

FERNANDO YUDI SAKAGUTI

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE *PICKING* DE UM CENTRO DE
DISTRIBUIÇÃO ATRAVÉS DA PROGRAMAÇÃO DINÂMICA.**

**Dissertação apresentada como requisito
parcial à obtenção de grau de Mestre em
Ciências, Programa de Pós-Graduação em
Métodos Numéricos em Engenharia,
Setores de Ciências Exatas e Tecnologia,
Universidade Federal do Paraná.**

**Orientador: Prof. Dr. Arinei Carlos
Lindbeck da Silva**

**Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Deise Maria
Bertholdi Costa**

**CURITIBA
2007**

TERMO DE APROVAÇÃO

Fernando Yudi Sakaguti

“Otimização do Processo de *Picking* de um Centro de Distribuição através da Programação Dinâmica.”

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no curso de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia – Área de Concentração em Programação Matemática, Setores de Tecnologia e de Ciências Exatas da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador:

Prof. Dr. Arinei Carlos Lindbeck da Silva
Departamento de Matemática da UFPR

Co-Orientadora:

Prof^a. Dr^a. Deise Maria Bertholdi Costa
Departamento de Desenho da UFPR

Prof. Dr. Celso Carnieri
Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em
Engenharia – UFPR

Prof. Dr. Lauro Cesar Galvão
Departamento de Matemática da UTFPR

Curitiba, 14 de Setembro de 2007.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, professor Arinei Carlos Lindbeck da Silva, pelos conselhos e correções que tanto contribuíram para a realização deste trabalho.

À professora Deise Maria Bertholdi Costa, pelas tantas correções e revisões feitas para a escrita desta dissertação.

Ao amigo Aramis pela ajuda com a programação do software desenvolvido para a obtenção dos resultados.

Ao amigo Cassius pelas sugestões para o desenvolvimento e na finalização deste trabalho.

À querida amiga Maristela, pelo seu brilho natural, que sempre trás mais alegria ao ambiente de estudo.

Aos professores: Celso, Anselmo e Maria Terezinha pelos conhecimentos transmitidos que deram base à realização deste trabalho.

Às pessoas que estiveram ao meu lado nesse período de estudo: Edevilson, Gláucio, Luiz, Lucas, Maiko, Pavanelli, Ricardo, Rodrigo e Roberto.

À CAPES pelo apoio financeiro durante o curso de mestrado.

E, finalmente, aos meus pais, Katumi e Cristina, pelo incentivo que eles têm me dado pela concluir mais esta fase da minha vida, e à minha namorada, Gisele, que tem me apoiado nas horas mais difíceis e compartilhado dos momentos de conquistas durante o período de mestrado.

Você não pode ensinar nada a um homem; você pode apenas ajudá-lo a encontrar a resposta dentro dele mesmo.

Galileu Galilei

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO	3
1.1.1 Objetivos Gerais	3
1.1.2 Objetivos Específicos	3
1.2 IMPORTÂNCIA DO TRABALHO	4
1.3 LIMITAÇÕES DO TRABALHO	5
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	5
2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	7
2.1 O PROBLEMA REAL	7
2.2 CARACTERÍSTICAS DE UM CD	8
2.3 OPERAÇÕES DE PICKING (SEPARAÇÃO E COLETA DO PEDIDO).....	12
2.4 DESCRIÇÃO DO CD	15
2.5 SOLUÇÃO ATUAL UTILIZADA PELA EMPRESA.....	17
2.6 DADOS FORNECIDOS PELA EMPRESA ESTUDADA	19
3 REVISÃO DA LITERATURA	21
3.1 TRABALHOS RELACIONADOS	21
3.2 REVISÃO PARA O ROTEAMENTO DE VEÍCULOS	25
3.2.1 O Problema do Caixeiro Viajante.....	26
3.2.2 O Problema dos Múltiplos Caixeiros Viajantes (PMCV)	26
3.2.3 O Problema de Roteamento Clássico (PRV).....	27
3.2.4 Formulação Matemática para o PRV	28
3.3 O MÉTODO DA PROGRAMAÇÃO DINÂMICA APLICADO AO PCV	30
3.3.1 Programação Dinâmica (PD).....	30

3.3.2 Uma Formulação da PD para o Problema do Caixeiro Viajante (PCV)	32
4 IMPLEMENTAÇÃO E RESULTADOS	39
4.1 ABORDAGEM DO PROBLEMA REAL ATRAVÉS DA PROGRAMAÇÃO DINÂMICA.....	39
4.1.1 Leitura de Dados.....	39
4.1.2 Tarefas Realizadas a Partir da Leitura.....	40
4.2 O PROCESSO DE BUSCA DOS ITENS DO EMBARQUE.....	44
4.3 RESULTADOS OBTIDOS.....	47
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	51
REFERÊNCIAS	54
ANEXO 1 – DESCRIÇÃO COMPLETA DO EMBARQUE 7763	59
ANEXO 2 – RESULTADOS DOS TESTES 1 A 5 PARA O EMBARQUE 7763	63

LISTA DE QUADROS

QUADRO 2.1	Dados reais dos carregamentos	19
QUADRO 2.2	Tempo médio de conferência e carregamento de um caminhão	20
QUADRO 2.3	Tempo de carregamento completo	20
QUADRO 3.1	Exemplo PCV	36
QUADRO 4.1	Resultados obtidos pelo programa nos testes 1 a 5.	48
QUADRO 4.2	Velocidade média para cada embarque.	49
QUADRO 4.3	Tempo estimado para a busca dos itens em cada teste.....	49
QUADRO 4.4	Tempo total de carregamento dos embarques.....	50
QUADRO 4.5	Comparação dos resultados	50
QUADRO AN1.1	Embarque 7763.....	59
QUADRO AN2.1	Resultado do teste 1 para o embarque 7763	63
QUADRO AN2.2	Resultado do teste 2 para o embarque 7763	67
QUADRO AN2.3	Resultado do teste 3 para o embarque 7763	72
QUADRO AN2.4	Resultado do teste 4 para o embarque 7763	77
QUADRO AN2.5	Resultado do teste 5 para o embarque 7763	82

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1	Funções e fluxo do armazém típico.....	10
FIGURA 2.2	Distribuição típica das despesas operacionais de armazenagem.....	12
FIGURA 2.3	Distribuição típica do tempo de um separador de pedidos.....	13
FIGURA 2.4	<i>Layout</i> do CD.....	17
FIGURA 3.1	Exemplo simples de um Caixeiro Viajante	26
FIGURA 3.2	Exemplo de um PMCV.....	27
FIGURA 4.1	Fluxograma genérico do programa.....	44

LISTA DE SIGLAS

AS/RS	– <i>Automatic Storage and Retrieval Systems</i>
AVOLI	– Ambiente Visual para Otimização de <i>Layout</i> Industrial
CD	– Centro de Distribuição
EDD	– <i>Earlies Due Date</i>
HFVRP	– <i>Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem</i>
HFVRPTWSD	– <i>Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Time Windows and Split Deliveries</i>
JIT	– <i>Just In Time</i>
LIFO	– <i>Last In First Out</i>
PCV	– Problema do Caixeiro Viajante
PD	– Programação Dinâmica
PGR	– Problema Bidimensional Guilhotinado Restrito
PMCV	– Problema dos Múltiplos Caixeiros Viajantes
PRV	– Problema de Roteamento de Veículos
RAM	– <i>Random Access Memory</i>
SS	– <i>Scatter Search</i>
VRP	– <i>Vehicle Routing Problem</i>
VRPSD	– <i>Vehicle Routing Problem Split with Deliveries</i>
VRPTW	– <i>Vehicle Routing Problem with Time Windows</i>

RESUMO

Neste trabalho é apresentada uma proposta de mudança na estratégia de carregamento de um caminhão no Centro de Distribuição de uma empresa de produtos alimentícios. Esta proposta consiste em fazer a busca dos produtos de um embarque na área de *picking* e o carregamento destes bloco por bloco no sistema *LIFO* (*last in first out*), respeitando a restrição de capacidade do *pallet* e a restrição de fragilidade dos produtos. O problema está relacionado ao Problema Clássico de Roteamento de Veículos, em que o funcionário da empresa tem que visitar n nós, tendo como único depósito a doca em que o caminhão está estacionado, respeitando as restrições descritas anteriormente, de modo a minimizar a distância percorrida e consequentemente o tempo de carregamento de um caminhão. Para resolver este problema fez-se um algoritmo baseado em Programação Dinâmica. O algoritmo foi aplicado a oito exemplos de embarques fornecidos pela empresa. Os resultados obtidos foram comparados com os respectivos dados reais dos exemplos de embarques fornecidos pela empresa. Os resultados mostraram-se satisfatórios.

ABSTRACT

In this work, a proposal is presented for changes in the loading strategy of trucks in a food producer Distribution Centre. This proposal consists in the fetching of products to be loaded from the picking area and on the loading itself, block by block through the LIFO (last in first out) system, while respecting the pallet capacity and product fragility restrictions. The problem is related to the classic vehicle routing problem, on which the company employee is supposed to scout throughout n locations, having the truck docking space as the only deposit. This must be done minimizing the distance among the locations, and, consequently, the truck loading time. In order to solve this problem, a Dynamic Programming algorithm based has been made, applied to eight sample loadings supplied by the company. The results have been compared to the respective actual data from the company loadings, and they have shown to be satisfactory.

1 INTRODUÇÃO

Um Centro de Distribuição (CD), também conhecido como armazém, não é utilizado exclusivamente para a estocagem de produtos. Várias atividades fazem parte do processo de movimentação de materiais para dentro e para fora do CD (ALVES, 2000), (BALLOU, 1993).

Um CD é utilizado para a gestão dos estoques dos produtos a serem distribuídos pela empresa. As atividades de um CD vão desde o recebimento dos produtos a serem estocados até a expedição dos pedidos aos clientes. Dentre essas atividades, a separação de pedidos (*picking*) é a atividade mais prioritária do armazém para a melhoria da sua produtividade (TOMPKINS *et al.*, 1998).

Os produtos possuem particularidades que devem ser consideradas no momento da carga, como: fragilidade das embalagens, prazo de validade, formato das embalagens e peso. Para que o produto seja finalmente carregado no caminhão um processo de conferência deve ser realizado, evitando erro de quantidades de produtos em relação aos pedidos do embarque.

A área de *picking* de um CD é o local onde se prepara e/ou busca os produtos em quantidades menores, daquelas armazenadas no CD, para separação de um pedido.

No CD estudado, de uma empresa de produtos alimentícios, o carregamento completo de um caminhão (separação, conferência e carregamento dos produtos de um pedido) leva, em média, quatro horas e meia. Este tempo elevado, de acordo com as informações obtidas junto à empresa, tem como principal consequência a redução do número de caminhões embarcados diariamente.

Sabendo desta realidade, desenvolveu-se este trabalho com a finalidade de agilizar o tempo de carregamento dos caminhões, podendo ser realizadas as entregas aos clientes com maior rapidez, obtendo um nível maior de satisfação dos mesmos.

Para o carregamento os caminhões são posicionados em locais próprios, as docas, onde recebem os produtos de acordo com o roteiro de entrega. As entregas, na maioria das vezes, são em locais distintos e por esse motivo os produtos devem ser

carregados no sistema *LIFO* (*last-in-first-out*), o último pedido que entra no caminhão é o primeiro que será descarregado (GROSS & HARRIS, 1974),(KLEINROCK,1975).

O carregamento completo de um caminhão pode ser dividido em três etapas: separação, conferência e o embarque dos produtos. A separação inicia-se na designação de um funcionário à tarefa de buscar na área de *picking* os diversos itens pertinentes aos pedidos do embarque, após selecionar os produtos ele deve levá-los até a doca, a esta fase de seleção e deslocamento denominamos de viagem.

O funcionário, quando realiza uma viagem, deve aproveitar o máximo de espaço disponível na paleteira (equipamento manual utilizado pelo funcionário na separação). O tempo de separação é considerado desde a liberação dos funcionários para a primeira viagem até a última viagem chegar à doca. Na segunda etapa de carregamento devem-se conferir as quantidades de cada item separado com o pedido, para que sejam colocados dentro do caminhão. Essa conferência pode ser manual ou eletrônica.

A conferência pode ser realizada ou não ao mesmo tempo da separação dos produtos, dependendo do sistema e do processo implantado nas empresas. Na terceira etapa a burocracia é sempre a mesma para qualquer embarque dos produtos e, por isso, seu tempo será desconsiderado. A soma dos tempos de separação e conferência é o tempo total de embarque considerado neste trabalho.

A combinação de todas essas informações e a maneira de melhor relacioná-las pode fazer a diferença quanto à economia de tempo para o carregamento do caminhão.

Em um processo de fabricação de produtos podemos considerar três etapas: a produção, a armazenagem e a distribuição (FLEURY; WANKE; FIGUEIREDO, 2000). O foco deste trabalho é otimizar o processo final da armazenagem (separação e coleta, dentro de um armazém, dos produtos pedidos pelos clientes) até o início da distribuição (carregamento do caminhão).

1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

1.1.1 Objetivos Gerais

Os objetivos gerais do trabalho são:

Para o problema no processo de *picking*:

- Reduzir o tempo para o carregamento dos produtos no caminhão, sem que haja mais investimentos em mão-de-obra e equipamento.

Para o roteamento de múltiplos caixeiros viajantes:

- Desenvolver um programa computacional para fazer o roteamento de múltiplos caixeiros viajantes através da Programação Dinâmica (PD), para a busca dos produtos de um embarque.
- Construir um seqüenciamento de coleta dos produtos de um embarque, procurando minimizar a distância percorrida pelo funcionário da empresa, dentro da nova estratégia de carregamento proposta.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para o problema no processo de *picking*:

- Minimizar o tempo de busca dos produtos de um embarque maximizando a quantidade de caminhões carregados por dia.
- Implementar a metodologia desenvolvida em um programa computacional eficiente e de fácil utilização.

- Fazer uma breve discussão sobre como melhorar o procedimento de carregamento de um caminhão utilizando a estrutura encontrada atualmente na empresa.
- Propor a implementação de uma nova estratégia para o carregamento de caminhões da empresa.

Para o roteamento de múltiplos caixeiros viajantes:

- Aplicação da Programação Dinâmica ao problema de múltiplos caixeiros viajante.
- Comparar os resultados obtidos pela metodologia estudada e o tempo atual de carregamento dos caminhões.

1.2 IMPORTÂNCIA DO TRABALHO

A melhoria no processo de *picking* dentro de um CD implicará na redução do tempo de carregamento dos produtos de um embarque (vários pedidos em um único veículo) no caminhão, acarretando em um maior número de embarques realizados ao final de cada dia, e conseqüentemente a entrega de um número maior de pedidos por dia. Assim, a satisfação do cliente será maior, pois o seu pedido poderá ser entregue com mais rapidez (LACERDA, 2003). Para a empresa, o investimento em estrutura física, em equipamentos e em material humano, para o processo de estocagem, será menor, já que será explorada ao máximo a estrutura existente.

Com a otimização neste processo ter-se-á também a redução na área das docas (área destinada a colocar os produtos após a sua retirada da área de *picking* e antes de serem colocadas no caminhão), já que não será mais utilizado todo este espaço, e com isso, uma ampliação nas estruturas físicas do CD poderá ocorrer, aumentando assim sua vida útil.

Otimizando a utilização da estrutura do CD, a empresa reduz os custos de armazenagem dos seus produtos podendo oferecer ao mercado um produto mais

barato, facilitando a venda deste, já que se terá um produto de mesma qualidade com custos mais baratos. Deste modo, o resultado da otimização sugerida neste trabalho trará maior poder de concorrência para a empresa, sem que a mesma abra mão da qualidade de seus produtos.

1.3 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

O estudo de caso feito neste trabalho limita-se em estudar oito exemplos de embarques completos, devido às informações cedidas pela empresa. Os dados fornecidos pela empresa possuem informações que são retiradas das experiências pessoais dos seus funcionários, como por exemplo, o cálculo da média do tempo de conferência dos produtos nas docas.

Os resultados obtidos servirão apenas para um parâmetro de comparação da empresa, até que a mesma queira implementar o sistema, já que um embarque é carregado somente uma vez, por razões óbvias, e não existem embarques 100% idênticos.

O trabalho também é limitado por realizar o roteamento para a busca e a coleta dos produtos do pedido sem propor uma localização ideal para os mesmos, o que diminuiria ainda mais a distância percorrida pelo funcionário que fará a coleta dos produtos na área de *picking*.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está organizado da seguinte forma:

No capítulo 1 é feita a introdução, que descreve os objetivos, a importância e as limitações encontradas para a realização deste trabalho.

No capítulo 2 é descrito o problema real com todas as particularidades pertinentes para a solução, o detalhamento das características do Centro de Distribuição estudado e suas atividades e o modo com que a empresa atua diante deste problema são apresentadas neste capítulo.

No capítulo 3 faz-se uma revisão bibliográfica de trabalhos que abordaram problemas com casos similares e de trabalhos que envolvem programação dinâmica, fazendo breves relatos destes, além de apresentar aspectos teóricos de Problemas de Roteamento. Também é feita uma explanação do método utilizado para a solução do problema, mostrando as formulações matemáticas envolvidas e construindo uma base teórica que envolve a Programação Dinâmica (PD).

No capítulo 4 são apresentadas a implementação computacional da Programação Dinâmica e a comparação entre os resultados, obtidos neste trabalho, e os dados reais da empresa.

Por fim, no capítulo 5 é realizada uma análise dos resultados obtidos e são feitas sugestões para trabalhos futuros.

2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Este capítulo apresenta uma breve descrição das características e operações dentro de um CD, destacando a importância da operação de *picking* no processo de carregamento de um caminhão. Além disso, faz-se uma descrição de como esse processo de carregamento do caminhão é realizado na empresa estudada e apresentam-se os dados reais de oito embarques efetuados em um determinado período.

2.1 O PROBLEMA REAL

As operações de armazenagem têm sofrido crescentes exigências nos CDs. Menos dispostos a manter grandes estoques, os clientes procuram fazer pedidos cada vez menores e com mais frequência, aumentando a demanda pelas operações de *picking*, além de dificultá-las quando se trabalha com pedidos fracionados.

As indústrias têm aumentado o número de *sku's* (*stock keeping unit* ou unidades ou itens dos produtos em estoque) para atingir nichos de mercado específicos (TOMPKINS *et al.*, 1998) e, além disso, as variações de tamanho das embalagens com que os produtos são comercializados no varejo aumentam o número de itens a serem controlados, processados e manuseados nos armazéns, implicando em diminuição da produtividade, maior necessidade de espaço e maiores custos administrativos.

Por estarem trabalhando com níveis de estoque mais baixos, os clientes buscam menores tempos de resposta dos fornecedores, aumentando a necessidade de agilidade nos CDs, que passam a ter menor tempo entre o recebimento do pedido e sua expedição nas docas.

Também por trabalharem com baixos estoques, os pedidos recebidos incompletos ou errados têm grande probabilidade de levar à falta de produtos e a perdas de venda, tornando praticamente zero a tolerância dos clientes a erros dos distribuidores. E, como agravante, considerando que os pedidos tornam-se menores, de maior frequência, o custo para corrigir os erros é muito maior.

A solução tradicional atual ao aumento dessas exigências é adquirir recursos adicionais tais como: pessoas, equipamentos e espaço físico. Infelizmente, estes recursos podem ser difíceis de obter e manter devido à escassez e custo de mão-de-obra especializada e as grandes exigências nos padrões de segurança dos operadores, encarecendo o custo sobre as operações de armazenagem.

Quando a mão-de-obra não é a resposta, normalmente recorre-se à mecanização e automação como um meio de atender às exigências crescentes. Infelizmente, nosso histórico de aplicação de alta tecnologia às operações de armazenagem para substituir a mão-de-obra não tem sido satisfatório (TOMPKINS *et al.*, 1998).

Diante deste contexto e sem uma capacidade alta de investimento em novos recursos, o planejamento e a gestão das atuais são operações essenciais. Para enfrentar a situação, é preciso buscar soluções de baixo custo de modo a melhorar os processos de gerenciamento dos armazéns e centros de distribuição.

Então, visando a melhoria dos processos de armazenagem, esse capítulo tem como objetivo descrever a atual situação da empresa estudada, relacionando os grandes problemas nas operações de armazenagem.

2.2 CARACTERÍSTICAS DE UM CD

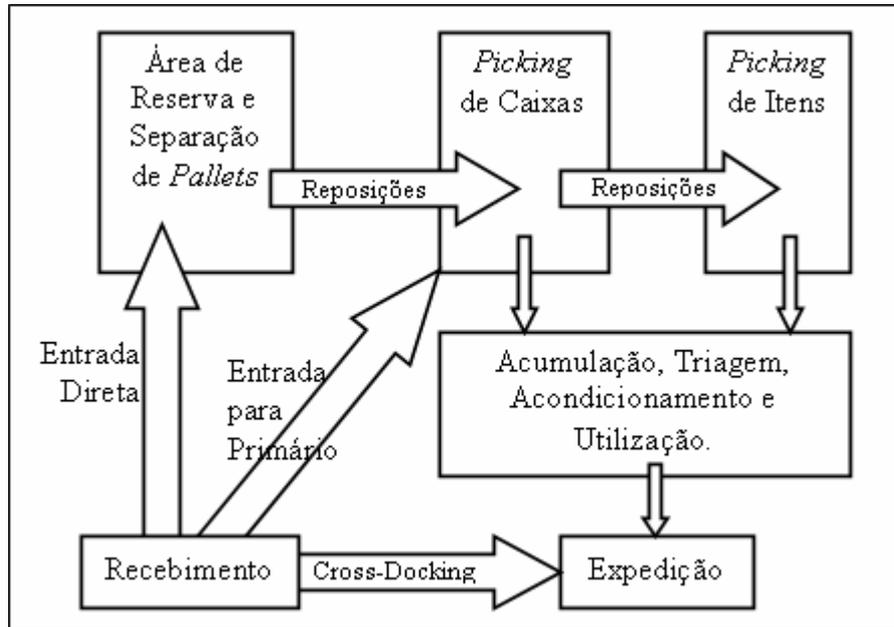
Há muito tempo um CD deixou de ser utilizado exclusivamente para a estocagem de produtos. Atualmente, várias atividades fazem parte do processo de movimentação de materiais para dentro e para fora de um CD.

