHANG, P. C. Simultaneous dock assignment and sequencing of inbound trucks under a fixed outbound truck schedule in multi-door cross docking operations. *International Journal Production Economics*, Amsterdam, v. 141, p. 212 - 229, 2013.

MIAO, Z.; LIM, A.; MA, H. Truck dock assignment problem with operational time constraint within crossdocks. *European Journal of Operational Research*, Amsterdam, v. 192, p. 105 - 115, 2009.

MITROFF, I. I. et al. On managing science in the systems age: two schemas for the study of science as a whole systems phenomenon. *Interfaces*, Catonsville, v. 4, n. 3, p. 46 - 58, maio 1974.

MONILOC LOGÍSTICA E PROCESSOS. *Agendamento de docas e monitoramento de processos logísticos*. 2015. Disponível em: <[www.moniloc.com.br/downloads/apresentacao\\_moniloc.pps](http://www.moniloc.com.br/downloads/apresentacao_moniloc.pps)>. Acesso em: 12 abr. 2015.

MORALES, S. R.; MORABITO, R.; WIDMER, J. A. Otimização do carregamento de produto em caminhões. *Gestão & Produção*, São Carlos, v. 4, n. 2, p. 234 - 252, ago. 1997.

- MOREIRA, M. *FGV aponta que economia brasileira deve crescer menos em 2015*. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2014-12/fgv-aponta-que-economia-brasileira-deve-crescer-menos-em-2015>>. Acesso em: 2015 abr. 14.
- MOURA, R. A. *Manual de logística: armazenagem e distribuição física*. São Paulo: IMAM, 1997. v. 2, 343 p.
- MULATO, F. M.; DE OLIVEIRA, M. M. B. O impacto de um sistema de agendamento antecipado de docas para carga e descarga na gestão da cadeia de suprimentos. *Revista Produção*, Florianópolis, v. 10, n. 10, p. 1 - 20, 2010.
- NETO, S. A. L. *Relacionamentos no canal de distribuição de alimentos no Brasil: uma investigação exploratória*. 2004. 176 f. Tese (Doutorado em Administração de Empresas) - Escola de Administração de Empresas de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2004.
- NOVO Milênio. *Vantagens e desvantagens*. 2003. Disponível em: <<http://www.novomilenio.inf.br/porto/conte%i24.htm>>. Acesso em: 27 maio 2015.
- PAGNANI, É. M. *Os produtos bens e suas relações com a mercadologia*. Disponível em: <[http://www3.eco.unicamp.br/neit/images/stories/CTAE\\_CD2/produtos\\_bens\\_relacoes\\_mercadologia.pdf](http://www3.eco.unicamp.br/neit/images/stories/CTAE_CD2/produtos_bens_relacoes_mercadologia.pdf)>. Acesso em: 01 abr. 2015.
- PRANDI, A. *E-commerce impulsiona ações de marketing*. Disponível em: <<http://www.kantarworldpanel.com/br/Releases/E-commerce-impulsiona-acoes-de-marketing-que-geram-resultado>>. Acesso em: 26 out. 2014.
- RODRIGUES, G. G.; PIZZOLATO, N. D. Centros de distribuição: armazenagem estratégica. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 23., 2003, Ouro Preto. *Anais...* Porto Alegre: ABEPRO, 2003. p. 1 - 8.
- RODRIGUES, I. B. G.; ROSA, R. D. A. Modelo matemático para o problema de alocação de berços contínuo (pabc) com restrições espaciais e temporais aplicado a uma base de apoio a plataformas de petróleo. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE, 27., 2013, Belém. *Anais...* Espírito Santo, 2013. p. 1-12.
- ROUWENHORST, B. et al. Warehouse design and control: framework and literature review. *European Journal of Operational Research*, Amsterdam, v. 122, p. 515-533, 2000.
- SALLES, F. *Problemas e soluções no recebimento de produtos*. Disponível em: <<http://www.sm.com.br/detalhe/problemas-e-solucoes-no-recebimento-de-produtos>>. Acesso em: 27 maio 2015.
- SANCHES, L. M. *Análise do acúmulo da demanda logística no final do período de comercialização: um modelo de Dinâmicas de Sistema para o setor de bens de consumo brasileiro*. 2009. 287 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009a.
- SANCHES, L. M. Pico de vendas no final do mês: parte 1. *Cargo News Revista de Comércio Internacional e Logística*, Campinas, n. 122, p. 1 - 4, 2009b. Disponível em:

<<http://www.lalt.fec.unicamp.br/index.php/publicacoes/95-cargo-news/121-edicao-124-cargonews>>. Acesso em: 24 jul. 2014.

SANTOS, A. Centros de distribuição como vantagem competitiva. *Revista de Ciências Gerenciais*, São Paulo, v. 10, n. 12, p. 34-40, 2006.

SBARDELOTTO, L. F.; MICHEL, F. D. *Planejamento interno do armazém em um operador logístico: estudo de caso de um cliente*. 2010. 125 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SHAKERI, M.; LOW, M. Y. H.; LI, Z. A Generic model for crossdock truck scheduling and truck-to-door assignment problems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL INFORMATICS, 2008, Daejeon. *Anais...* Daejeon: INDIN, 2008. p. 857 - 864.

SIGNIFICADOS.COM.BR. *Significado de bens de consumo*. Disponível em: <<http://www.significados.com.br/bens-de-consumo/>>. Acesso em: 05 maio 2014.

SOLVING the gate assignment problem. Disponível em: <[www.cs.uu.nl/docs/vakken/stt/Chapter-gates.pdf](http://www.cs.uu.nl/docs/vakken/stt/Chapter-gates.pdf)>. Acesso em: 14 abr. 2015.

SOUZA, D. *Estudo vê alta de 3% em consumo de não-duráveis em 2014*. Disponível em: <<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,estudo-ve-alta-de-3-em-consumo-de-nao-duraveis-em-2014,166841e>>. Acesso em: 04 nov. 2014.

TODESCO, F.; MÜLLER, C. *Otimização da designação de vôos aos gates no Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos*. Disponível em: <<http://www.sochitran.cl/wp-content/uploads/Acta-2007-19-01.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2014.

TOMPKINS, J. A.; SMITH, J. D. *The warehouse management handbook*. 2nd ed. Raleigh: Tompkins Press, 1998. 987 p.

TOSO, M. R. *Proposta de configuração de operação logística em centro de distribuição*. 2014. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2014.

VANTINEWS: logistics & supply chain consulting. Disponível em: <<http://www.vantine.com.br/logistica.asp?chamada=pontodevista063>>. Acesso em: 26 nov. 2014.

VIEIRA, J. G. V. *Avaliação do estado de colaboração logística entre indústria de bens de consumo e rede de varejo supermercadista*. 2006. 222 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

YAN, S.; HUO, C.-M. Optimization of multiple objective gate assignments. *Transportation Research Part A*, Oxford, v. 35, p. 413 - 432, 2001.