Dentre as mais conhecidas estão:

- **Recebimento:** é a atividade que envolve, além do recebimento de materiais que chegam ao armazém, a garantia de que a quantidade e a qualidade destes materiais correspondem ao pedido e a entrega destes à área de estocagem;
- **Pré-embalagem (opcional):** refazem as embalagens recebidas em quantidades comercializáveis, ou em combinações com outras peças para formar *kits* ou sortimentos;

- **Entrada de materiais:** é o ato de colocar mercadorias na área de estocagem. Inclui transporte e colocação;
- **Estocagem:** é a contenção física da mercadoria enquanto aguarda um pedido;
- **Separação de pedidos (*picking*):** é o processo de remover itens da área de estocagem para atender um pedido específico. Representa o serviço básico que um armazém fornece ao cliente;
- **Embalagem e/ou determinação de preços (opcional):** itens individuais ou sortimentos são encaixotados para um uso mais conveniente após o processo de *picking*;
- **Triagem:** separação de lotes em pedidos individuais e a acumulação de separações distribuídas em pedidos devem ser realizadas quando um pedido possui mais de um item e a acumulação não é realizada no momento das separações;
- ***Packing* e expedição:** são atividades que incluem a verificação dos pedidos, a embalagem das mercadorias em um contêiner, preparação dos documentos de expedição, a pesagem dos pedidos para determinar as taxas de expedição, o acúmulo dos pedidos por transportadora e o carregamento dos caminhões;
- ***Cross-docking* (opcional):** as mercadorias recebidas da doca de recebimento vão diretamente à doca de expedição, como mostra a FIGURA 2.1.
- **Reposição (opcional):** é repor locais de separação primários, onde é realizado o *picking*, a partir de locais de estocagem de reserva.

FIGURA 2.1 Funções e fluxo do armazém típico.



Os caminhões se posicionam em áreas próprias tanto para o recebimento de mercadorias vindas de outros pontos de fabricação, quanto para a expedição dos produtos armazenados no CD. Estas áreas são as docas. Estas contêm espaço suficiente para colocar os produtos antes de despachá-los.

Para a armazenagem dos produtos, há prateleiras com várias colunas ao longo de sua extensão e vários níveis de altura, formando assim um endereço de armazenagem de produto em cada coluna de cada nível, sendo cada endereço localizado por lado informações: rua, coluna, altura e lado (direito ou esquerdo).

O espaço de cada endereço vai depender do tamanho dos *pallets* com os produtos vindos da produção ou recebidos de outros pontos de fabricação. Os *pallets* são estrados de madeira ou plástico (com dimensão de, aproximadamente, um metro por um metro) onde se coloca a carga, dotados de aberturas na parte inferior para o acesso dos garfos dos veículos de movimentação (carregadeiras) dentro do CD. Entre as prateleiras há ruas, onde há espaço suficiente para a movimentação do separador.

Nas prateleiras há alguns endereços (nos primeiros níveis) abertos chamados de túneis, que servem para o separador passar de uma rua a outra sem que ele precise dar a volta em toda a coluna.

Para a movimentação de produtos (ALVARENGA & NOVAES, 1994) os equipamentos mais comuns são: as paleteiras e as empilhadeiras. As paleteiras são equipamentos manuais que conseguem acessar somente o nível mais baixo, ou seja, os endereços que ficam no chão. As empilhadeiras são equipamentos motorizados e que conseguem acessar todos os níveis de armazenagem.

Dentro de um CD existe também a área de *picking*. Esta área tem a função de estocar produtos para a separação e encaminhamento até as docas. Os endereços do nível mais baixo de cada prateleira e mais próximos das docas de expedição, em geral, são destinadas a esta área.

O carregamento completo de um caminhão pode ser dividido em três etapas: separação, conferência e o embarque dos produtos. A separação inicia-se na designação de um ou mais funcionários à tarefa de buscar na área de *picking* os diversos itens pertencentes ao embarque. Após selecionar os produtos ele deve levá-los até a doca, a esta fase de seleção e deslocamento denominamos de viagem. O separador, quando realiza uma viagem, deve aproveitar o máximo de espaço disponível na paleteira.

As entregas, na maioria das vezes, são em locais distintos e por esse motivo os produtos devem ser carregados no sistema *LIFO* (*last-in-first-out*), ou seja, o último pedido que entra no caminhão é o primeiro que será descarregado (GROSS & HARRIS, 1974). Os produtos possuem particularidades que devem ser consideradas no momento de sua coleta e de sua carga, como fragilidade das embalagens, prazo de validade, formato das embalagens e peso.

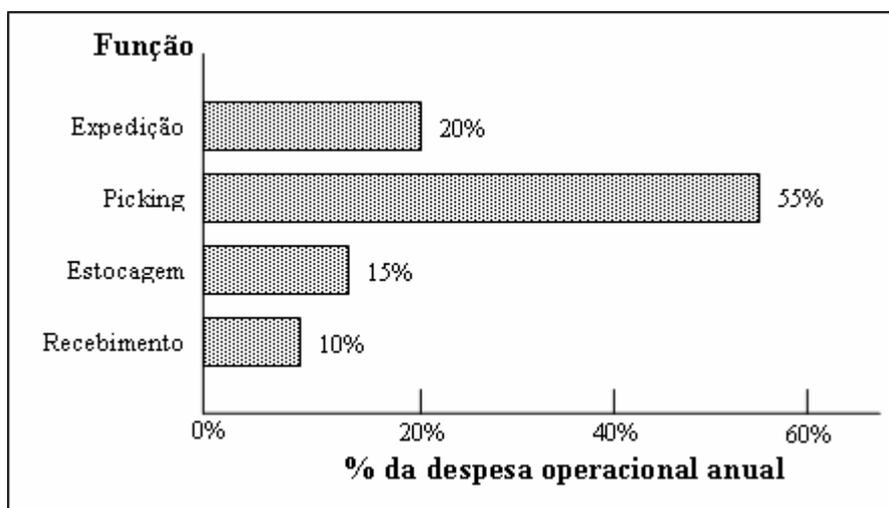
A soma dos tempos de separação e conferência é o tempo total de embarque considerado neste trabalho. A combinação de todas essas informações e a maneira de relacioná-las pode fazer a diferença quanto à economia de tempo para o carregamento do caminhão.

2.3 OPERAÇÕES DE PICKING (SEPARAÇÃO E COLETA DO PEDIDO)

Uma pesquisa de profissionais de armazenagem (TOMPKINS *et al.*, 1998) identificou o *picking* ou separação de pedidos como a atividade mais prioritária do armazém para a melhoria da produtividade. Há vários motivos para a sua preocupação. O primeiro e principal é que o *picking* é a atividade mais cara de um armazém típico. Um estudo (TOMPKINS *et al.*, 1998) no Reino Unido revelou que 55% de todos os custos operacionais de um armazém típico podem ser atribuídos ao *picking* (figura 2.2). O segundo é que a atividade de separação de pedidos se tornou cada vez mais difícil de gerir. A dificuldade resulta da introdução de novos programas operacionais como *just-in-time* (JIT), redução do tempo de ciclo e resposta rápida. Terceira, a ênfase renovada nas melhorias da qualidade e do serviço ao cliente forçaram os gerentes de armazéns a reexaminar a atividade de *picking* sob o aspecto de minimizar os danos aos produtos, reduzir os tempos de transação e melhorar ainda mais a precisão da separação.

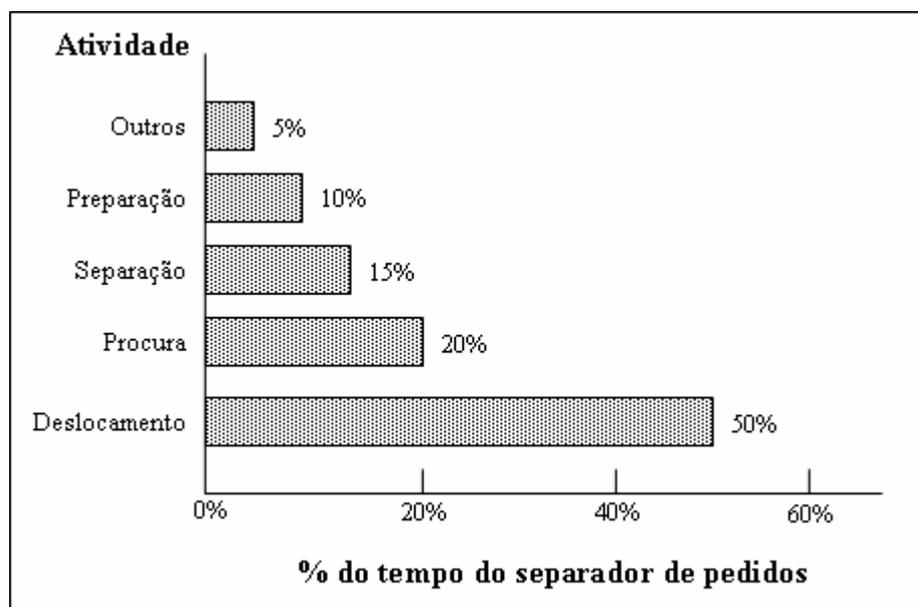
As soluções convencionais a estes problemas seriam mais contratações de mão-de-obra e a compra de equipamentos automatizados. Mas isso acarretaria em um custo maior ainda destinada a esta atividade.

FIGURA 2.2 Distribuição típica das despesas operacionais de armazenagem



Os elementos de trabalho humano (ALVES, 2000) envolvidos no *picking* podem incluir: deslocar-se para, de e entre locais de separação; extrair itens de locais de estocagem; esticar-se e curvar-se para acessar locais de separação; documentar transações de separação; separar itens em pedidos; embalar itens; e procurar locais de separação. Uma distribuição típica do tempo do separador entre estas atividades é fornecida na figura 2.3.

FIGURA 2.3 Distribuição típica do tempo de um separador de pedidos



Uma forma de reduzir o tempo de deslocamento total dos separadores é agrupar os pedidos em lotes. Quando um pedido é atribuído a mais de um separador, o esforço para estabelecer a integridade dos pedidos aumenta bastante. O custo adicional de triagem precisa ser avaliado em relação à economia de tempo de deslocamento resultante da separação em lotes. Há várias estratégias de agrupamento dos pedidos.

Dentre elas estão:

- **Picking Discreto:** No *picking* discreto, cada separador completa um pedido de cada vez. Esta estratégia equivale a percorrer o supermercado acumulando no carrinho os itens da lista de compras. Cada comprador está preocupado apenas

com sua lista. A principal vantagem do *picking* discreto é que a integridade do pedido nunca é prejudicada. A principal desvantagem é que o separador provavelmente terá de percorrer uma grande parte do armazém para separar o pedido. Conseqüentemente, o tempo de deslocamento por item individual separado é grande.

- ***Picking* por Lotes:** Uma segunda estratégia operacional para o *picking* é a separação em lotes. Em vez de o separador de pedidos trabalhar em apenas um pedido de cada vez, os pedidos são agrupados em lotes. Separadores de pedidos assumem a responsabilidade de coletar um lote de pedidos durante uma viagem de separação. No exemplo do supermercado, esta estratégia pode ser comparada a ir ao supermercado com sua lista de compras e aquelas de alguns de seus vizinhos. Em uma viagem pelo supermercado, a pessoa terá atendido vários pedidos. Como resultado, o tempo de deslocamento por item individual separado será reduzido em aproximadamente o número de pedidos por lote. A principal vantagem do *picking* por lotes é a redução do tempo de deslocamento por item individual. As principais desvantagens da separação em lotes são o tempo necessário para separar os itens individuais em pedidos dos clientes e o potencial de erros de separação.
- ***Picking* por Zonas:** No *picking* por zonas, um separador de pedidos dedica-se a separar os itens individuais em sua zona atribuída, um pedido de cada vez ou em lotes. No contexto do supermercado, a separação por zonas pode ser comparada à atribuição de um corredor por indivíduo. Este seria responsável por separar todos os itens individuais solicitados daquele corredor, independentemente do pedido que gerou a solicitação. Uma vantagem do *picking* por zonas é a economia de tempo de deslocamento. Como a área de alcance de cada separador se reduziu do armazém inteiro para um espaço menor, o tempo de deslocamento por item individual deve se reduzir em relação ao *picking* completo. De novo, essas reduções do tempo de deslocamento

precisam ser comparadas ao custo da triagem e potencial de erros no atendimento dos pedidos. Os benefícios adicionais da separação por zonas incluem a familiaridade do separador com os produtos de sua zona, menos interferência com outros separadores de pedidos e mais responsabilidade pela produtividade e manutenção dentro da zona.

2.4 DESCRIÇÃO DO CD

O CD estudado possui, atualmente, aproximadamente 350 produtos diferentes agrupados em 12 famílias de prioridade de carga. A prioridade de carga é a organização para carregamento dos produtos tanto sobre o *pallet* quanto dentro do caminhão, considerando a fragilidade das embalagens, e foi determinado pela própria empresa.

Os produtos estão organizados da seguinte forma:

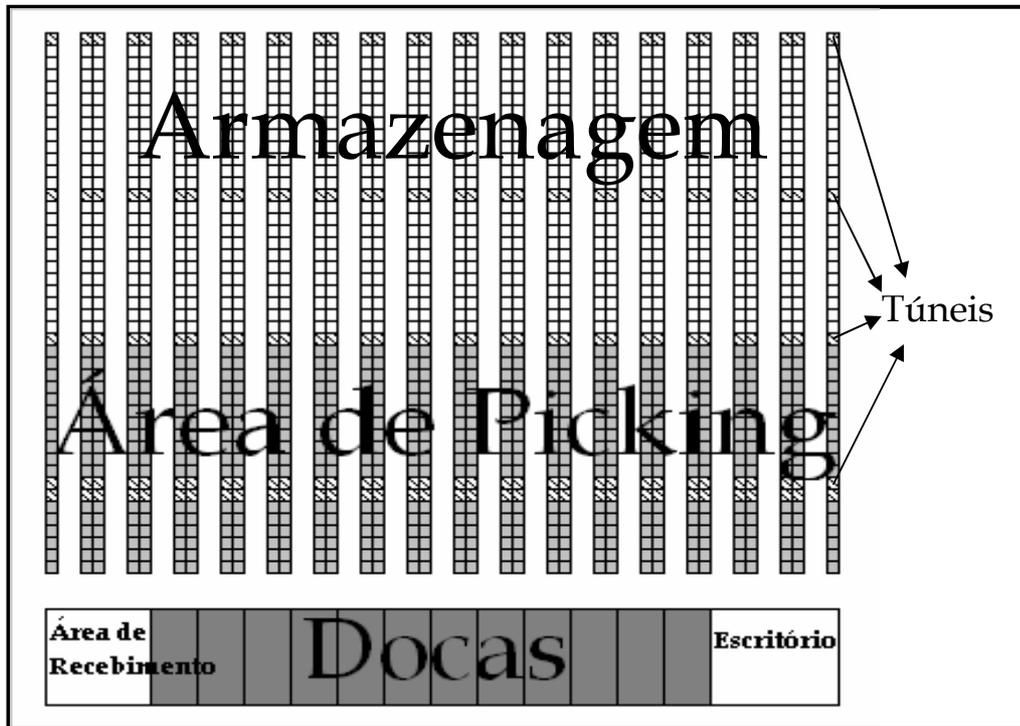
- **Família 1:** produtos que suportam o peso de quaisquer outros produtos inclusive de si próprio (os produtos que vão na parte de baixo de um *pallet*);
- **Família 2:** produtos que suportam o peso de quaisquer outros produtos inclusive de si próprio exceto dos da família 1 (produtos que vão na parte intermediária de um *pallet*);
- **Família 3:** produtos que suportam o peso de quaisquer outros produtos inclusive de si próprios exceto dos das famílias anteriores (produtos que vão na parte intermediária de um *pallet*);
- E assim sucessivamente, até a última família.
- **Família n:** produtos que não suportam o peso de nenhum outro produto a não ser de si próprio;

O *layout* do CD tem as seguintes características:

- 12.532 m² de área total;
- 13 docas (áreas onde os produtos são colocados, após a separação, para conferência e onde os caminhões encostam para o carregamento) com 18m x 6m, sendo 1 de recebimento e 12 de expedição de produtos;
- São 89 colunas para armazenagem em cada prateleira, com 5 níveis de altura, do nível 0 (nível do chão) até o nível 4, o que resulta num total de 15.110 endereços (espaço correspondente a um *pallet* “cheio” de qualquer produto). Cada *pallet* comporta um número diferente de itens (caixas, fardos, *display* e unidade), dependendo de como cada produto é comercializado.
- 17 ruas;
- Aproximadamente 50% dos endereços do armazém mais próximos das docas, no nível 0, compõem a área de *picking* dos produtos.

A figura 2.4 dá uma idéia aproximada do *layout* do CD.

FIGURA 2.4 *Layout do CD*



Como foi visto anteriormente, o processo de *picking* é a atividade, dentro de um CD, de maior custo. Uma estratégia otimizada de carregamento completo de um caminhão tem sido a busca constante da empresa para a maior satisfação dos clientes e a qualidade total em seus serviços.

2.5 SOLUÇÃO ATUAL UTILIZADA PELA EMPRESA

A estratégia de carregamento utilizada no CD pela empresa e o *picking* por lote é feita da seguinte forma:

- Relacionam-se todos os itens de um determinado produto do embarque, independente do pedido a que pertence, e gera-se uma tarefa ao funcionário que deve buscar todos esses itens, da área de *picking*, carregando-os nas paletesiras, e levando-os para a doca. Os itens são empilhados sobre o *pallet* que está vazio

sobre a paleteira e o funcionário que está efetuando a separação decide quando e o que levará para a doca. Nada impede que o funcionário leve poucos itens para doca, deixando assim espaços ociosos no *pallet*, conseqüentemente será necessário um número maior de viagens para separar todos os itens do embarque, e esta situação reflete diretamente no aumento de tempo de separação. Deste modo, são geradas as tarefas para todos os produtos do embarque e designadas para um número de funcionários suficiente para realização de toda a separação.

- Depois de separados, é feita a construção dos blocos de entrega. Para isso, tranca-se com cadeado os portões dessa doca para que nenhum produto seja extraviado e depois é feita uma verificação geral de todos esses produtos. Os blocos de entrega formam um conjunto de pedidos que será entregue em um mesmo local ou em locais muito próximos de acordo com a característica do embarque. Depois da formação dos blocos, deve ser feita uma conferência dos produtos para não faltar ou sobrar itens nos pedidos, dentro de cada bloco e em seguida levados ao caminhão. O gargalo do processo encontra-se exatamente neste ponto. O tempo de duração desta etapa é de aproximadamente 3,5 horas (na média geral dos pedidos).

A conferência eletrônica é muito eficaz quanto à confirmação da quantidade e controle de estoque, porém despense um tempo excessivo, pois o leitor óptico deve ser passado no código de barra de cada item, e como a quantidade de itens é muito grande, pode atrasar muito o carregamento total do caminhão. Com isso, no presente momento a empresa optou pela conferência manual, diminuindo o tempo desta tarefa, porém ficando mais suscetível a falhas no embarque.

O carregamento completo de um caminhão (*picking*, conferência e carregamento dos produtos) neste CD dura em média 4,5 horas (somente na conferência e carregamento dos produtos são gastos mais de 3,5 horas), carregando aproximadamente 35 caminhões por dia. Um número que poderia ser muito maior se o tempo do carregamento completo do caminhão fosse otimizado.

2.6 DADOS FORNECIDOS PELA EMPRESA ESTUDADA

Para o estudo da eficiência da metodologia aplicada a este trabalho, foram fornecidos, pela empresa pesquisada, os dados de oito carregamentos feitos num dado momento. Foram fornecidos dados de embarques de diferentes características como mostra o quadro 2.1 a seguir:

QUADRO 2.1 Dados reais dos carregamentos

Embarque	Peso (kg)	Número de Itens Diferentes	Número de Funcionários	Tempo de Busca (horas)	Distância Percorrida (metros)
7597	25.718,40	77	14	01:49	7.312,76
7763	7.731,75	100	14	00:40	4.120,96
7833	5.958,62	127	9	01:13	4.661,18
7835	6.605,54	126	8	01:08	3.760,88
7850	13.424,00	162	9	01:08	6.141,22
7859	3.208,28	102	8	00:28	2.761,74
7860	2.272,33	104	7	00:39	2.921,00
7867	13.330,27	121	22	02:22	5.194,88

No quadro acima, utilizando a linha três para exemplificar, referente ao embarque 7763, tem-se que o embarque possui um total de 7731,75 kg em produtos dispostos em 100 endereços diferentes dentro do CD, os quais foram coletados por quatorze funcionários em quarenta minutos e uma distância total percorrida de 4120,96 metros.

Foram fornecidos também tempos médios gastos para conferência de todo o embarque e o carregamento do caminhão. São considerados quatro tipos de caminhão para o carregamento: 4 000 kg, 8 000 kg, 14 000 kg e 27 000 kg. Assim os tempos fornecidos foram de acordo com o tipo de caminhão carregado, como mostra o quadro 2.2.

QUADRO 2.2 Tempo médio de conferência e carregamento de um caminhão

Caminhão	Tempo de Conferência e Carregamento
4.000	2 horas
8.000	2,5 horas
14.000	3,5 horas
27.000	4,5 horas

Logo, o tempo total de carregamento dos caminhões é igual a soma do tempo de busca dos itens do embarque com o tempo de conferência e carregamento do caminhão, como mostra o quadro a seguir:

QUADRO 2.3 Tempo de carregamento completo

Embarque	Tipo de Caminhão (kg)	Tempo de Busca (hh:mm)	Tempo de Conferência e Carregamento (hh:mm)	Tempo do Carregamento Completo (hh:mm)	% C/C
7597	27.000	01:49	04:30	06:19	71,24
7763	8.000	00:40	02:30	03:10	78,95
7833	8.000	01:13	02:30	03:43	67,26
7835	8.000	01:08	02:30	03:38	68,81
7850	14.000	01:08	03:30	04:38	75,54
7859	4.000	00:28	02:00	02:28	81,08
7860	4.000	00:39	02:00	02:39	75,47
7867	14.000	02:22	03:30	05:52	59,66

No quadro acima apresentado temos, por exemplo, na linha três, que no embarque 7763, cujo caminhão tem a capacidade de carregar 8000kg de produtos, todos os itens foram buscados na área de *picking* em 40 minutos, com o tempo de conferência e de carregamento de 2,5 horas, resultando um tempo total de 3 horas e 10 minutos. Na coluna 6 (%C/C) é apresentada a porcentagem que o tempo de conferência e carregamento representa em relação ao tempo total de carregamento do caminhão. Estas informações servirão de base para comparação com os resultados obtidos na aplicação da metodologia proposta neste trabalho.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo tem a finalidade de fazer uma revisão bibliográfica que serviu de suporte teórico ao desenvolvimento e resolução do problema definido no capítulo anterior. Começa descrevendo alguns trabalhos já realizados sobre CDs (suas atividades e *layout*), roteamento de veículos e Programação Dinâmica (PD), método utilizado para resolver o problema neste trabalho e em seguida, apresenta-se o PCV e suas variantes. Faz-se uma explicação mais detalhada da PD aplicada ao PCV.

3.1 TRABALHOS RELACIONADOS

Alguns trabalhos que serviram de referência para a elaboração do estudo, são apresentados abaixo, fazendo-se breves comentários. Esses trabalhos abordam os seguintes temas:

- Centros de Distribuição: *layout* e operações de armazenagem;
- Problemas de roteamento de veículos;
- Programação Dinâmica.

ZAMBONI, 1997, realizou um estudo de roteamento dos ônibus que prestam serviços a uma escola da cidade de Curitiba (PR), com o objetivo de resolver um problema de múltiplos caixeiros viajantes (PMCV) minimizando as rotas dos ônibus, levando-se em consideração suas capacidades.

NUNES, 1998, desenvolveu um estudo para minimizar o percurso total dos ônibus de uma empresa que faz condução de seus funcionários e que está situada no município de Araucária (PR). Esta situação caracteriza um PMCV, já que são vários veículos que devem visitar m -depósitos para entregar ou buscar os funcionários da empresa.

COSTA, 1997, propôs uma solução para o problema da entrega de correspondências realizada pelos serviços postais na cidade de Curitiba, em duas fases: na primeira, a região é dividida em sub-regiões formando distritos postais para cada

carteiro, enquanto que na segunda fase foi feito o roteamento de cada um desses distritos postais, formando assim o roteiro para cada um dos carteiros.

SARTORI JUNIOR, 2005, realizou um trabalho visando comparar duas abordagens distintas do Problema de Roteamento de Veículos aplicadas à situação de movimentação interna numa empresa fabril. Os métodos estudados foram: o uso das *p*-Medianas, em Teoria dos Grafos (Método Exato) e a Heurística de *Clark* e *Wright*.

BELFIORE, 2006, estudou a implementação de heurísticas e da metaheurística *Scatter Search* (SS) em um problema de roteamento de veículos com frota heterogênea, janelas de tempo e entregas fracionadas (*Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Time Windows and Split Deliveries* – HFVRPTWSD).

O HFVRPTWSD é uma combinação do problema de roteamento com frota heterogênea (HFVRP), problema de roteamento de veículos com janelas de tempo (VRPTW) e problema de roteamento com entregas fracionadas (VRPSD). O problema é baseado em um único depósito, a demanda dos clientes pode ser maior que a capacidade dos veículos e, além das restrições de janelas de tempo, há também restrições de capacidade dos veículos e restrições quanto ao tipo de veículo.

O VRPSD foi introduzido na literatura por DROR e TRUDEAU em 1989. No problema de roteamento de veículos com entregas fracionadas, cada cliente pode ser abastecido por mais de um veículo, enquanto no problema clássico de roteamento de veículos (VRP), cada cliente é atendido por um único veículo. Desta forma, para o VRPSD, além dos roteiros de entrega, deve-se determinar a quantidade entregue a cada cliente em cada veículo. Os modelos são aplicados em uma rede de varejo no Brasil que é abastecida a partir de um centro de distribuição. A rede compõe um total de 519 lojas distribuídas em 12 estados do país.

MORABITO e ARENALES, 1997, propõem três métodos de solução para o carregamento de itens (caixas) de diferentes tamanhos dentro de objetos maiores (contêineres) de maneira a otimizar o volume carregado.

Os dois primeiros métodos são generalizações do método em duas etapas de GILMORE & GOMORY (1965): o primeiro arranja as caixas em camadas, e o segundo, em pilhas. Ambos os métodos geraram carregamentos estáveis. O terceiro é

uma generalização das fórmulas recursivas de programação dinâmica de BEASLEY (1985).

BEASLEY (1985) propôs uma fórmula recursiva de programação dinâmica para o problema bidimensional com cortes guilhotinados. Esta fórmula foi estendida para o problema tridimensional. A solução obtida não tem garantia de estabilidade.

VALE, 2003, propõe uma metodologia semi-automática para a extração do eixo rodoviário a partir de imagens digitais de média e alta resolução utilizando a Programação Dinâmica.

Os trabalhos relacionados com a extração de feições através de Programação Dinâmica sempre usam imagens de baixa resolução, na qual as rodovias manifestam-se como estruturas lineares. Ao contrário, rodovias em imagens de média e alta resolução comportam-se como faixas alongadas.

Este trabalho propõe uma modificação da função de custo usada em uma metodologia pré-existente baseada em Programação Dinâmica, permitindo que o eixo central da rodovia seja precisamente extraído pela metodologia modificada.

MARQUES *et al.*, 2005, propõem um modelo de programação dinâmica com a finalidade de determinar o momento ótimo de substituição de equipamentos de empresas florestais, que apresentam custos de aquisição e operacionais elevados, exigindo das empresas cuidados com a sua utilização e com a determinação de sua vida útil. Tal modelo deverá procurar maximizar os lucros através de uma relação de recorrência referente às receitas e aos custos ao longo dos anos. Compara-se este modelo com um tradicional de substituição, que inclui apenas custos, utilizado por FILGUEIRAS, 1997.

O modelo proposto foi mais satisfatório, pois foi possível oferecer decisões ótimas de substituição ou retenção do equipamento, e mais flexíveis, podendo ser utilizado em situação em que o equipamento gera receitas diretas (no caso de aluguel ou receitas de fretes) ou não. Observou-se que a aplicação da Programação Dinâmica oferece ao planejador uma gama de alternativas bem maiores para auxiliar a tomada de decisão.

BELUZZO, 2002, propõe uma abordagem para gerar planos de corte de chapas de fibra de madeira reconstituída que satisfaçam a demanda e minimizem a perda de material. As indústrias de chapas de madeira reconstituída (*hardboard*) são empresas que transformam a madeira do eucalipto em chapas retangulares, por um processo de desagregação e sua posterior prensagem e secagem, dando origem a chapas de tamanhos determinados.

Entretanto, estas chapas de tamanhos determinados precisam ser cortadas em pedaços menores para atender às demandas específicas. O processo de corte das chapas é uma atividade importante no Planejamento e Controle da Produção dessas indústrias, porque determina a produtividade e perdas do material produzido. Este estudo foi aplicado em uma grande indústria do setor, localizada no interior de São Paulo, cujo processo de corte envolve uma tecnologia (Serra Holzma) com alto nível de automação.

Para a geração de padrões de corte propõe-se um algoritmo baseado em Programação Dinâmica, que é combinado com uma heurística gulosa de aspiração de demanda, e depois como algoritmo primal simplex. Os resultados mostram que estas abordagens têm potencial para gerar soluções melhores do que as atualmente utilizadas pela empresa.

CARVALHO, 2002, analisaram um problema de planejamento de operações com tempos de processamento variável. Em particular, este projeto está relacionado com o planejamento de operações de carga de caminhões em armazéns automáticos.

As operações podem ser vistas como tarefas executadas em paralelo, com tempos de disponibilidade (data de chegada dos caminhões) e datas de entrega (data de *cut off*). Os tempos de processamento das tarefas são variáveis e dependem do número de tarefas a serem processadas simultaneamente; para garantir a taxa de expedição nominal de funcionamento do armazém, é necessário impor um número mínimo de tarefas em execução simultânea. Apresenta-se um procedimento baseado em programação dinâmica com os tempos de expedição dos caminhões ordenados pela regra EDD.

CAMPO, 2002, desenvolveu um trabalho visando analisar o escopo das operações de armazenagem atendendo aos requisitos básicos para a manutenção do sistema de rastreabilidade de materiais, os efeitos desta integração na produtividade e nos custos operacionais.

MARTINS *et al.*, 2003, propõem uma solução computacional para o problema de *layout* industrial considerando *hard-constraints* não tratadas em trabalhos anteriores.

O problema é solucionado em duas etapas. Na primeira, uma solução inicial baseada em heurística construtiva é gerada e na segunda, por intermédio da meta-heurística Busca Tabu, a solução inicial é melhorada. Como contribuição, apresenta-se a ferramenta computacional denominada Ambiente Visual para Otimização de *Layout* Industrial (AVOLI), a fim de gerar *layouts* viáveis e eficientes capazes de tratar problemas de grande porte sujeitos a um conjunto de restrições realistas.

ULMA HANDLING SYSTEMS, 2006, faz um informe publicitário sobre a instalação de um completo sistema AS/RS (“*Automatic Storage and Retrieval Systems*” – Sistema de Estocagem/Recuperação Automática) no CD de área de 10 mil m² da Roge, distribuidora de produtos de higiene pessoal em Jarinú, São Paulo. O sistema AS/RS é composto de um transelevador para caixas fechadas e um para cargas fracionadas, além de uma área de “*picking to light*” (separação por luz).

Antes da centralização, 80% dos produtos eram entregues em 48 horas. Hoje, 75% dos pedidos são atendidos em 24 horas. A Roge também reduziu seu custo operacional em 35% com ganho de produtividade de 55%.

3.2 REVISÃO PARA O ROTEAMENTO DE VEÍCULOS

O processo em que um coletor sai da doca, busca os produtos de um pedido e retorna à doca se encaixa no Problema do Caixeiro Viajante (PCV), o qual caracteriza uma das etapas do carregamento completo de um caminhão que consiste na separação e coleta dos produtos da área de *picking*. No entanto, a paleteira utilizada pelo coletor possui restrição de capacidade, ocasionando o retorno à doca, quando o equipamento

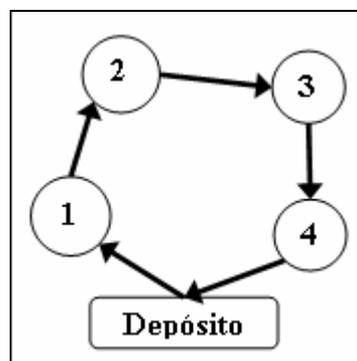
não suporta mais produtos. Descarregam-se os produtos na doca e assim continua-se a coleta.

Esse problema caracteriza em Problema de Roteamento Clássico (PRV), que é uma variante do Problema de Múltiplos Caixeiros Viajantes (PMCV), levando-se em conta a restrição de capacidade do equipamento (CHRISTOFIDES, 1975), (LAPIN, 1994).

3.2.1 O Problema do Caixeiro Viajante

O PCV consiste na determinação da rota de menor custo de um caixeiro viajante que deve sair de uma sede, visitar $(n-1)$ dentre n localidades uma única vez e retornar ao seu ponto de partida (BRONSON, 1985). A figura 3.1 mostra um exemplo simples do Problema do Caixeiro Viajante com cinco localidades, entre elas uma sede.

FIGURA 3.1 Exemplo simples de um Caixeiro Viajante

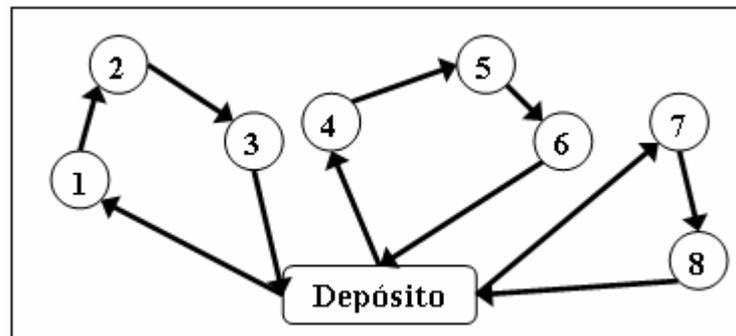


3.2.2 O Problema dos Múltiplos Caixeiros Viajantes (PMCV)

O PMCV é uma generalização do PCV. Neste caso vários caixeiros viajantes devem sair de um depósito comum, visitando os n nós, e retornando ao depósito, de modo que cada nó seja visitado uma vez por um único caixeiro. Não existe restrição no

número de nós que caixeiro deve visitar, exceto que cada caixeiro deve visitar no mínimo um nó. A figura 3.2 apresenta um exemplo de solução do PMCV.

FIGURA 3.2 Exemplo de um PMCV



Como já foi dito anteriormente, o problema estudado neste trabalho é um PRV. Sendo assim, não será mais detalhado o PMCV. Se o leitor desejar saber mais sobre o assunto poderá consultar os seguintes trabalhos: ZAMBONI, 1997; NUNES, 1998; COSTA, 1997; ou os livros: BODIN, 1983; GOLDEN, 1988.

3.2.3 O Problema de Roteamento Clássico (PRV)

O Problema de Roteamento Clássico tem a função de determinar um conjunto de sub-rotas que iniciam e terminam num único depósito, atendendo a todos os nós, e cada nó tendo necessidade de algum serviço, minimizando a distância total percorrida por todos os veículos. Enquanto que no PMCV os veículos possuem capacidade infinita, no PRV esta restrição de capacidade é levada em consideração.

A formulação matemática para o PRV, devido a GOLDEN *et al.*, 1977, BODIN *et al.*, 1983, é apresentada a seguir. Se a restrição de tempo máximo for retirada, é obtido o problema padrão de roteamento de veículos (PRV).

3.2.4 Formulação Matemática para o PRV

Sejam n o número de nós, V a quantidade de veículos, K_v a capacidade do veículo V , T_v o tempo máximo concedido ao veículo V , d_i a demanda do nó i (considerando que o depósito central é o nó 1, então $d_1 = 0$), t_{iv} o tempo necessário do veículo V para visitar o nó i ($t_{1v} = 0$), t_{ijv} o tempo de viagem do veículo V do nó i até o nó j , c_{ij} o custo da viagem do nó i até o nó j e x_{ijv} a variável de decisão do problema estabelecida da seguinte forma:

$$x_{ijv} = \begin{cases} 1, & \text{se o arco } i-j \text{ for percorrido pelo veículo } V \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Então temos a seguinte formulação matemática para o PRV clássico:

$$\text{Minimizar } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{v=1}^V c_{ij} x_{ijv} \quad (3.1)$$

s.a.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{v=1}^V x_{ijv} = 1 \quad (j = 2, 3, \dots, n) \quad (3.2)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{v=1}^V x_{ijv} = 1 \quad (i = 2, 3, \dots, n) \quad (3.3)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ipv} - \sum_{j=1}^n x_{pjv} = 0 \quad (v = 1, 2, \dots, V; p = 1, 2, \dots, n) \quad (3.4)$$

$$\sum_{i=1}^n d_i \left(\sum_{j=1}^n x_{ijv} \right) \leq K_v \quad (v = 1, 2, \dots, V) \quad (3.5)$$

$$\sum_{i=1}^n t_{iv} \sum_{j=1}^n x_{ijv} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n t_{ijv} x_{ijv} \leq T_v \quad (v = 1, 2, \dots, V) \quad (3.6)$$

$$\sum_{j=2}^n x_{1jv} \leq 1 \quad (v = 1, 2, \dots, V) \quad (3.7)$$

$$\sum_{i=2}^n x_{i1v} \leq 1 \quad (v = 1, 2, \dots, V) \quad (3.8)$$

$$X \in S \quad (3.9)$$

$$x_{ijv} = 0 \text{ ou } 1 \text{ para todos } i, j, v. \quad (3.10)$$

A expressão (3.1) indica que a distância total deve ser minimizada. As equações (3.2) e (3.3) asseguram que cada nó deve ser visitado por exatamente um veículo. As equações (3.4) obrigam a continuidade da rota, isto é, se um veículo visita um nó, ele deve sair daquele nó. As equações (3.5) são as restrições de capacidade dos veículos e as equações (3.6) são as restrições de tempo da rota. As equações (3.7) e (3.8) garantem que a disponibilidade de veículos não é excedida. Finalmente, a equação (3.9) são as restrições de quebra de sub-rotas.

Como as equações (3.2) e (3.4) implicam em (3.3), e as equações (3.4) e (3.7) implicam em (3.8), então as equações (3.3) e (3.7) são redundantes, logo podem ser excluídas do modelo. Assume-se que $\max_{1 \leq i \leq n} d_i < \min_{1 \leq v \leq K} K_v$, ou seja, a demanda de cada nó não excede a capacidade total de qualquer veículo.

O conjunto S refere-se a quebra de sub-rotas. Pode ser formado por quaisquer restrições que proíbam a formação de sub-rotas. Dentre as possíveis escolhas para S estão:

- $S = \left\{ (x_{ij}) : \sum_{i \in Q} \sum_{j \notin Q} x_{ij} \geq 1 \text{ para todo subconjunto próprio não vazio de } Q \text{ de } N \right\}$
- $S = \left\{ (x_{ij}) : \sum_{i \in R} \sum_{j \notin R} x_{ij} \leq |R| - 1 \text{ para todo subconjunto não vazio de } R \text{ de } \{1, 2, \dots, n\} \right\}$

$$S = \left\{ (x_{ij}) : y_i - y_j + nx_{ij} \leq (n-1) \text{ para } 2 \leq i \neq j \leq n \text{ para alguns números reais } y_i \right\},$$

- onde $y_i = \begin{cases} t, & \text{se o nó } i \text{ é visitado no passo } t \text{ da rota} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

3.3 O MÉTODO DA PROGRAMAÇÃO DINÂMICA APLICADO AO PCV

3.3.1 Programação Dinâmica (PD)

Um método exato para resolução do PCV é a Programação Dinâmica (PD), desenvolvida originalmente por Richard Bellman em 1957. Bellman foi responsável não somente pela formulação do principal aspecto teórico do método, mas também pela sua sistematização. Segundo ROBERTO, 2002, a PD possui várias características e vantagens, dentre as principais estão:

- Aceita função objetivo e restrições não-lineares, não-convexas e descontínuas, ao contrário de muitas outras técnicas de otimização;
- Permite decompor um problema complexo, com grande número de variáveis, em uma série de subproblemas mais simples que são resolvidos de forma recursiva (MIRSHAWKA, 1978-1980);
- Pode ser aplicada em um grande número de problemas de programação discreta, não necessitando de muita precisão numérica;
- O esforço computacional cresce linearmente conforme o número de estágios enquanto que em outros métodos exatos o esforço cresce exponencialmente (ARDUÍNO, 1972);
- A PD pode admitir que a seqüência de eventos futuros seja conhecida (PD determinística) ou pode considerar os aspectos probabilísticos e estocásticos associados a esta seqüência (PD estocástica);

- O processo de resolução da PD, através da busca do ótimo em cada estágio, gera informações complementares, fornecendo meios para flexibilizar a análise de sistemas complexos;
- A PD oferece um algoritmo mais barato que a simples enumeração de todas as possibilidades de um problema combinatório, o que, em alguns casos, se torna inviável ou extremamente caro (MARRECO, 2001).

O método possui também algumas desvantagens como a necessidade de separabilidade e monotonicidade (WAGNER, 1975), (HASTINGS, 1973). Uma função é dita separável se, e somente se, a função de retorno ótimo depender apenas do estágio em que é avaliada, não sendo afetada pelos demais estados do sistema. Funções monotônicas são aquelas em que um crescimento na função de retorno implica num crescimento na função objetivo.

Segundo WEBER, 1980, para aplicar a PD, o problema deve ser tratado para que apresente a seguinte estrutura:

- a. O problema pode ser dividido em estágios, de modo que o sistema que é objeto do problema possa ser descrito em todos os estágios por um conjunto de variáveis de estado;
- b. Em todos os estados deve ser tomada uma decisão sobre os valores das variáveis de controle. Estas variáveis são diferentes de um estágio para outro;
- c. A fixação dos valores das variáveis de controle de um determinado estágio influencia indiretamente os valores das variáveis de estado dos estágios seguintes;
- d. Os estágios anteriores só influenciam as decisões do estágio em inspeção à medida que influenciem os valores das variáveis de estado, portanto, o valor da função objetivo do estágio em inspeção;
- e. O objetivo do problema pode ser representado pela maximização ou minimização de uma função, a qual em relação aos extremos, depende dos valores iniciais das variáveis de estado.

Se um problema possui a estrutura completa (do item a até e), os valores ótimos das variáveis de controle (política ótima) podem ser calculados recursivamente com a ajuda das funções de política.

Num sistema de PD vale o princípio da otimalidade:

“Uma política ótima tem propriedade de se tomar decisões ótimas em relação aos estados ótimos resultantes da primeira decisão, independente do estado inicial ou das decisões iniciais”. (BELLMAN, 1957)

3.3.2 Uma Formulação da PD para o Problema do Caixeiro Viajante (PCV)

Consideremos (WEBER, 2001) o seguinte problema: um caixeiro viajante encontra-se num determinado lugar (lugar 0). Deve visitar os locais $1, 2, \dots, n$ de tal modo que visite cada local exatamente uma vez. As distâncias mais curtas (δ_{ij}) entre dois locais i e j são conhecidas, isto é: $i, j = 0, 1, 2, \dots, n$, que minimize a distância total percorrida pelo caixeiro.

Primeiramente, devem-se fazer algumas considerações. Se o caixeiro está no local i (no estágio i), ele deve decidir qual local j , não visitado ainda, será visitado. Caso nem todos os $\delta_{ij} = \delta_{ji}$, o número de seqüências possíveis $0 - \dots - 0$ é $n!$. É evidente que se deve tentar formular o programa dinâmico de modo que seja possível o trabalho utilizando-se combinações ao invés de permutações.

O estágio t ($1 \leq t \leq T = n$) é caracterizado como uma situação na qual um local j é visitado como o t -ésimo local da seqüência. A priori não se conhece o local j que será visitado como o t -ésimo local, no estágio t . Contudo o espaço de todos os possíveis estados inclui os n locais a serem visitados. Apenas para os estágios 0 e $T+1$ são dados o local visitado (local 0).

Supondo-se para o momento em que o local j é o t -ésimo local da seqüência $0 - \dots - j - \dots - 0$, é necessário que se faça uma das seguintes decisões: 1) em que

seqüência os $t - 1$ locais $\neq j$ serão visitados antes de j ; 2) em que seqüência os $T - t$ locais $\neq j$ serão visitados após j .

Isto significa que para todos os $n - 1$ locais ($i \neq j$), enumeram-se todas as combinações com os $t - 1$ ou os $T - t$ locais e tenta-se encontrar para uma combinação a seqüência ótima. Considerando-se os $t - 1$ locais a serem visitados antes de j (no estágio t), quando o local j é visitado, tem-se:

$$\kappa_t = \binom{n-1}{t-1}$$

problemas do caixeiro viajante com ponto inicial em 0 e $t - 1$ locais a serem visitados após 0 e antes de j .

Independentemente de como os $T - t$ locais restantes serão visitados após o local j , devem-se visitar os $t - 1$ locais antes de j de modo que haja uma seqüência ótima, caso contrário, não se terá, certamente, em seqüência total ótima. Isto é feito para todos os n locais em cada estágio t . Portanto o ótimo é encontrado no estágio $T + 1$. Isto é decorrente do princípio da otimalidade.

Finalmente pode-se formular o problema da seguinte maneira: o sistema (caixeiro) deve ser conduzida a uma dada situação inicial (local 0) e a partir disto, a uma situação final (retornar ao local 0), observando-se a distância mais curta possível, de modo que cada local j seja visitado uma vez.

Intuitivamente é bastante claro que se deve iniciar com $t - 1 = 0$, isto é, no estágio 1. Ali não se tem realmente nenhuma decisão porque para todo local j no estágio 1, o local a ser visitado antes é o local 0. Após isto faz-se $t - 1 = 1$ e assim por diante, expandindo-se a complexidade.

Seja:

$$k_t = \{i_1, \dots, i_g, \dots, i_{t-1}\}$$

o conjunto de $t - 1$ locais $i \neq j$ os quais serão visitados antes de j como a κ_t -ésima combinação e

$$\{k_t \cup j\}$$

o conjunto dos locais t locais. Observa-se que para $i_g \in k_t$ o índice g nada informa sobre quando o local i_g é visitado ($g = 1, \dots, t-1$).

Para o estágio 1 tem-se:

$$\begin{cases} F_1\{k_1 \cup j\} = \delta_{0j} \\ k_1 = \{0\} \end{cases} \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (3.11)$$

Devido ao fato de que um dos n locais será visitado como o primeiro da seqüência, então (3.11) fornece a decisão no estágio 1 que é ótimo para qualquer seqüência possível de visitas, portanto também para a seqüência ótima. Aqui a decisão é trivial, porque $k_1 = \{0\}$. Passando-se para o estágio 2, caso o local j esteja sendo visitado neste estágio, apenas um local já foi visitado. Isto significa que só existe uma seqüência para cada conjunto k_2 possível. Assim,

$$\begin{cases} F_2\{k_2 \cup j\} = \delta_{i_1j} + F_1\{k_1 \cup i_1\} = \delta_{i_1j} + \delta_{0i_1} \\ k_2 = \{i_1\} \quad i_1 \neq j \end{cases} \quad \forall j = 1, \dots, n \quad \text{e} \quad \forall k_2 \quad (3.12)$$

F_2 consiste na distância mínima de 0 para j quando no estágio 1 o local $i_1 \neq j$ é visitado.

Seguindo-se para o estágio 3 é que pode-se encontrar pela primeira vez um problema de decisão realmente para cada estado $\{k_3 \cup j\}$. Tem-se:

$$\begin{cases} F_3\{k_3 \cup j\} = \min\{\delta_{i_1j} + F_2\{i_2 \cup i_1\}; \delta_{i_2j} + F_2\{i_1 \cup i_2\}\} = \\ = \min_{i_h \in k_3} \{\delta_{i_hj} + F_2\{k_2 \cup i_h\}\} \end{cases} \quad \forall j = 1, \dots, n \quad \text{e} \quad \forall k_2 \quad \text{com} \quad i_h \neq j; \quad (3.13)$$

onde é observado que $k_2 \in k_3$ e $\{k_2 \cup i_h\} = k_3$. Em k_3 deve ser feito todas as combinações k_2 e i_h utilizando-se o processo de minimização. O mesmo deve ser verdadeiro para $t > 3$. Portanto, como expressão geral, tem-se:

$$\begin{cases} F_t\{k_t \cup j\} = \min_{i_h \in k_t} \{ \delta_{i_h j} + F_{t-1}\{k_{t-1} \cup i_h\} \} \\ \forall j = 1, \dots, n \text{ e } \forall k_t \quad \text{com } i_h \neq j; h = 1, 2, \dots; \forall t = 3, \dots, T \end{cases} \quad (3.14)$$

Aqui também, $k_t = \{k_{t-1} \cup i_h\}$ é verdadeiro, e deve-se verificar também para todos os k_{t-1} que podem ser tomados de k_t para um estado $\{k_t \cup j\}$. Após o cálculo dos n valores F_T calcula-se o tamanho da seqüência ótima por:

$$F_{T+1} = \min_{j \neq 0} (\delta_{j0} + F_T\{k_T \cup j\}) \quad (3.15)$$

O cálculo da F_{T+1} determina o local j que será visitado na seqüência ótima no estágio T , como o n -ésimo local, ou seja: j^0 . Para isto tem-se o valor $F_T\{k_T \cup j^0\}$ para o local que deve ser visitado como o $(n-1)$ -ésimo da seqüência ótima, ou seja: i^0 , e assim por diante até que tenha o valor de F_1 . Isto significa que a seqüência de cálculo F_1, F_2, \dots, F_{T+1} fornece o tamanho ótimo e recursivamente sobre F_{T+1}, F_T, \dots, F_1 pode ser obtida a seqüência ótima (política de visitas). Formalmente as funções políticas para as funções de valor (equações de (3.11) até (3.15)) podem ser escritas como seguem:

$$\{0\} \text{ para todo } j \quad (3.16)$$

significa que o local a ser visitado antes do estágio 1 é sempre o local 0.

Para o segundo estágio, tem-se:

$$i_1 \text{ para } \{k_2 \cup j\} = \{i_1 \cup j\} \quad \forall j \in k_2 \neq j \quad (3.17)$$

que diz que na combinação $\{k_2 \cup j\}$ o predecessor ótimo é $\{i_1\} = k_2$. Para $3 \leq t \leq T$ pode ser escrito:

$$i_h \text{ se } i_h \text{ está minimizando a equação (3.14) para um determinado } \{k_t \cup j\} \quad \forall j \in k_t. \quad (3.18)$$

Significa que i_h é o predecessor ótimo de j , caso j seja visitado como o t -ésimo local e todos $i \in k_t$ sejam visitados antes do local j . Finalizando, tem-se para o estágio $T+1$

$$j^0 \text{ se } j^0 \text{ está minimizando a equação (3.15).} \quad (3.19)$$

Observa-se que para as equações (3.16) a (3.19), só é necessário se calcular um índice.

Para uma melhor compreensão dessa formulação, apresenta-se abaixo um pequeno exemplo do PCV resolvido pela Programação Dinâmica.

Seja um caixeiro viajante que se encontra em 0 e deseja visitar os locais 1, 2 e 3, retornando ao local 0. As distâncias estão tabuladas na seguinte matriz:

QUADRO 3.1 Exemplo PCV

i \ j	0	1	2	3
0	∞	6	1	5
1	6	∞	2	9
2	1	2	∞	7
3	5	9	7	∞

Para $t=1$ (pela equação (3. 11)):

$$F_1\{0 \cup 1\} = 6$$

$$F_1\{0 \cup 2\} = 1$$

$$F_1\{0 \cup 3\} = 5$$

Para $t=2$ (pela equação (3. 12)):

$$\left. \begin{array}{l} F_2\{2 \cup 1\} = 1 + 2 = 3 \\ F_2\{3 \cup 1\} = 5 + 9 = 12 \end{array} \right\} \text{ para } j = 1$$

$$\left. \begin{array}{l} F_2\{1 \cup 2\} = 6 + 2 = 8 \\ F_2\{3 \cup 2\} = 5 + 7 = 12 \end{array} \right\} \text{ para } j = 2$$

$$\left. \begin{array}{l} F_2\{1 \cup 3\} = 6 + 9 = 15 \\ F_2\{2 \cup 3\} = 1 + 7 = 8 \end{array} \right\} \text{ para } j = 3$$

Para $t=3$ (pela equação (3.14)):

O local 1 não pode ser visitado a partir do local 2, pois no caminho para se chegar ao local 2, no estágio anterior, passa pelo local 1, então:

$$F_3\{\{2,3\} \cup 1\} = \min(\delta_{31} + F_2\{k_2 \cup 3\}) = \min(9 + 8 = 17) = 17$$

O local 2 não pode ser visitado neste estágio. Já o local 3 pode ser visitado tanto a partir do local 1 quanto do local 2. Assim:

$$F_3\{\{1,2\} \cup 3\} = \min(\delta_{13} + F_2\{k_2 \cup 1\}, \delta_{23} + F_2\{k_2 \cup 2\}) = \min(9 + 3 = 12, 7 + 8 = 15) = 12$$

Finalmente a equação (3.15) nos fornece o comprimento da seqüência ótima de visitas:

$$F_4 = \min(\delta_{10} + F_3\{k_3 \cup 1\}, \delta_{30} + F_3\{k_3 \cup 3\}) = \min(6 + 17 = 23, 5 + 12 = 17) = 17$$

Tomando-se a seqüência ótima recursivamente, tem-se:

Do local 0, no estágio 4, tem-se o seu predecessor $j=3$ o qual está minimizando $F_4 = 17$. No estágio 3, $j=1$ minimiza $F_3(k_3 \cup 3)$ que por sua vez tem $j=2$ minimizando $F_2(k_2 \cup 1)$, no estágio 2. Por fim, tem-se que no estágio 1 $j=2$ é o primeiro local visitado após o local 0. Assim a seqüência ótima dos locais visitados será:

$0 - 2 - 1 - 3 - 0$, com distância mínima percorrida igual a 17.

4 IMPLEMENTAÇÃO E RESULTADOS

Este capítulo trata dos detalhes sobre a implementação da Programação Dinâmica, abordada no Capítulo III, ao problema real apresentado no Capítulo II. O programa foi desenvolvido e submetido a testes em um microcomputador *Pentium IV*, 2.8GHz e 256MB de memória RAM. O ambiente de desenvolvimento utilizado foi o *Visual Basic 6.0*.

Também serão apresentados neste capítulo os resultados obtidos, bem como a comparação destes com os dados reais fornecidos pela empresa e expostos na seção 2.6 deste trabalho.

4.1 ABORDAGEM DO PROBLEMA REAL ATRAVÉS DA PROGRAMAÇÃO DINÂMICA

4.1.1 Leitura de Dados

Esta primeira etapa tem como objetivo fazer a leitura dos dados em arquivos de extensão *.txt*, os quais são fornecidos previamente pela empresa. Cada arquivo representa um embarque. Após a leitura é feita a seleção dos dados relevantes, que são:

- Coluna 1 – número do bloco (*lote*);
- Coluna 2 – número da família a que o item pertence (*fam*);
- Coluna 3 – rua (*rua*);
- Coluna 4 – nível (*nl*);
- Coluna 5 – coluna (*col*);
- Coluna 6 – lado (*po*);
- Coluna 7 – código do item (*coditem*);
- Coluna 8 – quantidade de produtos do item (*qtde-item*);
- Coluna 9 – quantidade de produtos num *pallet* fechado (*qtd-pallet*);

- Coluna 10 – peso de todos os produtos do item, em kg (*peso-item*);
- Coluna 11 – quantidade percentual ocupado pelo item no *pallet* (*%-item-pallet*).

As colunas 3 a 6 são informações referentes ao endereço do item na área de *picking*. Cada um desses dados será armazenado em uma matriz $np \times 11$, onde np é o número de itens do embarque e a coluna 11 representa a quantidade percentual ocupado pelo item no *pallet*, a qual é calculada dividindo-se a quantidade do item (coluna 8) pela quantidade do item num *pallet* fechado (coluna 9).

Os dados fornecidos pela empresa foram levantados de acordo com os pedidos feitos pelos seus clientes em determinada época. O ANEXO 1 mostra o exemplo de um embarque somente com as informações relevantes.

4.1.2 Tarefas Realizadas a Partir da Leitura

Após a leitura dos dados realizada na etapa anterior, o programa irá gerar através de dois processos distintos e subseqüentes, um seqüenciamento de tarefas que serão realizadas manualmente pelos funcionários. Esses processos são:

- Reconhecimento de *pallets* fechados;
- Composição de *pallets* com itens fracionados, através da Programação Dinâmica.

Cada um desses processos será apresentado mais detalhadamente abaixo.

a) Reconhecimento de *pallets* fechados

Esse processo tem a finalidade de reconhecer os itens do pedido que possuem uma quantidade maior que um *pallet* fechado. Inicia-se o processo através da análise da quantidade do item no pedido, a qual é realizada bloco a bloco. Se a capacidade do

item analisado (Cap_i) for maior ou igual à capacidade de um *pallet* fechado ($Cap_i \geq 100\%$), então se realizam os seguintes passos:

- **Passo 1:** designa-se, ao funcionário, a tarefa de buscar o *pallet* fechado do item e trazê-lo à doca (doca – endereço do item na área de *picking* - doca);
- **Passo 2:** calcula-se a distância a ser percorrida pelo funcionário da seguinte forma:
 - $D = 2 \times \delta_{0i}$, onde
 - D – distância total a ser percorrida para realizar a tarefa;
 - δ_{0i} – distância mais curta do local 0 (doca) ao item i (a ser coletado);
- **Passo 3:** o item passa a ter uma nova capacidade que é igual a capacidade anterior subtraído da capacidade coletada na tarefa ($Cap_i = Cap_i - 100\%$).
- **Enquanto** a nova capacidade do item analisado for maior que 100%, repetem-se os passos de 1 a 3.

Então o algoritmo desse processo ficaria da seguinte forma:

- Para cada família:
 - Para cada item:
 - Faça enquanto $Cap_i \geq 100\%$:
 - Designa tarefa na lista;
 - Calcula distância;
 - $Cap_i = Cap_i - 100\%$;

Quando for analisado o último item da última família desse bloco, esse processo é finalizado e passa-se para o próximo processo.

b) Composição de *pallets* com itens fracionados, através da programação dinâmica.

Esse processo tem como objetivo resolver o seguinte problema: o funcionário sai da doca (local 0), coleta os itens fracionados do bloco analisado, respeitando a restrição de fragilidade do item e de capacidade do *pallet*, trazendo-os à doca em quantas viagens forem necessárias. O problema deve levar em conta a distância mínima percorrida pelo funcionário.

A solução desse problema se assemelha a formulação da PD para o PCV, citado no item 3.3.2 deste trabalho.

➤ Terminologias da PD × problema real

- ✓ **Estágio:** cada estágio é representado por um item a ser coletado ou um retorno à doca;
- ✓ **Conjunto de estados viáveis:** é representado pelos itens do pedido desde que obedeçam as restrições de fragilidade do produto e de capacidade do *pallet*;
- ✓ **Valor da variável de controle:** é a distância associada ao item a ser coletado vindo a partir de cada um dos estados viáveis do estágio anterior;
- ✓ **Função de decisão:** é a função usada como critério para decisão dos valores das variáveis de controle que representa a distância mínima dentre todos os valores das variáveis de controle associada ao item a ser coletado;
- ✓ **Decisão:** é o item a ser coletado de acordo com a função de decisão;
- ✓ **Objetivo do problema:** determinar uma rota mínima de coleta de todos os itens fracionados do bloco analisado.

➤ Funções de decisão

Assim como na formulação para o problema do caixeiro viajante descrito anteriormente, a função de decisão utilizada na implementação do problema real foi a

distância acumulada até ser visitado o local do produto i mais a distância percorrida do produto i ao produto j .

Logo, as fórmulas de decisão utilizadas são as mesmas da seção 3.3.2. Mas o conjunto de possíveis estados do próximo estágio deve obedecer as restrições abaixo.

➤ Restrições

✓ Restrição de capacidade do *pallet*

O *pallet* utilizado para a coleta dos itens do pedido possui uma capacidade máxima que é determinada pelo usuário. No estágio em que esta restrição não puder ser mais obedecida, deve-se determinar a volta à doca e recomeçar a coleta dos itens restantes do pedido já no estágio seguinte.

Esta restrição caracteriza a situação estudada neste trabalho como um PRV, pois o funcionário ou uma equipe de funcionários deve fazer várias viagens para coletar todos os itens do pedido onde o seu equipamento possui uma capacidade máxima.

✓ Restrição de Fragilidade do Produto

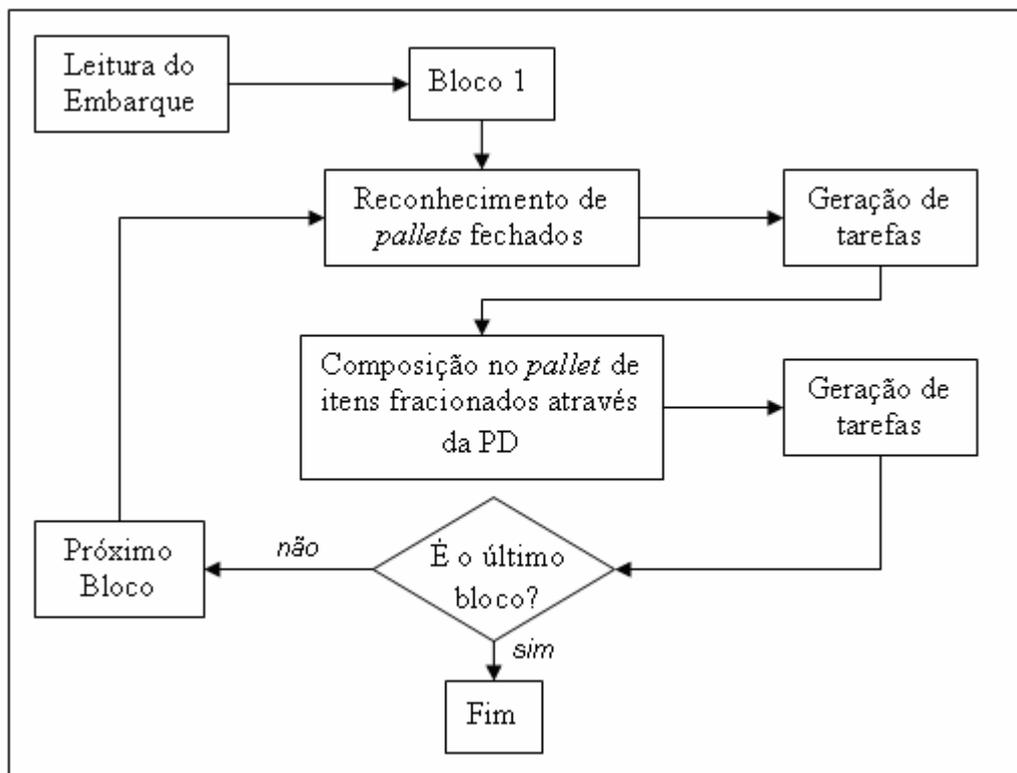
Os produtos distribuídos pela empresa estão separados em famílias de acordo com sua resistência. Estas famílias de produtos já foram determinadas pela própria empresa. Assim um produto de maior fragilidade não pode ser coletado antes de um de menor fragilidade, pois danificaria o produto mais frágil, sendo este o critério de prioridade de carga, as chamadas famílias, comentado anteriormente.

Então, inicia-se a PD no estágio 1 cujo conjunto de possíveis estados são os itens da família de menor fragilidade do bloco analisado. Após ser coletado o último item desta família, o conjunto de possíveis estados do estágio seguinte será composto pelos itens da próxima família de menor fragilidade, desde que a restrição de capacidade do *pallet* não seja violada. Após ser coletado o último item da família de

maior fragilidade do bloco analisado, o último estágio da PD será caracterizado pelo retorno à doca.

Terminado este processo, aplica-se novamente o primeiro processo de geração de tarefas, mas para os itens da próxima família. O programa finalizará após a aplicação desses processos ao último bloco. A figura 4.1 genérico mostra como este programa pode ser visto:

FIGURA 4.1 Fluxograma genérico do programa



4.2 O PROCESSO DE BUSCA DOS ITENS DO EMBARQUE

Nesta seção será traçado um paralelo entre o processo de busca dos itens do embarque feito atualmente na empresa e a estratégia proposta neste trabalho, além das conseqüências desta mudança. Deve-se reforçar a diferença de conceito, adotado neste

trabalho, entre item e produto: um item do pedido é composto pela quantidade de certo produto num bloco.

➤ Geração de tarefas:

Na empresa, os próprios funcionários determinam as tarefas que irão realizar, ou por experiência destes ou para a sua conveniência. Após a busca de itens na área de *picking*, o funcionário “dá baixa” nestes eletronicamente e então leva-os à doca. Não há a preocupação com uma busca ordenada por bloco, pois é feita a separação na área da doca após a busca de todos os itens do embarque.

Um dos objetivos deste trabalho é propor um seqüenciamento de tarefas geradas através da PD de modo a minimizar a distância percorrida para a busca de todos os itens do embarque e realizar a busca dos itens na ordem correta para o carregamento. Deste modo procura-se eliminar o gargalo atual do processo que consiste na separação dos itens de cada bloco do embarque, o qual é realizado, hoje na empresa, posteriormente a busca dos produtos na área da doca.

Além disso, haverá, nos blocos analisados, um equilíbrio nas tarefas realizadas por funcionário, diminuindo o risco de dano no produto e evitando a ociosidade.

➤ Separação por bloco:

Este trabalho propõe a separação e busca dos itens do embarque bloco a bloco. O embarque está dividido por blocos onde cada bloco é um pedido e está determinado de acordo com o sistema *LIFO*. Em cada bloco, a busca é feita respeitando a restrição de fragilidade do produto a ser pego de forma que não haja danos.

Atualmente, na empresa, a separação é feita juntando-se os itens de mesmo produto de todo o embarque na doca, também respeitando a fragilidade do produto. Isso faz com que o funcionário passe uma única vez em cada endereço na coleta dos itens fracionados.

Apesar de atualmente o funcionário percorrer uma distância menor, a mudança sugerida acarretará um tempo menor de carregamento do caminhão e na redução de conferências, pois os itens chegarão à doca na ordem em que deverão ser carregados. Para os itens que tiverem quantidade acima da capacidade do *pallet*, os *pallets* inteiros ficarão na doca em *stand by* e serão embarcados com o restante do item.

➤ Capacidade do *pallet*:

Para esta metodologia determinou-se uma capacidade máxima para o *pallet* onde a somatória das quantidades, em porcentagem, dos itens buscados não poderiam ultrapassar esta capacidade.

Como foi dito anteriormente, a atual geração de tarefas na empresa é feita de acordo com a experiência ou a conveniência do funcionário. Deste modo, o funcionário acaba voltando à doca com espaço ocioso no *pallet*.

A nova metodologia permite a otimização no espaço do *pallet* diminuindo assim o número de viagens para a busca dos itens.

➤ Conferência dos produtos na doca:

O processo de conferência e carregamento dos produtos acontecerá simultaneamente ao processo de busca, ou seja, os itens que forem chegando à doca imediatamente são conferidos e carregados no caminhão.

Hoje, o grande problema do carregamento completo de um caminhão na empresa está neste processo. Pelos dados fornecidos pela empresa (quadro 2.3), este processo chega a representar 81% do tempo gasto em todo o carregamento do caminhão.

A mudança nesta estratégia acarretará numa acentuada diminuição deste tempo de conferência e carregamento dos produtos no caminhão.

4.3 RESULTADOS OBTIDOS

Para a obtenção do melhor resultado na aplicação do método ao problema real, foram feitos cinco testes. Estes testes foram realizados alterando-se a restrição de capacidade do *pallet*, já que a restrição de fragilidade dos produtos foi determinada pela própria empresa. Os cinco testes foram feitos da seguinte forma:

- **Teste 1:** a capacidade máxima do *pallet* é considerada como 100%. Esta capacidade é calculada somando-se a quantidade (em porcentagem) de itens acumulados nos estágios anteriores com a quantidade do item que será coletado no próprio estágio. Neste teste o item a ser coletado é permitido como estado possível se, e somente se, esta restrição não for violada.
- **Teste 2:** como no teste anterior, a capacidade máxima do *pallet* é de 100%, mas permite ao item a ser coletado no estágio ser um estado possível mesmo que este viole a restrição de capacidade. Neste caso, será coletada somente parte da quantidade do item que falta para completar a capacidade máxima do *pallet*, impondo a volta à doca e deixando a coleta do restante do item para os próximos estágios. Neste teste é introduzida a idéia de fracionamento dos itens a serem coletados.
- **Teste 3:** neste teste, como no teste 1, não é permitido a coleta de parte da quantidade do item, mas a capacidade máxima do *pallet* é variável, de acordo com o quantidade de itens que deve ser coletado no bloco. A cada bloco é feito o cálculo da soma das porcentagens, referentes a um *pallet*, de todos os itens, e o cálculo da quantidade mínima de *pallets* que deve ser utilizada para a coleta de todos os itens deste bloco, fazendo uma média da capacidade total de um *pallet* a cada bloco. Assim a quantidade que é coletada em cada *pallet*, no bloco, é equilibrada.

- **Teste 4:** neste teste a quantidade coletada em cada *pallet* é equilibrada, como no teste 3, e é permitida a coleta de parte do item, como no teste 2.
- **Teste 5:** como a aplicação da programação dinâmica é feita bloco a bloco, este teste adota a melhor composição de cada bloco dentre os quatro testes anteriores. Evidentemente, este é o teste que apresentou o melhor resultado.

Assim, as distâncias obtidas pelo programa nos quatro primeiros testes são apresentadas no quadro 4.1.

QUADRO 4.1 Resultados obtidos pelo programa nos testes 1 a 5.

Embarque	Distâncias (em metros)				
	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
7597	7.497,46	7.329,42	7.562,08	7.225,02	7.208,22
7763	4.154,18	4.289,78	4.544,34	4.387,58	4.154,18
7833	7.418,66	7.379,84	7.978,06	7.429,44	7.277,64
7835	6.148,58	6.187,98	6.950,02	6.252,08	5.895,98
7850	12.714,40	13.090,16	13.414,06	12.686,96	12.480,06
7859	4.732,78	4.867,58	5.038,26	4.843,38	4.732,78
7860	3.633,64	3.745,84	3.869,18	3.753,24	3.633,64
7867	7.119,44	6.945,88	7.422,54	6.929,08	6.695,08

Com base nas informações da seção 2.6, pode-se calcular uma velocidade média de deslocamento dos funcionários para a coleta dos itens para cada exemplo de embarque, dividindo-se a distância total percorrida pelo tempo gasto para fazer a coleta de todo o embarque. Esta velocidade média é considerada levando-se em conta o mesmo número de funcionários envolvidos no caso real. O quadro 4.2 mostra as velocidades calculadas para cada exemplo de embarque.

QUADRO 4.2 Velocidade média para cada embarque.

Embarque	Velocidade (km/h)
7597	4,0
7763	6,2
7833	3,8
7835	3,3
7850	5,4
7859	5,9
7860	4,5
7867	2,2

Utilizando as velocidades médias calculadas do caso real, estimam-se os tempos de busca de todos os itens, de cada embarque em cada teste realizado, dividindo a distância obtida nos testes (quadro 4.1) pela velocidade calculada (quadro 4.2). Os tempos estimados (h:mm) são apresentados no quadro 4.3, a seguir:

QUADRO 4.3 Tempo estimado para a busca dos itens em cada teste

Embarque	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
7597	1:52	1:49	1:53	1:48	1:48
7763	0:40	0:41	0:43	0:42	0:40
7833	1:56	1:55	2:04	1:56	1:54
7835	1:51	1:51	2:08	1:53	1:47
7850	2:20	2:24	2:28	2:20	2:18
7859	0:47	0:49	0:51	0:49	0:48
7860	0:48	0:50	0:51	0:50	0:48
7867	3:14	3:09	3:22	3:09	3:02

De acordo com SCARPIN; DIAS; COSTA; SAKAGUTI, 2006, o tempo de conferência e carregamento de todo embarque, quando é feita a separação dos itens por blocos de carga, é feito em média em 25 minutos. Assim, o tempo total adotado neste trabalho é o tempo gasto com a busca dos itens (quadro 4.3) somado com os 25 minutos de finalização de carga mencionado. O tempo total (h:mm) estimado de carregamento dos embarques neste trabalho é apresentado no quadro 4.4, a seguir:

QUADRO 4.4 Tempo total de carregamento dos embarques.

Embarque	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
7597	2:17	2:14	2:18	2:13	2:13
7763	1:05	1:06	1:08	1:07	1:07
7833	2:21	2:20	2:29	2:21	2:21
7835	2:16	2:16	2:33	2:18	2:18
7850	2:45	2:49	2:53	2:45	2:45
7859	1:12	1:14	1:16	1:14	1:14
7860	1:13	1:15	1:16	1:15	1:15
7867	3:39	3:34	3:47	3:34	3:34

Após todos os testes realizados, verifica-se um ganho na ordem de 50% em relação ao tempo gasto para o carregamento completo de um embarque no caminhão. O embarque 7763 foi o que obteve a maior redução no tempo total de carga com cerca de 66% de redução, e o embarque 7833 teve uma redução de 38% sendo este a menor redução dos casos estudados. Todos os resultados são apresentados no quadro 4.5, sendo a comparação feita somente entre o caso real e o teste 5, pois este é a composição, em cada bloco, dos melhores resultados obtidos dos testes anteriores.

QUADRO 4.5 Comparação dos resultados

Embarque	Real (h:mm)	Teste5 (h:mm)	% Redução
7597	06:19	02:13	64,94
7763	03:10	01:05	65,89
7833	03:43	02:19	37,75
7835	03:38	02:12	39,68
7850	04:38	02:43	41,37
7859	02:28	01:13	50,93
7860	02:39	01:13	54,11
7867	05:52	03:27	41,26

O ANEXO 2 apresenta o relatório dos resultados obtidos nos testes de 1 a 5 para o embarque 7763.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho teve como objetivo aplicar a técnica de Programação Dinâmica para a geração de tarefas para a busca dos itens de um embarque, de modo a minimizar a distância percorrida pelo funcionário da empresa de produtos alimentícios estudada. Também, neste trabalho, foi apresentada uma outra estratégia de busca, conferência e carregamento dos itens de um embarque, diferente da utilizada atualmente na empresa, de forma a minimizar o tempo deste processo.

A metodologia apresentou resultados muito satisfatórios, tendo em vista que obteve uma melhora na ordem de 50% em relação aos tempos, obtidos pela empresa, de carregamento completo do caminhão nos oito exemplos onde foi aplicada a metodologia. Esta melhora ocasiona o aumento de caminhões carregados diariamente e, conseqüentemente, a satisfação de seus clientes já que o pedido poderá ser entregue em um prazo menor.

O aumento na distância total percorrida pelos funcionários é compensado pelo fato de que não há mais a necessidade de separar os blocos manualmente após a busca de todos os produtos.

Como já foi mencionado, o esforço computacional, na Programação Dinâmica, cresce linearmente conforme o número de estágios, que está diretamente ligado ao número de estados viáveis no estágio analisado. No caso do algoritmo implementado neste trabalho, o número máximo de estados viáveis foi de 21 itens, o que justifica o tempo de aproximadamente um segundo de processamento. Mesmo para gerar o teste 5, que é a composição dos melhores resultados, por bloco, obtidos na otimização dos quatro primeiros testes, o tempo computacional foi abaixo de cinco segundos.

Em geral, o teste 1 foi o teste que obteve os melhores resultados nos blocos. Nos casos em que o somatório da quantidade percentual dos itens de um bloco é muito próximo de múltiplos de 100%, ou seja, é uma quantidade que pode ser coletada em *pallets* todos cheios, os melhores resultados foram gerados pelos testes 2 e 4, pois geram uma viagem a menos que o teste 1, já que este não permite o fracionamento do item.

Em todos os casos, o teste 3 gerou os piores resultados, pois a capacidade máxima do *pallet* é determinada pela média da quantidade percentual total do bloco em um número mínimo de *pallets* que esta quantidade pode ser carregada, e este teste acaba gerando pelo menos uma viagem a mais que este número mínimo de *pallets* pelo fato de não permitir o fracionamento dos itens.

Observou-se também, em geral, que quanto maior a quantidade total do embarque, maior é o ganho no tempo final de carregamento completo do caminhão em relação aos tempos obtidos atualmente pela empresa.

No “gargalo” do problema da empresa (processo de conferência e carregamento dos produtos no caminhão), que hoje representa aproximadamente 72% do tempo de carregamento completo do caminhão, com a metodologia proposta neste trabalho, este processo passaria a representar cerca de 23%.

É importante salientar que todo esse ganho foi conseguido sem nenhum investimento em maquinário, ou tecnologia imobilizada, como esteiras ou novos sistemas eletrônicos. O único investimento que ocorre é na tecnologia de inteligência em otimizar todas as possibilidades existentes na empresa até o momento em que for saturada sua estrutura.

Com a mudança na estratégia, a área das docas poderá ser diminuída, pois, como o processo de busca dos itens do embarque será realizado simultaneamente aos processos de conferência e carregamento do caminhão, não haverá uma grande quantidade de produtos em *stand by* dentro das docas. Esta área reduzida poderá ser utilizada para o armazenamento dos produtos, aumentando assim a vida útil da estrutura do CD.

É visto também que nenhuma mudança no *layout* do CD foi preciso para se obter tais ganhos. Tendo a possibilidade de mudar o *layout* do CD poder-se-ia ter maiores ganhos ainda na redução do tempo total de carregamento dos caminhões.

De acordo com os resultados obtidos, o teste 5 foi o teste com maiores ganhos de tempo comparando-se com os tempos obtidos atualmente, ficando este como sugestão para a implementação na empresa.

Vale ressaltar que o modelo proposto neste trabalho foi construído para a empresa de produtos alimentícios estudada, segundo as características do *layout* de seu CD e seus produtos, onde a utilização deste modelo para o CD de outra empresa fica comprometida devido às diferentes tecnologias utilizadas atualmente e às variadas características de seus produtos.

A disposição dos produtos na área de *picking* é um tópico que poderia ser estudado com mais rigor. Através da distribuição ABC dos produtos poder-se-ia verificar quais produtos deveriam ficar mais próximos das docas e ainda levando-se em conta a seqüência das famílias de prioridade de carga. Escolhendo a família que possui o maior giro para ser colocada mais ao centro da área de *picking* e distribuir em seqüência até a lateral do CD as famílias seguintes de ordem crescente. Um estudo mais minucioso poderia ser realizado na quantidade de endereços que cada produto possui na área de *picking*, este poderia ser baseado em previsão de vendas utilizando séries temporais.

Os ganhos estariam relacionados na diminuição da distância total, percorrida pelos funcionários que realizam a separação, refletindo diretamente no tempo de separação e no esforço físico para tal função. Outro ganho está atrelado ao dimensionamento otimizado da quantidade de endereços ocupados por produto na área de *picking*, evitando a espera de produto por parte do separador aguardando ressuprimento, no caso em que a quantidade de itens do produto seja menor que a necessária, ou ainda, procurando o *pallet* mais antigo quando a quantidade de endereços for muito maior que a necessária para suprir a demanda de movimentação em um determinado tempo de trabalho.

Fica também como sugestão para trabalhos futuros a utilização de métodos heurísticos, como os algoritmos da inserção do mais econômico e dos *savings* de *Clarke and Wright*, e de meta-heurísticas, como o Algoritmo Genético.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, A. C.; NOVAES, A. G. N. **Logística Aplicada: Suprimento e Distribuição**. 2. ed. São Paulo: Livraria Pioneira Editora, 1994.

ALVES, P.L. **Implementação de Tecnologias de Automação de Depósitos: Um Estudo de Caso**. Rio de Janeiro, COPPEAD UFRJ, 2000. Tese de Doutorado.

ARDUÍNO, A. **Programação Dinâmica**. Rio de Janeiro: COPPE, 1972.

BALLOU, R. H. **Logística empresarial: transportes, administração de materiais distribuição física**. São Paulo, Atlas, 1993.

BEASLEY, J. **An Exact Two-Dimensional non guillotine cutting tree search procedure**. Operation Research, v. 33, p. 49-64, 1985.

BELFIORE, P. P. **Scatter Search para Problemas de Roterização de Veículos com Frota Heterogênea, Janelas de Tempo e Entregas Fracionadas**. São Paulo, 2006. Tese de Doutorado. USP.

BELLMAN, R. E. **Dynamic Programming**. Princeton, University Press, 1957.

BELUZZO, L. **Otimização no Plano de Corte de Chapas de Fibras de Madeira Reconstituída: Um Estudo de Caso**. São Carlos, 2002. Dissertação de Mestrado. UFSCar.

BODIN, L. *et al.* **Routing and Scheduling of vehicle and crews.** Oxford: Pergamon Press, 1983.

BRONSON, R. **Pesquisa Operacional.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985.

CAMPO, M. R. R. **Gestão de Armazenagem com Rastreabilidade de Materiais.** Taubaté, 2002. Monografia de Especialização. Universidade de Taubaté.

CARVALHO, J. M. V. de; CARVALHO, M. S. de; OLIVEIRA, J. A. Programação de Operações em Sistemas com Tempo de Processamento Variável. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 3, p. 323-344, jul. a dez. 2002.

CHRISTOFIDES, N. **Graph Theory: An Algorithmic Approach.** Academic Press, London, 1975.

COSTA, D. M. B. **Aplicação de algumas Técnicas da Pesquisa Operacional na Otimização dos Serviços Postais.** Curitiba, UFPR, 1997. Dissertação de Mestrado.

DROR, M.; TRUDEAU, P. Savings by Split Delivery Routing. **Transportation Science**, v. 23, n. 2, p. 141-145, 1989.

FILGUEIRAS, J. F. **Um Modelo de Substituição de Equipamentos para Minimizar Custos Operacionais em uma Empresa Florestal.** Viçosa, 1997. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa.

FLEURY, P. F.; WANKE, P.; FIGUEIREDO, K. F. **Logística Empresarial: A Perspectiva Brasileira.** São Paulo: Atlas, 2000. (Coleção COPPEAD de Administração)

GILMORE, P.; GOMORY, R. Multistage Cutting Stock Problems of Two and More Dimensions. **Operations Research**, v. 14, p. 94-120, 1965.

GOLDEN, B. L.; ASSAD, A. A. **Vehicle Routing: Methods and Studies**. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B. V., 1998.

GOLDEN, B. L.; MAGNANTI, T. L.; NGUYEN, H. Q. **Implementing Vehicle Routing Algorithms**, Networks, v. 7, p. 117-148, 1977.

GROSS, D. & HARRIS, C.M. **Fundamentals of Queueing Theory**. J. Wiley, New York, 1974.

HASTINGS, N.A.J. **Dynamic Programming with Management Applications**. Butterworth, Hungary, 1973.

KLEINROCK, L. **Queueing Systems: Theory**. Vol 1, J. Wiley, New York, 1975.

LAPIN, L.L. **Quantitative Methods for Business Decisions**. Fort Worth, Dryden Press, 1994.

LACERDA, L. **Armazenagem Estratégica: Analisando Novos Conceitos**. Rio de Janeiro, Coppead UFRJ, 2003. (Apostila do Curso de Gestão Estratégica da Armazenagem)

MARQUES, G. M. *et al.* Aplicação da Programação Dinâmica na Substituição de Equipamentos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 5, p.749-756, 2005.

MARTINS, V. C. *et al.* Otimização de *Layouts* Industriais com Base em Busca Tabu. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 10, n. 1, p. 69-88, abr. 2003.

MIRSHAWKA, V. **Pesquisa Operacional**. São Paulo: Atlas, 1978-1980.

MORABITO, R.; ARENALES, M. N. Abordagens para o Problema do Carregamento de Contêineres. **Pesquisa Operacional**, v. 17, n. 1, p. 29-56, 1997.

NUNES, L. F. **Algoritmos Genéticos Aplicados na Abordagem de um Problema Real de Roteirização de Veículos**. Curitiba, 1998. Dissertação de Mestrado. UFPR

ROBERTO, A. N. **Modelos de Rede de Fluxo para Alocação da Água entre Múltiplos Usos em uma Bacia Hidrográfica**. São Paulo, 2002. Dissertação de Mestrado. USP.

SARTORI JUNIOR, I. R. **Estudo e Desenvolvimento de um Estudo para Tratar do Problema de Roteamento em um Ambiente Fabril**. São Leopoldo, 2005. Monografia de Conclusão de Curso de Graduação.

SCARPIN, C. T., DIAS, G. J. C., COSTA, D. M. B., SAKAGUTI, F. Y. **Separação por Blocos para o Carregamento de Caminhões em um Centro de Distribuição**. In: XXXVIII SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2006, Goiânia, GO. A Pesquisa Operacional na Sociedade: Educação, Meio Ambiente e Desenvolvimento. , 2006.

ULMA *HANDLING SYSTEMS*. **Tecnologia AS/RS Torna-se Referência**. Revista Logística. 02 out. 2006. Publicidade. Disponível em: <http://www.imam.com.br/logistica/arquivos/PDF_REPORTAGENS/INFORME%20PUBLICITARIO.PDF>. Acesso em: 30 out. 2006.

TOMPKINS, J. A. *et al.* **Facilities Planning**. New York: John Wiley & Sons, 1998.

VALE, G. M. do. **Extração Semi-Automática do Eixo de Rodovia em Imagens de Média e Alta Resolução Usando Programação Dinâmica**. Presidente Prudente, 2003. Dissertação de Mestrado. UNESP.

WAGNER, H.M. **Principles of Operations Research**. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, 1975.

WEBER, H. H. **Programação Dinâmica**. 1. ed. João Pessoa: Editora Universitária UFPB, 1980.

ZAMBONI, L. V. de S. **Técnicas de Roteirização de Veículos Aplicadas ao Transporte Escolar**. Curitiba, 1997. Dissertação de Mestrado. UFPR.

ANEXO 1 – DESCRIÇÃO COMPLETA DO EMBARQUE 7763

QUADRO AN1.1 Embarque 7763

Continua

lote	fam	rua	nl	col	po	coditem	qtde-item	qtd-pallet	qtd-item-pallet	peso-item
1	10	8	NO	7	1	257	1	40	0,025000	9,45625
1	10	8	NO	19	1	256	2	40	0,050000	18,41
1	10	8	NO	31	1	254	1	40	0,025000	9,03
1	10	9	NO	8	2	259	2	40	0,050000	18,585
1	10	9	NO	18	2	258	1	40	0,025000	9,04625
1	10	9	NO	25	2	351	5	40	0,125000	43,86875
1	10	9	NO	32	2	353	2	40	0,050000	17,9725
1	20	2	NO	7	1	8099	4	64	0,062500	61,415
1	20	4	NO	4	2	703	5	84	0,059524	51,13125
1	30	6	NO	8	1	8138	3	100	0,030000	14,5425
1	30	6	NO	12	1	8139	1	100	0,010000	4,7875
1	30	6	NO	25	1	97	1	100	0,010000	4,78
1	30	7	NO	1	1	273	1	60	0,016667	8,55
1	30	7	NO	9	2	8140	1	100	0,010000	4,75625
1	30	7	NO	16	2	96	1	100	0,010000	4,438
1	40	10	NO	18	2	248	1	105	0,009524	4,94
1	50	2	NO	21	1	1251	1	30	0,033333	10,25
1	50	2	NO	32	1	1309	15	64	0,234375	45,84375
1	50	2	NO	34	1	1305	36	100	0,360000	109,71
1	50	3	NO	10	1	708	1	49	0,020408	10,2025
1	50	3	NO	18	2	803	1	36	0,027778	10,19125
1	50	3	NO	27	2	811	1	49	0,020408	10,24125
1	50	4	NO	3	1	707	1	36	0,027778	10,265
1	60	4	NO	19	1	712	2	20	0,100000	22,5775
1	60	4	NO	32	1	702	1	20	0,050000	11,34875
1	70	8	NO	1	2	282	2	70	0,028571	8,9998
1	70	8	NO	18	2	270	1	70	0,014286	4,49099
1	80	2	NO	10	2	1712	2	60	0,033333	9,855
1	80	11	NO	9	1	3403	2	78	0,025641	8,8
1	90	12	NO	3	1	3817	6	720	0,008333	4,59
1	90	13	NO	1	2	3801	7	720	0,009722	5,355
1	90	13	NO	5	1	3811	3	720	0,004167	2,295
1	90	13	NO	10	1	3810	3	720	0,004167	2,295
1	90	13	NO	11	2	3803	10	720	0,013889	7,65
1	90	13	NO	22	1	3809	7	720	0,009722	5,355
1	90	13	NO	25	2	3805	8	720	0,011111	6,12
1	90	13	NO	36	1	3806	3	720	0,004167	2,295
1	90	14	NO	2	2	3815	2	720	0,002778	1,53
1	90	14	NO	10	2	3808	5	720	0,006944	3,825
1	90	14	NO	31	2	3818	8	720	0,011111	6,12
1	90	14	NO	34	2	3816	5	720	0,006944	3,825
1	100	15	NO	2	2	6004	2	1440	0,001389	0,374
1	100	15	NO	3	2	6005	3	1440	0,002083	0,561
1	100	15	NO	5	2	6006	3	1440	0,002083	0,561

1	100	15	NO	8	2	2873	5	1800	0,002778	1,375
1	100	15	NO	10	2	2874	8	1800	0,004444	2,18
1	100	15	NO	12	2	2875	6	1800	0,003333	1,605
1	100	16	NO	1	2	2887	2	1800	0,001111	0,45
1	110	6	NO	6	1	9840	4	384	0,010417	2,16
1	110	14	NO	2	1	2933	1	480	0,002083	1,18
1	110	14	NO	10	1	2910	2	480	0,004167	2,24
1	110	14	NO	17	1	2905	2	480	0,004167	2,36
1	110	14	NO	19	1	5548	2	96	0,020833	11,2
1	110	15	NO	21	1	6021	1	840	0,001190	0,75
1	110	15	NO	29	1	6000	8	840	0,009524	5,88
1	110	16	NO	4	1	7086	8	800	0,010000	6,76
1	110	16	NO	9	1	7096	5	800	0,006250	4,2
1	110	16	NO	27	1	7099	7	800	0,008750	5,88
1	110	16	NO	31	1	8205	8	800	0,010000	6,72
1	110	17	NO	8	1	6050	1	105	0,009524	4,36
1	110	17	NO	12	2	8281	5	1008	0,004960	2,325
2	30	6	NO	7	2	241	321	100	3,210000	1392,739
2	50	3	NO	27	2	811	13	49	0,265306	133,1363
2	50	4	NO	3	1	707	43	36	1,194444	441,395
3	10	8	NO	7	1	257	5	40	0,125000	47,28125
3	10	8	NO	19	1	256	8	40	0,200000	73,64
3	10	8	NO	31	1	254	6	40	0,150000	54,18
3	10	8	NO	32	1	255	3	40	0,075000	25,95
3	10	9	NO	2	1	261	2	40	0,050000	21,0326
3	10	9	NO	8	2	259	11	40	0,275000	102,2175
3	10	9	NO	18	2	258	10	40	0,250000	90,4625
3	20	2	NO	1	1	1261	8	84	0,095238	81,35
3	20	2	NO	7	1	8099	14	64	0,218750	214,9525
3	20	3	NO	4	2	802	19	84	0,226190	196,555
3	20	4	NO	4	2	703	38	84	0,452381	388,5975
3	20	4	NO	16	2	716	6	84	0,071429	61,23
3	30	6	NO	8	1	8138	9	100	0,090000	43,6275
3	30	6	NO	12	1	8139	10	100	0,100000	47,875
3	30	6	NO	25	1	97	8	100	0,080000	38,24
3	30	6	NO	25	2	242	1	100	0,010000	4,3275
3	30	7	NO	9	2	8140	6	100	0,060000	28,5375
3	30	7	NO	16	2	96	6	100	0,060000	26,628
3	40	9	NO	10	1	231	17	105	0,161905	83,98
3	40	9	NO	26	1	229	9	105	0,085714	44,46
3	40	9	NO	34	1	232	11	105	0,104762	54,34
3	40	10	NO	18	2	248	14	105	0,133333	69,16
3	40	10	NO	23	2	234	14	105	0,133333	69,16
3	40	10	NO	28	1	209	2	70	0,028571	13,0075
3	40	10	NO	36	1	210	1	70	0,014286	6,49
3	50	2	NO	21	1	1251	2	30	0,066667	20,5
3	50	2	NO	28	1	1254	1	36	0,027778	10,2225
3	50	2	NO	30	1	1256	1	49	0,020408	10,17875
3	50	3	NO	10	1	708	3	49	0,061224	30,6075
3	50	3	NO	18	2	803	5	36	0,138889	50,95625
3	50	3	NO	20	2	801	4	49	0,081633	40,835

Continuação

3	50	3	NO	27	2	811	1	49	0,020408	10,24125
3	50	3	NO	33	2	814	1	36	0,027778	10,0975
3	50	4	NO	3	1	707	9	36	0,250000	92,385
3	50	4	NO	22	2	710	4	36	0,111111	40,915
3	50	4	NO	31	2	717	2	36	0,055556	20,56
3	60	3	NO	19	1	1101	3	32	0,093750	32,68875
3	60	4	NO	19	1	712	4	20	0,200000	45,155
3	60	4	NO	32	1	702	4	20	0,200000	45,395
3	70	8	NO	1	2	282	5	70	0,071429	22,4995
3	70	8	NO	7	2	271	1	70	0,014286	4,49099
3	70	8	NO	12	2	269	6	70	0,085714	26,92344
3	70	8	NO	18	2	270	2	70	0,028571	8,98198
3	70	8	NO	23	2	253	5	30	0,166667	44
3	80	2	NO	10	2	1712	3	60	0,050000	14,7825
3	80	11	NO	6	1	3503	4	50	0,080000	13,52
3	80	11	NO	9	1	3403	4	78	0,051282	17,6
3	90	12	NO	3	1	3817	2	720	0,002778	1,53
3	90	13	NO	1	2	3801	7	720	0,009722	5,355
3	90	13	NO	5	1	3811	3	720	0,004167	2,295
3	90	13	NO	10	1	3810	3	720	0,004167	2,295
3	90	13	NO	11	2	3803	4	720	0,005556	3,06
3	90	13	NO	22	1	3809	5	720	0,006944	3,825
3	90	13	NO	25	2	3805	2	720	0,002778	1,53
3	90	13	NO	36	1	3806	2	720	0,002778	1,53
3	90	14	NO	2	2	3815	2	720	0,002778	1,53
3	90	14	NO	10	2	3808	3	720	0,004167	2,295
3	90	14	NO	31	2	3818	4	720	0,005556	3,06
3	90	14	NO	34	2	3816	6	720	0,008333	4,59
3	100	15	NO	2	2	6004	21	1440	0,014583	3,927
3	100	15	NO	3	2	6005	23	1440	0,015972	4,301
3	100	15	NO	5	2	6006	23	1440	0,015972	4,301
3	100	15	NO	8	2	2873	4	1800	0,002222	1,1
3	100	15	NO	10	2	2874	5	1800	0,002778	1,3625
3	100	15	NO	12	2	2875	5	1800	0,002778	1,3375
3	100	16	NO	2	2	8117	1	1320	0,000758	0,32
3	110	14	NO	2	1	2933	2	480	0,004167	2,36
3	110	14	NO	10	1	2910	1	480	0,002083	1,12
3	110	14	NO	19	1	5548	1	96	0,010417	5,6
3	110	16	NO	4	1	7086	26	800	0,032500	21,97
3	110	16	NO	23	1	7098	3	800	0,003750	2,52
3	110	16	NO	24	2	6072	1	780	0,001282	0,99625
3	110	16	NO	27	1	7099	1	800	0,001250	0,84
3	110	16	NO	31	1	8205	7	800	0,008750	5,88
3	110	17	NO	3	2	7526	2	1008	0,001984	0,84
3	110	17	NO	4	1	6020	3	90	0,033333	16,02
3	110	17	NO	7	2	6007	10	840	0,011905	7,4
3	110	17	NO	12	2	8281	6	1008	0,005952	2,79
4	10	8	NO	7	1	257	4	40	0,100000	37,825
4	10	8	NO	19	1	256	4	40	0,100000	36,82
4	10	8	NO	31	1	254	2	40	0,050000	18,06
4	10	9	NO	2	1	261	5	40	0,125000	52,5815

Conclusão

4	10	9	NO	8	2	259	2	40	0,050000	18,585
4	10	9	NO	18	2	258	2	40	0,050000	18,0925
4	20	2	NO	1	1	1261	5	84	0,059524	50,84375
4	20	3	NO	4	2	802	12	84	0,142857	124,14
4	20	4	NO	4	2	703	74	84	0,880952	756,7425
4	20	4	NO	16	2	716	6	84	0,071429	61,23
4	20	5	NO	32	2	722	5	84	0,059524	52,5
4	30	6	NO	8	1	8138	10	100	0,100000	48,475
4	30	6	NO	12	1	8139	3	100	0,030000	14,3625
4	30	6	NO	25	1	97	8	100	0,080000	38,24
4	30	7	NO	9	2	8140	5	100	0,050000	23,78125
4	40	9	NO	10	1	231	1	105	0,009524	4,94
4	50	3	NO	10	1	708	4	49	0,081633	40,81
4	50	3	NO	18	2	803	5	36	0,138889	50,95625
4	50	3	NO	20	2	801	10	49	0,204082	102,0875
4	50	3	NO	27	2	811	7	49	0,142857	71,68875
4	50	3	NO	28	2	812	7	49	0,142857	71,56625
4	50	3	NO	33	2	814	2	36	0,055556	20,195
4	50	4	NO	3	1	707	2	36	0,055556	20,53
4	50	4	NO	22	2	710	3	36	0,083333	30,68625
4	50	4	NO	31	2	717	5	36	0,138889	51,4
4	60	3	NO	1	1	806	5	20	0,250000	56,8
4	60	3	NO	19	1	1101	1	32	0,031250	10,89625
4	60	4	NO	19	1	712	8	20	0,400000	90,31
4	60	4	NO	32	1	702	10	20	0,500000	113,4875
4	70	8	NO	1	2	282	1	70	0,014286	4,4999
4	70	8	NO	7	2	271	23	70	0,328571	103,2928
4	70	8	NO	12	2	269	23	70	0,328571	103,2065
4	70	8	NO	18	2	270	23	70	0,328571	103,2928
4	80	11	NO	6	1	3503	2	50	0,040000	6,76
4	80	11	NO	9	1	3403	3	78	0,038462	13,2
4	90	14	NO	28	1	4004	5	180	0,027778	30,15
4	100	15	NO	2	2	6004	10	1440	0,006944	1,87
4	100	15	NO	3	2	6005	10	1440	0,006944	1,87
4	100	15	NO	5	2	6006	10	1440	0,006944	1,87
4	110	17	NO	3	1	6065	1	105	0,009524	6,18
4	110	17	NO	6	1	6046	2	153	0,013072	8,1

**ANEXO 2 – RESULTADOS DOS TESTES 1 A 5 PARA O EMBARQUE
7763**

QUADRO AN2.1 Resultado do teste 1 para o embarque 7763

Continua										
viagem	lote	fam	rua	nl	col	po	cod-item	qtde-item	qtd-pallet	qtd-item-pallet
1	Doca									
1	1	10	9	NO	8	2	259	2	40	0,050000
1	1	10	9	NO	18	2	258	1	40	0,025000
1	1	10	9	NO	25	2	351	5	40	0,125000
1	1	10	9	NO	32	2	353	2	40	0,050000
1	1	10	8	NO	31	1	254	1	40	0,025000
1	1	10	8	NO	19	1	256	2	40	0,050000
1	1	10	8	NO	7	1	257	1	40	0,025000
1	1	20	4	NO	4	2	703	5	84	0,059524
1	1	20	2	NO	7	1	8099	4	64	0,062500
1	1	30	6	NO	12	1	8139	1	100	0,010000
1	1	30	6	NO	8	1	8138	3	100	0,030000
1	1	30	7	NO	1	1	273	1	60	0,016667
1	1	30	7	NO	9	2	8140	1	100	0,010000
1	1	30	7	NO	16	2	96	1	100	0,010000
1	1	30	6	NO	25	1	97	1	100	0,010000
1	1	40	10	NO	18	2	248	1	105	0,009524
1	1	50	3	NO	18	2	803	1	36	0,027778
1	1	50	3	NO	10	1	708	1	49	0,020408
1	1	50	2	NO	21	1	1251	1	30	0,033333
1	1	50	2	NO	32	1	1309	15	64	0,234375
1	1	50	3	NO	27	2	811	1	49	0,020408
1	1	50	4	NO	3	1	707	1	36	0,027778
1	Doca	C = 93,2295% e D = 465,42 metros								
2	Doca									
2	1	50	2	NO	34	1	1305	36	100	0,360000
2	1	60	4	NO	32	1	702	1	20	0,050000
2	1	60	4	NO	19	1	712	2	20	0,100000
2	1	70	8	NO	18	2	270	1	70	0,014286
2	1	70	8	NO	1	2	282	2	70	0,028571
2	1	80	2	NO	10	2	1712	2	60	0,033333
2	1	80	11	NO	9	1	3403	2	78	0,025641
2	1	90	13	NO	11	2	3803	10	720	0,013889
2	1	90	13	NO	10	1	3810	3	720	0,004167
2	1	90	13	NO	5	1	3811	3	720	0,004167
2	1	90	13	NO	1	2	3801	7	720	0,009722
2	1	90	13	NO	22	1	3809	7	720	0,009722
2	1	90	13	NO	25	2	3805	8	720	0,011111
2	1	90	13	NO	36	1	3806	3	720	0,004167
2	1	90	14	NO	34	2	3816	5	720	0,006944
2	1	90	14	NO	31	2	3818	8	720	0,011111
2	1	90	14	NO	10	2	3808	5	720	0,006944
2	1	90	14	NO	2	2	3815	2	720	0,002778
2	1	90	12	NO	3	1	3817	6	720	0,008333

2	1	100	15	N0	2	2	6004	2	1440	0,001389
2	1	100	15	N0	3	2	6005	3	1440	0,002083
2	1	100	15	N0	5	2	6006	3	1440	0,002083
2	1	100	15	N0	8	2	2873	5	1800	0,002778
2	1	100	15	N0	12	2	2875	6	1800	0,003333
2	1	100	15	N0	10	2	2874	8	1800	0,004444
2	1	100	16	N0	1	2	2887	2	1800	0,001111
2	1	110	16	N0	4	1	7086	8	800	0,010000
2	1	110	16	N0	9	1	7096	5	800	0,006250
2	1	110	17	N0	12	2	8281	5	1008	0,004960
2	1	110	17	N0	8	1	6050	1	105	0,009524
2	1	110	14	N0	17	1	2905	2	480	0,004167
2	1	110	14	N0	19	1	5548	2	96	0,020833
2	1	110	14	N0	10	1	2910	2	480	0,004167
2	1	110	15	N0	21	1	6021	1	840	0,001190
2	1	110	15	N0	29	1	6000	8	840	0,009524
2	1	110	16	N0	27	1	7099	7	800	0,008750
2	1	110	16	N0	31	1	8205	8	800	0,010000
2	1	110	14	N0	2	1	2933	1	480	0,002083
2	1	110	6	N0	6	1	9840	4	384	0,010417
2	Doca	C = 82,3972% e D = 741,42 metros								
3	Doca									
3	2	30	6	N0	7	2	241	100	100	*****
3	Doca	C = 100% e D = 65,62 metros								
4	Doca									
4	2	30	6	N0	7	2	241	100	100	*****
4	Doca	C = 100% e D = 65,62 metros								
5	Doca									
5	2	30	6	N0	7	2	241	100	100	*****
5	Doca	C = 100% e D = 65,62 metros								
6	Doca									
6	2	50	4	N0	3	1	707	36	36	*****
6	Doca	C = 100% e D = 78,02 metros								
7	Doca									
7	2	30	6	N0	7	2	241	21	100	0,210000
7	2	50	3	N0	27	2	811	13	49	0,265306
7	2	50	4	N0	3	1	707	7	36	0,194444
7	Doca	C = 66,975% e D = 146,62 metros								
8	Doca									
8	3	10	9	N0	2	1	261	2	40	0,050000
8	3	10	9	N0	8	2	259	11	40	0,275000
8	3	10	8	N0	19	1	256	8	40	0,200000
8	3	10	8	N0	32	1	255	3	40	0,075000
8	3	10	8	N0	31	1	254	6	40	0,150000
8	3	10	9	N0	18	2	258	10	40	0,250000
8	Doca	C = 100% e D = 108,42 metros								
9	Doca									
9	3	10	8	N0	7	1	257	5	40	0,125000
9	3	20	3	N0	4	2	802	19	84	0,226190
9	3	20	2	N0	1	1	1261	8	84	0,095238
9	3	20	2	N0	7	1	8099	14	64	0,218750

9	3	20	4	N0	16	2	716	6	84	0,071429
9	Doca	C = 73,6607% e D = 157,62 metros								
10	Doca									
10	3	20	4	N0	4	2	703	38	84	0,452381
10	3	30	6	N0	8	1	8138	9	100	0,090000
10	3	30	6	N0	12	1	8139	10	100	0,100000
10	3	30	6	N0	25	2	242	1	100	0,010000
10	3	30	6	N0	25	1	97	8	100	0,080000
10	3	30	7	N0	16	2	96	6	100	0,060000
10	3	30	7	N0	9	2	8140	6	100	0,060000
10	3	40	10	N0	28	1	209	2	70	0,028571
10	3	40	10	N0	36	1	210	1	70	0,014286
10	3	40	9	N0	26	1	229	9	105	0,085714
10	Doca	C = 98,0952% e D = 223,42 metros								
11	Doca									
11	3	40	9	N0	10	1	231	17	105	0,161905
11	3	40	10	N0	18	2	248	14	105	0,133333
11	3	40	10	N0	23	2	234	14	105	0,133333
11	3	40	9	N0	34	1	232	11	105	0,104762
11	3	50	3	N0	33	2	814	1	36	0,027778
11	3	50	3	N0	27	2	811	1	49	0,020408
11	3	50	3	N0	20	2	801	4	49	0,081633
11	3	50	3	N0	18	2	803	5	36	0,138889
11	3	50	2	N0	21	1	1251	2	30	0,066667
11	3	50	2	N0	30	1	1256	1	49	0,020408
11	3	50	2	N0	28	1	1254	1	36	0,027778
11	3	50	3	N0	10	1	708	3	49	0,061224
11	Doca	C = 97,8118% e D = 243,02 metros								
12	Doca									
12	3	50	4	N0	3	1	707	9	36	0,250000
12	3	50	4	N0	22	2	710	4	36	0,111111
12	3	50	4	N0	31	2	717	2	36	0,055556
12	3	60	4	N0	32	1	702	4	20	0,200000
12	3	60	4	N0	19	1	712	4	20	0,200000
12	3	60	3	N0	19	1	1101	3	32	0,093750
12	3	70	8	N0	7	2	271	1	70	0,014286
12	3	70	8	N0	1	2	282	5	70	0,071429
12	Doca	C = 99,6132% e D = 165,82 metros								
13	Doca									
13	3	70	8	N0	12	2	269	6	70	0,085714
13	3	70	8	N0	23	2	253	5	30	0,166667
13	3	70	8	N0	18	2	270	2	70	0,028571
13	3	80	11	N0	9	1	3403	4	78	0,051282
13	3	80	11	N0	6	1	3503	4	50	0,080000
13	3	80	2	N0	10	2	1712	3	60	0,050000
13	3	90	13	N0	11	2	3803	4	720	0,005556
13	3	90	13	N0	10	1	3810	3	720	0,004167
13	3	90	13	N0	5	1	3811	3	720	0,004167
13	3	90	13	N0	1	2	3801	7	720	0,009722
13	3	90	13	N0	22	1	3809	5	720	0,006944
13	3	90	13	N0	25	2	3805	2	720	0,002778

13	3	90	13	N0	36	1	3806	2	720	0,002778
13	3	90	14	N0	34	2	3816	6	720	0,008333
13	3	90	14	N0	31	2	3818	4	720	0,005556
13	3	90	14	N0	10	2	3808	3	720	0,004167
13	3	90	14	N0	2	2	3815	2	720	0,002778
13	3	90	12	N0	3	1	3817	2	720	0,002778
13	3	100	15	N0	2	2	6004	21	1440	0,014583
13	3	100	15	N0	3	2	6005	23	1440	0,015972
13	3	100	15	N0	5	2	6006	23	1440	0,015972
13	3	100	15	N0	8	2	2873	4	1800	0,002222
13	3	100	15	N0	10	2	2874	5	1800	0,002778
13	3	100	15	N0	12	2	2875	5	1800	0,002778
13	3	100	16	N0	2	2	8117	1	1320	0,000758
13	3	110	16	N0	4	1	7086	26	800	0,032500
13	3	110	16	N0	23	1	7098	3	800	0,003750
13	3	110	16	N0	24	2	6072	1	780	0,001282
13	3	110	16	N0	27	1	7099	1	800	0,001250
13	3	110	16	N0	31	1	8205	7	800	0,008750
13	3	110	17	N0	4	1	6020	3	90	0,033333
13	3	110	17	N0	3	2	7526	2	1008	0,001984
13	3	110	17	N0	7	2	6007	10	840	0,011905
13	3	110	17	N0	12	2	8281	6	1008	0,005952
13	3	110	14	N0	19	1	5548	1	96	0,010417
13	3	110	14	N0	10	1	2910	1	480	0,002083
13	3	110	14	N0	2	1	2933	2	480	0,004167
13	Doca	C = 69,4394% e D = 547,12 metros								
14	Doca									
14	4	10	9	N0	2	1	261	5	40	0,125000
14	4	10	9	N0	8	2	259	2	40	0,050000
14	4	10	9	N0	18	2	258	2	40	0,050000
14	4	10	8	N0	7	1	257	4	40	0,100000
14	4	10	8	N0	19	1	256	4	40	0,100000
14	4	10	8	N0	31	1	254	2	40	0,050000
14	4	20	5	N0	32	2	722	5	84	0,059524
14	4	20	4	N0	16	2	716	6	84	0,071429
14	4	20	3	N0	4	2	802	12	84	0,142857
14	4	20	2	N0	1	1	1261	5	84	0,059524
14	Doca	C = 80,8334% e D = 215,22 metros								
15	Doca									
15	4	20	4	N0	4	2	703	74	84	0,880952
15	4	30	6	N0	12	1	8139	3	100	0,030000
15	4	30	7	N0	9	2	8140	5	100	0,050000
15	Doca	C = 96,0952% e D = 104,42 metros								
16	Doca									
16	4	30	6	N0	8	1	8138	10	100	0,100000
16	4	30	6	N0	25	1	97	8	100	0,080000
16	4	40	9	N0	10	1	231	1	105	0,009524
16	4	50	3	N0	18	2	803	5	36	0,138889
16	4	50	3	N0	20	2	801	10	49	0,204082
16	4	50	3	N0	27	2	811	7	49	0,142857
16	4	50	3	N0	33	2	814	2	36	0,055556

Conclusão

16	4	50	3	N0	28	2	812	7	49	0,142857
16	4	50	3	N0	10	1	708	4	49	0,081633
16	Doca	C = 95,5398% e D = 230,02 metros								
17	Doca									
17	4	50	4	N0	3	1	707	2	36	0,055556
17	4	50	4	N0	22	2	710	3	36	0,083333
17	4	50	4	N0	31	2	717	5	36	0,138889
17	4	60	4	N0	19	1	712	8	20	0,400000
17	4	60	3	N0	19	1	1101	1	32	0,031250
17	4	60	3	N0	1	1	806	5	20	0,250000
17	Doca	C = 95,9028% e D = 163,42 metros								
18	Doca									
18	4	60	4	N0	32	1	702	10	20	0,500000
18	4	70	8	N0	7	2	271	23	70	0,328571
18	4	70	8	N0	1	2	282	1	70	0,014286
18	Doca	C = 84,2857% e D = 147,62 metros								
19	Doca									
19	4	70	8	N0	12	2	269	23	70	0,328571
19	4	70	8	N0	18	2	270	23	70	0,328571
19	4	80	11	N0	9	1	3403	3	78	0,038462
19	4	80	11	N0	6	1	3503	2	50	0,040000
19	4	90	14	N0	28	1	4004	5	180	0,027778
19	4	100	15	N0	5	2	6006	10	1440	0,006944
19	4	100	15	N0	3	2	6005	10	1440	0,006944
19	4	100	15	N0	2	2	6004	10	1440	0,006944
19	4	110	17	N0	6	1	6046	2	153	0,013072
19	4	110	17	N0	3	1	6065	1	105	0,009524
19	Doca	C = 80,681% e D = 219,72 metros								

Distância total = 4154,18 metros

QUADRO AN2.2 Resultado do teste 2 para o embarque 7763

Continua

viagem	lote	fam	rua	nl	col	po	cod-item	qtde-item	qtd-pallet	qtd-item-pallet
1	Doca									
1	1	10	9	N0	8	2	259	2	40	0,050000
1	1	10	9	N0	18	2	258	1	40	0,025000
1	1	10	9	N0	25	2	351	5	40	0,125000
1	1	10	9	N0	32	2	353	2	40	0,050000
1	1	10	8	N0	31	1	254	1	40	0,025000
1	1	10	8	N0	19	1	256	2	40	0,050000
1	1	10	8	N0	7	1	257	1	40	0,025000
1	1	20	4	N0	4	2	703	5	84	0,059524
1	1	20	2	N0	7	1	8099	4	64	0,062500
1	1	30	6	N0	12	1	8139	1	100	0,010000
1	1	30	6	N0	8	1	8138	3	100	0,030000
1	1	30	7	N0	1	1	273	1	60	0,016667

1	1	30	7	N0	9	2	8140	1	100	0,010000
1	1	30	7	N0	16	2	96	1	100	0,010000
1	1	30	6	N0	25	1	97	1	100	0,010000
1	1	40	10	N0	18	2	248	1	105	0,009524
1	1	50	3	N0	18	2	803	1	36	0,027778
1	1	50	3	N0	27	2	811	1	49	0,020408
1	1	50	3	N0	10	1	708	1	49	0,020408
1	1	50	4	N0	3	1	707	1	36	0,027778
1	1	50	2	N0	21	1	1251	1	30	0,033333
1	1	50	2	N0	32	1	1309	15	64	0,234375
1	1	50	2	N0	34	1	1305	7	100	0,07
1	Doca	C = 100,2295% e D = 510,02 metros								
2	Doca									
2	1	50	2	N0	34	1	1305	29	100	0,29
2	1	60	4	N0	32	1	702	1	20	0,050000
2	1	60	4	N0	19	1	712	2	20	0,100000
2	1	70	8	N0	18	2	270	1	70	0,014286
2	1	70	8	N0	1	2	282	2	70	0,028571
2	1	80	2	N0	10	2	1712	2	60	0,033333
2	1	80	11	N0	9	1	3403	2	78	0,025641
2	1	90	13	N0	11	2	3803	10	720	0,013889
2	1	90	13	N0	10	1	3810	3	720	0,004167
2	1	90	13	N0	5	1	3811	3	720	0,004167
2	1	90	13	N0	1	2	3801	7	720	0,009722
2	1	90	13	N0	22	1	3809	7	720	0,009722
2	1	90	13	N0	25	2	3805	8	720	0,011111
2	1	90	13	N0	36	1	3806	3	720	0,004167
2	1	90	14	N0	34	2	3816	5	720	0,006944
2	1	90	14	N0	31	2	3818	8	720	0,011111
2	1	90	14	N0	10	2	3808	5	720	0,006944
2	1	90	14	N0	2	2	3815	2	720	0,002778
2	1	90	12	N0	3	1	3817	6	720	0,008333
2	1	100	15	N0	2	2	6004	2	1440	0,001389
2	1	100	15	N0	3	2	6005	3	1440	0,002083
2	1	100	15	N0	5	2	6006	3	1440	0,002083
2	1	100	15	N0	8	2	2873	5	1800	0,002778
2	1	100	15	N0	12	2	2875	6	1800	0,003333
2	1	100	15	N0	10	2	2874	8	1800	0,004444
2	1	100	16	N0	1	2	2887	2	1800	0,001111
2	1	110	16	N0	4	1	7086	8	800	0,010000
2	1	110	16	N0	9	1	7096	5	800	0,006250
2	1	110	17	N0	12	2	8281	5	1008	0,004960
2	1	110	17	N0	8	1	6050	1	105	0,009524
2	1	110	14	N0	17	1	2905	2	480	0,004167
2	1	110	14	N0	19	1	5548	2	96	0,020833
2	1	110	15	N0	21	1	6021	1	840	0,001190
2	1	110	15	N0	29	1	6000	8	840	0,009524
2	1	110	16	N0	31	1	8205	8	800	0,010000
2	1	110	16	N0	27	1	7099	7	800	0,008750
2	1	110	14	N0	10	1	2910	2	480	0,004167
2	1	110	14	N0	2	1	2933	1	480	0,002083

2	1	110	6	N0	6	1	9840	4	384	0,010417
2	Doca	C = 75,3972% e D = 717,42 metros								
3	Doca									
3	2	30	6	N0	7	2	241	100	100	*****
3	Doca	C = 100% e D = 65,62 metros								
4	Doca									
4	2	30	6	N0	7	2	241	100	100	*****
4	Doca	C = 100% e D = 65,62 metros								
5	Doca									
5	2	30	6	N0	7	2	241	100	100	*****
5	Doca	C = 100% e D = 65,62 metros								
6	Doca									
6	2	50	4	N0	3	1	707	36	36	*****
6	Doca	C = 100% e D = 78,02 metros								
7	Doca									
7	2	30	6	N0	7	2	241	21	100	0,210000
7	2	50	3	N0	27	2	811	13	49	0,265306
7	2	50	4	N0	3	1	707	7	36	0,194444
7	Doca	C = 66,975% e D = 146,62 metros								
8	Doca									
8	3	10	9	N0	2	1	261	2	40	0,050000
8	3	10	9	N0	8	2	259	11	40	0,275000
8	3	10	8	N0	19	1	256	8	40	0,200000
8	3	10	8	N0	32	1	255	3	40	0,075000
8	3	10	8	N0	31	1	254	6	40	0,150000
8	3	10	9	N0	18	2	258	10	40	0,250000
8	3	10	8	N0	7	1	257	1	40	0,025
8	Doca	C = 102,5% e D = 119,42 metros								
9	Doca									
9	3	10	8	N0	7	1	257	4	40	0,1
9	3	20	3	N0	4	2	802	19	84	0,226190
9	3	20	2	N0	1	1	1261	8	84	0,095238
9	3	20	2	N0	7	1	8099	14	64	0,218750
9	3	20	4	N0	16	2	716	6	84	0,071429
9	3	20	4	N0	4	2	703	25	84	0,297619048
9	Doca	C = 100,922604761905% e D = 157,62 metros								
10	Doca									
10	3	20	4	N0	4	2	703	13	84	0,154761905
10	3	30	6	N0	8	1	8138	9	100	0,090000
10	3	30	6	N0	12	1	8139	10	100	0,100000
10	3	30	6	N0	25	2	242	1	100	0,010000
10	3	30	6	N0	25	1	97	8	100	0,080000
10	3	30	7	N0	16	2	96	6	100	0,060000
10	3	30	7	N0	9	2	8140	6	100	0,060000
10	3	40	10	N0	18	2	248	14	105	0,133333
10	3	40	10	N0	23	2	234	14	105	0,133333
10	3	40	10	N0	28	1	209	2	70	0,028571
10	3	40	10	N0	36	1	210	1	70	0,014286
10	3	40	9	N0	34	1	232	11	105	0,104762
10	3	40	9	N0	10	1	231	4	105	0,038095238
10	Doca	C = 100,714214285714% e D = 223,42 metros								

11	Doca									
11	3	40	9	N0	10	1	231	13	105	0,123809524
11	3	40	9	N0	26	1	229	9	105	0,085714
11	3	50	3	N0	18	2	803	5	36	0,138889
11	3	50	3	N0	20	2	801	4	49	0,081633
11	3	50	3	N0	27	2	811	1	49	0,020408
11	3	50	3	N0	33	2	814	1	36	0,027778
11	3	50	4	N0	31	2	717	2	36	0,055556
11	3	50	4	N0	22	2	710	4	36	0,111111
11	3	50	2	N0	21	1	1251	2	30	0,066667
11	3	50	2	N0	30	1	1256	1	49	0,020408
11	3	50	2	N0	28	1	1254	1	36	0,027778
11	3	50	3	N0	10	1	708	3	49	0,061224
11	3	50	4	N0	3	1	707	7	36	0,194444444
11	Doca	C = 101,541996825397% e D = 262,22 metros								
12	Doca									
12	3	50	4	N0	3	1	707	2	36	0,055555556
12	3	60	4	N0	19	1	712	4	20	0,200000
12	3	60	4	N0	32	1	702	4	20	0,200000
12	3	60	3	N0	19	1	1101	3	32	0,093750
12	3	70	8	N0	18	2	270	2	70	0,028571
12	3	70	8	N0	23	2	253	5	30	0,166667
12	3	70	8	N0	12	2	269	6	70	0,085714
12	3	70	8	N0	7	2	271	1	70	0,014286
12	3	70	8	N0	1	2	282	5	70	0,071429
12	3	80	11	N0	9	1	3403	4	78	0,051282
12	3	80	11	N0	6	1	3503	2	50	0,04
12	Doca	C = 100,725455555556% e D = 220,72 metros								
13	Doca									
13	3	80	11	N0	6	1	3503	2	50	0,04
13	3	80	2	N0	10	2	1712	3	60	0,050000
13	3	90	13	N0	11	2	3803	4	720	0,005556
13	3	90	13	N0	10	1	3810	3	720	0,004167
13	3	90	13	N0	5	1	3811	3	720	0,004167
13	3	90	13	N0	1	2	3801	7	720	0,009722
13	3	90	13	N0	22	1	3809	5	720	0,006944
13	3	90	13	N0	25	2	3805	2	720	0,002778
13	3	90	13	N0	36	1	3806	2	720	0,002778
13	3	90	14	N0	34	2	3816	6	720	0,008333
13	3	90	14	N0	31	2	3818	4	720	0,005556
13	3	90	14	N0	10	2	3808	3	720	0,004167
13	3	90	14	N0	2	2	3815	2	720	0,002778
13	3	90	12	N0	3	1	3817	2	720	0,002778
13	3	100	15	N0	2	2	6004	21	1440	0,014583
13	3	100	15	N0	3	2	6005	23	1440	0,015972
13	3	100	15	N0	5	2	6006	23	1440	0,015972
13	3	100	15	N0	8	2	2873	4	1800	0,002222
13	3	100	15	N0	10	2	2874	5	1800	0,002778
13	3	100	15	N0	12	2	2875	5	1800	0,002778
13	3	100	16	N0	2	2	8117	1	1320	0,000758
13	3	110	16	N0	4	1	7086	26	800	0,032500

Continuação

13	3	110	16	N0	23	1	7098	3	800	0,003750
13	3	110	16	N0	24	2	6072	1	780	0,001282
13	3	110	16	N0	27	1	7099	1	800	0,001250
13	3	110	16	N0	31	1	8205	7	800	0,008750
13	3	110	17	N0	4	1	6020	3	90	0,033333
13	3	110	17	N0	3	2	7526	2	1008	0,001984
13	3	110	17	N0	7	2	6007	10	840	0,011905
13	3	110	17	N0	12	2	8281	6	1008	0,005952
13	3	110	14	N0	19	1	5548	1	96	0,010417
13	3	110	14	N0	10	1	2910	1	480	0,002083
13	3	110	14	N0	2	1	2933	2	480	0,004167
13	Doca	C = 32,216% e D = 489,82 metros								
14	Doca									
14	4	10	9	N0	2	1	261	5	40	0,125000
14	4	10	9	N0	8	2	259	2	40	0,050000
14	4	10	9	N0	18	2	258	2	40	0,050000
14	4	10	8	N0	7	1	257	4	40	0,100000
14	4	10	8	N0	19	1	256	4	40	0,100000
14	4	10	8	N0	31	1	254	2	40	0,050000
14	4	20	5	N0	32	2	722	5	84	0,059524
14	4	20	4	N0	16	2	716	6	84	0,071429
14	4	20	3	N0	4	2	802	12	84	0,142857
14	4	20	2	N0	1	1	1261	5	84	0,059524
14	4	20	4	N0	4	2	703	17	84	0,202380952
14	Doca	C = 101,071495238095% e D = 224,82 metros								
15	Doca									
15	4	20	4	N0	4	2	703	57	84	0,678571429
15	4	30	6	N0	8	1	8138	10	100	0,100000
15	4	30	6	N0	12	1	8139	3	100	0,030000
15	4	30	6	N0	25	1	97	8	100	0,080000
15	4	30	7	N0	9	2	8140	5	100	0,050000
15	4	40	9	N0	10	1	231	1	105	0,009524
15	4	50	3	N0	10	1	708	3	49	0,06122449
15	Doca	C = 100,931991836735% e D = 223,22 metros								
16	Doca									
16	4	50	3	N0	10	1	708	1	49	0,020408163
16	4	50	3	N0	18	2	803	5	36	0,138889
16	4	50	3	N0	20	2	801	10	49	0,204082
16	4	50	3	N0	27	2	811	7	49	0,142857
16	4	50	3	N0	28	2	812	7	49	0,142857
16	4	50	3	N0	33	2	814	2	36	0,055556
16	4	50	4	N0	31	2	717	5	36	0,138889
16	4	50	4	N0	22	2	710	3	36	0,083333
16	4	50	4	N0	3	1	707	2	36	0,055556
16	4	60	3	N0	1	1	806	1	20	0,05
16	Doca	C = 103,242716326531% e D = 188,82 metros								
17	Doca									
17	4	60	3	N0	1	1	806	4	20	0,2
17	4	60	3	N0	19	1	1101	1	32	0,031250
17	4	60	4	N0	32	1	702	10	20	0,500000
17	4	60	4	N0	19	1	712	6	20	0,3

Conclusão

17	Doca	C = 103,125% e D = 165,82 metros								
18	Doca									
18	4	60	4	N0	19	1	712	2	20	0,1
18	4	70	8	N0	7	2	271	23	70	0,328571
18	4	70	8	N0	1	2	282	1	70	0,014286
18	4	70	8	N0	18	2	270	23	70	0,328571
18	4	70	8	N0	12	2	269	17	70	0,242857143
18	Doca	C = 101,428514285714% e D = 157,22 metros								
19	Doca									
19	4	70	8	N0	12	2	269	6	70	0,085714286
19	4	80	11	N0	9	1	3403	3	78	0,038462
19	4	80	11	N0	6	1	3503	2	50	0,040000
19	4	90	14	N0	28	1	4004	5	180	0,027778
19	4	100	15	N0	5	2	6006	10	1440	0,006944
19	4	100	15	N0	3	2	6005	10	1440	0,006944
19	4	100	15	N0	2	2	6004	10	1440	0,006944
19	4	110	17	N0	6	1	6046	2	153	0,013072
19	4	110	17	N0	3	1	6065	1	105	0,009524
19	Doca	C = 23,5382285714286% e D = 207,72 metros								

Distância total = 4289,78 metros

QUADRO AN2.3 Resultado do teste 3 para o embarque 7763

Continua

viagem	lote	fam	rua	nl	col	po	cod-item	qtde-item	qtd-pallet	qtd-item-pallet
1	Doca									
1	1	10	9	N0	8	2	259	2	40	0,050000
1	1	10	9	N0	18	2	258	1	40	0,025000
1	1	10	9	N0	25	2	351	5	40	0,125000
1	1	10	9	N0	32	2	353	2	40	0,050000
1	1	10	8	N0	31	1	254	1	40	0,025000
1	1	10	8	N0	19	1	256	2	40	0,050000
1	1	10	8	N0	7	1	257	1	40	0,025000
1	1	20	4	N0	4	2	703	5	84	0,059524
1	1	20	2	N0	7	1	8099	4	64	0,062500
1	1	30	6	N0	12	1	8139	1	100	0,010000
1	1	30	6	N0	8	1	8138	3	100	0,030000
1	1	30	7	N0	1	1	273	1	60	0,016667
1	1	30	7	N0	9	2	8140	1	100	0,010000
1	1	30	7	N0	16	2	96	1	100	0,010000
1	1	30	6	N0	25	1	97	1	100	0,010000
1	1	40	10	N0	18	2	248	1	105	0,009524
1	1	50	3	N0	18	2	803	1	36	0,027778
1	1	50	3	N0	27	2	811	1	49	0,020408
1	1	50	3	N0	10	1	708	1	49	0,020408
1	1	50	2	N0	21	1	1251	1	30	0,033333
1	1	50	4	N0	3	1	707	1	36	0,027778
1	Doca	C = 69,792% e D = 443,82 metros								

2	Doca									
2	1	50	2	N0	32	1	1309	15	64	0,234375
2	1	50	2	N0	34	1	1305	36	100	0,360000
2	1	60	4	N0	32	1	702	1	20	0,050000
2	1	60	4	N0	19	1	712	2	20	0,100000
2	1	70	8	N0	18	2	270	1	70	0,014286
2	1	70	8	N0	1	2	282	2	70	0,028571
2	1	80	2	N0	10	2	1712	2	60	0,033333
2	1	80	11	N0	9	1	3403	2	78	0,025641
2	1	90	13	N0	10	1	3810	3	720	0,004167
2	1	90	13	N0	5	1	3811	3	720	0,004167
2	1	90	13	N0	1	2	3801	7	720	0,009722
2	1	90	14	N0	2	2	3815	2	720	0,002778
2	1	90	12	N0	3	1	3817	6	720	0,008333
2	Doca	C = 87,5373% e D = 359,52 metros								
3	Doca									
3	1	90	13	N0	11	2	3803	10	720	0,013889
3	1	90	13	N0	22	1	3809	7	720	0,009722
3	1	90	13	N0	25	2	3805	8	720	0,011111
3	1	90	13	N0	36	1	3806	3	720	0,004167
3	1	90	14	N0	34	2	3816	5	720	0,006944
3	1	90	14	N0	31	2	3818	8	720	0,011111
3	1	90	14	N0	10	2	3808	5	720	0,006944
3	1	100	15	N0	12	2	2875	6	1800	0,003333
3	1	100	15	N0	10	2	2874	8	1800	0,004444
3	1	100	15	N0	8	2	2873	5	1800	0,002778
3	1	100	15	N0	5	2	6006	3	1440	0,002083
3	1	100	15	N0	3	2	6005	3	1440	0,002083
3	1	100	15	N0	2	2	6004	2	1440	0,001389
3	1	100	16	N0	1	2	2887	2	1800	0,001111
3	1	110	16	N0	4	1	7086	8	800	0,010000
3	1	110	16	N0	9	1	7096	5	800	0,006250
3	1	110	17	N0	12	2	8281	5	1008	0,004960
3	1	110	17	N0	8	1	6050	1	105	0,009524
3	1	110	14	N0	17	1	2905	2	480	0,004167
3	1	110	14	N0	19	1	5548	2	96	0,020833
3	1	110	14	N0	10	1	2910	2	480	0,004167
3	1	110	15	N0	21	1	6021	1	840	0,001190
3	1	110	15	N0	29	1	6000	8	840	0,009524
3	1	110	16	N0	27	1	7099	7	800	0,008750
3	1	110	16	N0	31	1	8205	8	800	0,010000
3	1	110	14	N0	2	1	2933	1	480	0,002083
3	1	110	6	N0	6	1	9840	4	384	0,010417
3	Doca	C = 18,2974% e D = 405,32 metros								
4	Doca									
4	2	30	6	N0	7	2	241	100	100	*****
4	Doca	C = 100% e D = 65,62 metros								
5	Doca									
5	2	30	6	N0	7	2	241	100	100	*****
5	Doca	C = 100% e D = 65,62 metros								
6	Doca									

6	2	30	6	N0	7	2	241	100	100	*****
6	Doca	C = 100% e D = 65,62 metros								
7	Doca									
7	2	50	4	N0	3	1	707	36	36	*****
7	Doca	C = 100% e D = 78,02 metros								
8	Doca									
8	2	30	6	N0	7	2	241	21	100	0,210000
8	2	50	3	N0	27	2	811	13	49	0,265306
8	2	50	4	N0	3	1	707	7	36	0,194444
8	Doca	C = 66,975% e D = 146,62 metros								
9	Doca									
9	3	10	9	N0	2	1	261	2	40	0,050000
9	3	10	9	N0	8	2	259	11	40	0,275000
9	3	10	8	N0	19	1	256	8	40	0,200000
9	3	10	8	N0	32	1	255	3	40	0,075000
9	3	10	8	N0	31	1	254	6	40	0,150000
9	3	10	8	N0	7	1	257	5	40	0,125000
9	Doca	C = 87,5% e D = 103,62 metros								
10	Doca									
10	3	10	9	N0	18	2	258	10	40	0,250000
10	3	20	4	N0	16	2	716	6	84	0,071429
10	3	20	2	N0	7	1	8099	14	64	0,218750
10	3	20	2	N0	1	1	1261	8	84	0,095238
10	3	20	3	N0	4	2	802	19	84	0,226190
10	Doca	C = 86,1607% e D = 145,62 metros								
11	Doca									
11	3	20	4	N0	4	2	703	38	84	0,452381
11	3	30	6	N0	8	1	8138	9	100	0,090000
11	3	30	6	N0	12	1	8139	10	100	0,100000
11	3	30	7	N0	9	2	8140	6	100	0,060000
11	3	30	7	N0	16	2	96	6	100	0,060000
11	3	30	6	N0	25	2	242	1	100	0,010000
11	3	30	6	N0	25	1	97	8	100	0,080000
11	3	40	10	N0	36	1	210	1	70	0,014286
11	3	40	10	N0	28	1	209	2	70	0,028571
11	Doca	C = 89,5238% e D = 200,12 metros								
12	Doca									
12	3	40	9	N0	10	1	231	17	105	0,161905
12	3	40	10	N0	18	2	248	14	105	0,133333
12	3	40	10	N0	23	2	234	14	105	0,133333
12	3	40	9	N0	26	1	229	9	105	0,085714
12	3	40	9	N0	34	1	232	11	105	0,104762
12	3	50	3	N0	33	2	814	1	36	0,027778
12	3	50	3	N0	27	2	811	1	49	0,020408
12	3	50	3	N0	18	2	803	5	36	0,138889
12	3	50	2	N0	28	1	1254	1	36	0,027778
12	3	50	3	N0	10	1	708	3	49	0,061224
12	Doca	C = 89,5124% e D = 243,02 metros								
13	Doca									
13	3	50	4	N0	3	1	707	9	36	0,250000
13	3	50	4	N0	22	2	710	4	36	0,111111

13	3	50	4	N0	31	2	717	2	36	0,055556
13	3	50	3	N0	20	2	801	4	49	0,081633
13	3	50	2	N0	21	1	1251	2	30	0,066667
13	3	50	2	N0	30	1	1256	1	49	0,020408
13	3	60	3	N0	19	1	1101	3	32	0,093750
13	3	60	4	N0	32	1	702	4	20	0,200000
13	Doca	C = 87,9125% e D = 256,02 metros								
14	Doca									
14	3	60	4	N0	19	1	712	4	20	0,200000
14	3	70	8	N0	18	2	270	2	70	0,028571
14	3	70	8	N0	23	2	253	5	30	0,166667
14	3	70	8	N0	12	2	269	6	70	0,085714
14	3	70	8	N0	7	2	271	1	70	0,014286
14	3	70	8	N0	1	2	282	5	70	0,071429
14	3	80	11	N0	6	1	3503	4	50	0,080000
14	3	80	11	N0	9	1	3403	4	78	0,051282
14	3	80	2	N0	10	2	1712	3	60	0,050000
14	3	90	13	N0	11	2	3803	4	720	0,005556
14	3	90	13	N0	10	1	3810	3	720	0,004167
14	3	90	13	N0	5	1	3811	3	720	0,004167
14	3	90	13	N0	1	2	3801	7	720	0,009722
14	3	90	13	N0	22	1	3809	5	720	0,006944
14	3	90	13	N0	25	2	3805	2	720	0,002778
14	3	90	13	N0	36	1	3806	2	720	0,002778
14	3	90	14	N0	34	2	3816	6	720	0,008333
14	3	90	14	N0	31	2	3818	4	720	0,005556
14	3	90	14	N0	10	2	3808	3	720	0,004167
14	3	90	14	N0	2	2	3815	2	720	0,002778
14	3	90	12	N0	3	1	3817	2	720	0,002778
14	3	100	15	N0	2	2	6004	21	1440	0,014583
14	3	100	15	N0	3	2	6005	23	1440	0,015972
14	3	100	15	N0	5	2	6006	23	1440	0,015972
14	3	100	15	N0	8	2	2873	4	1800	0,002222
14	3	100	15	N0	10	2	2874	5	1800	0,002778
14	3	100	15	N0	12	2	2875	5	1800	0,002778
14	3	100	16	N0	2	2	8117	1	1320	0,000758
14	3	110	17	N0	3	2	7526	2	1008	0,001984
14	3	110	17	N0	7	2	6007	10	840	0,011905
14	3	110	17	N0	12	2	8281	6	1008	0,005952
14	3	110	16	N0	23	1	7098	3	800	0,003750
14	3	110	16	N0	24	2	6072	1	780	0,001282
14	3	110	16	N0	27	1	7099	1	800	0,001250
14	3	110	14	N0	10	1	2910	1	480	0,002083
14	3	110	14	N0	2	1	2933	2	480	0,004167
14	Doca	C = 89,5109% e D = 569,5201 metros								
15	Doca									
15	3	110	17	N0	4	1	6020	3	90	0,033333
15	3	110	16	N0	4	1	7086	26	800	0,032500
15	3	110	16	N0	31	1	8205	7	800	0,008750
15	3	110	14	N0	19	1	5548	1	96	0,010417
15	Doca	C = 8,5% e D = 184,02 metros								

16	Doca									
16	4	10	9	N0	2	1	261	5	40	0,125000
16	4	10	9	N0	8	2	259	2	40	0,050000
16	4	10	9	N0	18	2	258	2	40	0,050000
16	4	10	8	N0	7	1	257	4	40	0,100000
16	4	10	8	N0	19	1	256	4	40	0,100000
16	4	10	8	N0	31	1	254	2	40	0,050000
16	4	20	5	N0	32	2	722	5	84	0,059524
16	4	20	4	N0	16	2	716	6	84	0,071429
16	4	20	3	N0	4	2	802	12	84	0,142857
16	4	20	2	N0	1	1	1261	5	84	0,059524
16	Doca	C = 80,8334% e D = 215,22 metros								
17	Doca									
17	4	20	4	N0	4	2	703	74	84	0,880952
17	Doca	C = 88,0952% e D = 80,42 metros								
18	Doca									
18	4	30	6	N0	8	1	8138	10	100	0,100000
18	4	30	6	N0	12	1	8139	3	100	0,030000
18	4	30	6	N0	25	1	97	8	100	0,080000
18	4	30	7	N0	9	2	8140	5	100	0,050000
18	4	40	9	N0	10	1	231	1	105	0,009524
18	4	50	3	N0	20	2	801	10	49	0,204082
18	4	50	3	N0	18	2	803	5	36	0,138889
18	4	50	3	N0	10	1	708	4	49	0,081633
18	4	50	4	N0	22	2	710	3	36	0,083333
18	4	50	3	N0	33	2	814	2	36	0,055556
18	4	50	4	N0	3	1	707	2	36	0,055556
18	Doca	C = 88,8573% e D = 289,02 metros								
19	Doca									
19	4	50	3	N0	27	2	811	7	49	0,142857
19	4	50	3	N0	28	2	812	7	49	0,142857
19	4	50	4	N0	31	2	717	5	36	0,138889
19	4	60	4	N0	19	1	712	8	20	0,400000
19	4	60	3	N0	19	1	1101	1	32	0,031250
19	Doca	C = 85,5853% e D = 193,62 metros								
20	Doca									
20	4	60	3	N0	1	1	806	5	20	0,250000
20	4	60	4	N0	32	1	702	10	20	0,500000
20	4	70	8	N0	1	2	282	1	70	0,014286
20	Doca	C = 76,4286% e D = 158,62 metros								
21	Doca									
21	4	70	8	N0	12	2	269	23	70	0,328571
21	4	70	8	N0	7	2	271	23	70	0,328571
21	Doca	C = 65,7142% e D = 55,62 metros								
22	Doca									
22	4	70	8	N0	18	2	270	23	70	0,328571
22	4	80	11	N0	9	1	3403	3	78	0,038462
22	4	80	11	N0	6	1	3503	2	50	0,040000
22	4	90	14	N0	28	1	4004	5	180	0,027778
22	4	100	15	N0	5	2	6006	10	1440	0,006944
22	4	100	15	N0	3	2	6005	10	1440	0,006944

Conclusão

22	4	100	15	N0	2	2	6004	10	1440	0,006944
22	4	110	17	N0	6	1	6046	2	153	0,013072
22	4	110	17	N0	3	1	6065	1	105	0,009524
22	Doca	C = 47,8239% e D = 219,72 metros								

Distância total = 4544,34 metros

QUADRO AN2.4 Resultado do teste 4 para o embarque 7763

Continua

Viagem	lote	fam	rua	nl	col	po	cod-item	qtde-item	qtd-pallet	qtd-item-pallet
1	Doca									
1	1	10	9	N0	8	2	259	2	40	0,050000
1	1	10	9	N0	18	2	258	1	40	0,025000
1	1	10	9	N0	25	2	351	5	40	0,125000
1	1	10	9	N0	32	2	353	2	40	0,050000
1	1	10	8	N0	31	1	254	1	40	0,025000
1	1	10	8	N0	19	1	256	2	40	0,050000
1	1	10	8	N0	7	1	257	1	40	0,025000
1	1	20	4	N0	4	2	703	5	84	0,059524
1	1	20	2	N0	7	1	8099	4	64	0,062500
1	1	30	6	N0	12	1	8139	1	100	0,010000
1	1	30	6	N0	8	1	8138	3	100	0,030000
1	1	30	7	N0	1	1	273	1	60	0,016667
1	1	30	7	N0	9	2	8140	1	100	0,010000
1	1	30	7	N0	16	2	96	1	100	0,010000
1	1	30	6	N0	25	1	97	1	100	0,010000
1	1	40	10	N0	18	2	248	1	105	0,009524
1	1	50	3	N0	18	2	803	1	36	0,027778
1	1	50	3	N0	27	2	811	1	49	0,020408
1	1	50	3	N0	10	1	708	1	49	0,020408
1	1	50	4	N0	3	1	707	1	36	0,027778
1	1	50	2	N0	21	1	1251	1	30	0,033333
1	1	50	2	N0	32	1	1309	12	64	0,1875
1	Doca	C = 88,542% e D = 505,22 metros								
2	Doca									
2	1	50	2	N0	32	1	1309	3	64	0,046875
2	1	50	2	N0	34	1	1305	36	100	0,360000
2	1	60	4	N0	32	1	702	1	20	0,050000
2	1	60	4	N0	19	1	712	2	20	0,100000
2	1	70	8	N0	18	2	270	1	70	0,014286
2	1	70	8	N0	1	2	282	2	70	0,028571
2	1	80	2	N0	10	2	1712	2	60	0,033333
2	1	80	11	N0	9	1	3403	2	78	0,025641
2	1	90	13	N0	11	2	3803	10	720	0,013889
2	1	90	13	N0	10	1	3810	3	720	0,004167
2	1	90	13	N0	5	1	3811	3	720	0,004167
2	1	90	13	N0	1	2	3801	7	720	0,009722
2	1	90	13	N0	22	1	3809	7	720	0,009722

2	1	90	13	N0	25	2	3805	8	720	0,011111
2	1	90	13	N0	36	1	3806	3	720	0,004167
2	1	90	14	N0	34	2	3816	5	720	0,006944
2	1	90	14	N0	31	2	3818	8	720	0,011111
2	1	90	14	N0	10	2	3808	5	720	0,006944
2	1	90	14	N0	2	2	3815	2	720	0,002778
2	1	90	12	N0	3	1	3817	6	720	0,008333
2	1	100	15	N0	2	2	6004	2	1440	0,001389
2	1	100	15	N0	3	2	6005	3	1440	0,002083
2	1	100	15	N0	5	2	6006	3	1440	0,002083
2	1	100	15	N0	8	2	2873	5	1800	0,002778
2	1	100	15	N0	12	2	2875	6	1800	0,003333
2	1	100	15	N0	10	2	2874	8	1800	0,004444
2	1	100	16	N0	1	2	2887	2	1800	0,001111
2	1	110	16	N0	4	1	7086	8	800	0,010000
2	1	110	16	N0	9	1	7096	5	800	0,006250
2	1	110	17	N0	12	2	8281	5	1008	0,004960
2	1	110	17	N0	8	1	6050	1	105	0,009524
2	1	110	14	N0	17	1	2905	2	480	0,004167
2	1	110	14	N0	19	1	5548	2	96	0,020833
2	1	110	14	N0	10	1	2910	2	480	0,004167
2	1	110	15	N0	21	1	6021	1	840	0,001190
2	1	110	15	N0	29	1	6000	8	840	0,009524
2	1	110	16	N0	27	1	7099	7	800	0,008750
2	1	110	16	N0	31	1	8205	8	800	0,010000
2	1	110	14	N0	2	1	2933	1	480	0,002083
2	1	110	6	N0	6	1	9840	4	384	0,010417
2	Doca	C = 87,0847% e D = 741,42 metros								
3	Doca									
3	2	30	6	N0	7	2	241	100	100	*****
3	Doca	C = 100% e D = 65,62 metros								
4	Doca									
4	2	30	6	N0	7	2	241	100	100	*****
4	Doca	C = 100% e D = 65,62 metros								
5	Doca									
5	2	30	6	N0	7	2	241	100	100	*****
5	Doca	C = 100% e D = 65,62 metros								
6	Doca									
6	2	50	4	N0	3	1	707	36	36	*****
6	Doca	C = 100% e D = 78,02 metros								
7	Doca									
7	2	30	6	N0	7	2	241	21	100	0,210000
7	2	50	3	N0	27	2	811	13	49	0,265306
7	2	50	4	N0	3	1	707	7	36	0,194444
7	Doca	C = 66,975% e D = 146,62 metros								
8	Doca									
8	3	10	9	N0	2	1	261	2	40	0,050000
8	3	10	9	N0	8	2	259	11	40	0,275000
8	3	10	8	N0	19	1	256	8	40	0,200000
8	3	10	8	N0	32	1	255	3	40	0,075000
8	3	10	8	N0	31	1	254	6	40	0,150000

8	3	10	8	N0	7	1	257	5	40	0,125000
8	3	10	9	N0	18	2	258	1	40	0,025
8	Doca	C = 90% e D = 130,02 metros								
9	Doca									
9	3	10	9	N0	18	2	258	9	40	0,225
9	3	20	4	N0	16	2	716	6	84	0,071429
9	3	20	2	N0	7	1	8099	14	64	0,218750
9	3	20	2	N0	1	1	1261	8	84	0,095238
9	3	20	3	N0	4	2	802	19	84	0,226190
9	3	20	4	N0	4	2	703	6	84	0,071428571
9	Doca	C = 90,8035571428571% e D = 155,22 metros								
10	Doca									
10	3	20	4	N0	4	2	703	32	84	0,380952381
10	3	30	6	N0	8	1	8138	9	100	0,090000
10	3	30	6	N0	12	1	8139	10	100	0,100000
10	3	30	7	N0	9	2	8140	6	100	0,060000
10	3	30	7	N0	16	2	96	6	100	0,060000
10	3	30	6	N0	25	2	242	1	100	0,010000
10	3	30	6	N0	25	1	97	8	100	0,080000
10	3	40	10	N0	36	1	210	1	70	0,014286
10	3	40	10	N0	28	1	209	2	70	0,028571
10	3	40	9	N0	10	1	231	8	105	0,076190476
10	Doca	C = 89,9999857142857% e D = 205,62 metros								
11	Doca									
11	3	40	9	N0	10	1	231	9	105	0,085714286
11	3	40	10	N0	18	2	248	14	105	0,133333
11	3	40	10	N0	23	2	234	14	105	0,133333
11	3	40	9	N0	26	1	229	9	105	0,085714
11	3	40	9	N0	34	1	232	11	105	0,104762
11	3	50	3	N0	33	2	814	1	36	0,027778
11	3	50	3	N0	27	2	811	1	49	0,020408
11	3	50	3	N0	18	2	803	5	36	0,138889
11	3	50	2	N0	21	1	1251	2	30	0,066667
11	3	50	2	N0	30	1	1256	1	49	0,020408
11	3	50	2	N0	28	1	1254	1	36	0,027778
11	3	50	4	N0	3	1	707	2	36	0,055555556
11	Doca	C = 90,0339841269841% e D = 247,82 metros								
12	Doca									
12	3	50	4	N0	3	1	707	7	36	0,194444444
12	3	50	4	N0	22	2	710	4	36	0,111111
12	3	50	4	N0	31	2	717	2	36	0,055556
12	3	50	3	N0	10	1	708	3	49	0,061224
12	3	50	3	N0	20	2	801	4	49	0,081633
12	3	60	3	N0	19	1	1101	3	32	0,093750
12	3	60	4	N0	32	1	702	4	20	0,200000
12	3	60	4	N0	19	1	712	2	20	0,1
12	Doca	C = 89,7718444444445% e D = 218,62 metros								
13	Doca									
13	3	60	4	N0	19	1	712	2	20	0,1
13	3	70	8	N0	18	2	270	2	70	0,028571
13	3	70	8	N0	23	2	253	5	30	0,166667

13	3	70	8	NO	12	2	269	6	70	0,085714
13	3	70	8	NO	7	2	271	1	70	0,014286
13	3	70	8	NO	1	2	282	5	70	0,071429
13	3	80	11	NO	6	1	3503	4	50	0,080000
13	3	80	11	NO	9	1	3403	4	78	0,051282
13	3	80	2	NO	10	2	1712	3	60	0,050000
13	3	90	13	NO	11	2	3803	4	720	0,005556
13	3	90	13	NO	10	1	3810	3	720	0,004167
13	3	90	13	NO	5	1	3811	3	720	0,004167
13	3	90	13	NO	1	2	3801	7	720	0,009722
13	3	90	13	NO	22	1	3809	5	720	0,006944
13	3	90	13	NO	25	2	3805	2	720	0,002778
13	3	90	13	NO	36	1	3806	2	720	0,002778
13	3	90	14	NO	34	2	3816	6	720	0,008333
13	3	90	14	NO	31	2	3818	4	720	0,005556
13	3	90	14	NO	10	2	3808	3	720	0,004167
13	3	90	14	NO	2	2	3815	2	720	0,002778
13	3	90	12	NO	3	1	3817	2	720	0,002778
13	3	100	15	NO	2	2	6004	21	1440	0,014583
13	3	100	15	NO	3	2	6005	23	1440	0,015972
13	3	100	15	NO	5	2	6006	23	1440	0,015972
13	3	100	15	NO	8	2	2873	4	1800	0,002222
13	3	100	15	NO	10	2	2874	5	1800	0,002778
13	3	100	15	NO	12	2	2875	5	1800	0,002778
13	3	100	16	NO	2	2	8117	1	1320	0,000758
13	3	110	16	NO	4	1	7086	26	800	0,032500
13	3	110	16	NO	23	1	7098	3	800	0,003750
13	3	110	16	NO	24	2	6072	1	780	0,001282
13	3	110	16	NO	27	1	7099	1	800	0,001250
13	3	110	16	NO	31	1	8205	7	800	0,008750
13	3	110	17	NO	4	1	6020	3	90	0,033333
13	3	110	17	NO	3	2	7526	2	1008	0,001984
13	3	110	17	NO	7	2	6007	10	840	0,011905
13	3	110	17	NO	12	2	8281	6	1008	0,005952
13	3	110	14	NO	19	1	5548	1	96	0,010417
13	3	110	14	NO	10	1	2910	1	480	0,002083
13	3	110	14	NO	2	1	2933	2	480	0,004167
13	Doca	C = 88,0109% e D = 612,72 metros								
14	Doca									
14	4	10	9	NO	2	1	261	5	40	0,125000
14	4	10	9	NO	8	2	259	2	40	0,050000
14	4	10	9	NO	18	2	258	2	40	0,050000
14	4	10	8	NO	7	1	257	4	40	0,100000
14	4	10	8	NO	19	1	256	4	40	0,100000
14	4	10	8	NO	31	1	254	2	40	0,050000
14	4	20	5	NO	32	2	722	5	84	0,059524
14	4	20	4	NO	16	2	716	6	84	0,071429
14	4	20	3	NO	4	2	802	12	84	0,142857
14	4	20	2	NO	1	1	1261	5	84	0,059524
14	4	20	4	NO	4	2	703	7	84	0,08333333
14	Doca	C = 89,16673333333333% e D = 224,82 metros								

15	Doca									
15	4	20	4	N0	4	2	703	67	84	0,797619048
15	4	30	7	N0	9	2	8140	5	100	0,050000
15	4	30	6	N0	12	1	8139	3	100	0,030000
15	4	30	6	N0	8	1	8138	2	100	0,02
15	Doca	C = 89,7619047619048% e D = 122,62 metros								
16	Doca									
16	4	30	6	N0	8	1	8138	8	100	0,08
16	4	30	6	N0	25	1	97	8	100	0,080000
16	4	40	9	N0	10	1	231	1	105	0,009524
16	4	50	3	N0	18	2	803	5	36	0,138889
16	4	50	3	N0	20	2	801	10	49	0,204082
16	4	50	3	N0	28	2	812	7	49	0,142857
16	4	50	3	N0	27	2	811	7	49	0,142857
16	4	50	3	N0	10	1	708	4	49	0,081633
16	4	50	4	N0	3	1	707	1	36	0,027777778
16	Doca	C = 90,7619777777778% e D = 225,22 metros								
17	Doca									
17	4	50	4	N0	3	1	707	1	36	0,027777778
17	4	50	4	N0	22	2	710	3	36	0,083333
17	4	50	4	N0	31	2	717	5	36	0,138889
17	4	50	3	N0	33	2	814	2	36	0,055556
17	4	60	3	N0	19	1	1101	1	32	0,031250
17	4	60	4	N0	19	1	712	8	20	0,400000
17	4	60	3	N0	1	1	806	4	20	0,2
17	Doca	C = 93,6805777777778% e D = 193,62 metros								
18	Doca									
18	4	60	3	N0	1	1	806	1	20	0,05
18	4	60	4	N0	32	1	702	10	20	0,500000
18	4	70	8	N0	18	2	270	23	70	0,328571
18	4	70	8	N0	12	2	269	1	70	0,014285714
18	Doca	C = 89,2856714285714% e D = 163,42 metros								
19	Doca									
19	4	70	8	N0	12	2	269	22	70	0,314285714
19	4	70	8	N0	7	2	271	23	70	0,328571
19	4	70	8	N0	1	2	282	1	70	0,014286
19	4	80	11	N0	6	1	3503	2	50	0,040000
19	4	80	11	N0	9	1	3403	3	78	0,038462
19	4	90	14	N0	28	1	4004	5	180	0,027778
19	4	100	15	N0	5	2	6006	10	1440	0,006944
19	4	100	15	N0	3	2	6005	10	1440	0,006944
19	4	100	15	N0	2	2	6004	10	1440	0,006944
19	4	110	17	N0	6	1	6046	2	153	0,013072
19	4	110	17	N0	3	1	6065	1	105	0,009524
19	Doca	C = 80,6810714285714% e D = 219,72 metros								

Distância total = 4387,58 metros

QUADRO AN2.5 Resultado do teste 5 para o embarque 7763

Continua

viagem	lote	fam	rua	nl	col	po	cod-item	qtde-item	qtd-pallet	qtd-item-pallet
1	Doca									
1	1	10	9	NO	8	2	259	2	40	0,050000
1	1	10	9	NO	18	2	258	1	40	0,025000
1	1	10	9	NO	25	2	351	5	40	0,125000
1	1	10	9	NO	32	2	353	2	40	0,050000
1	1	10	8	NO	31	1	254	1	40	0,025000
1	1	10	8	NO	19	1	256	2	40	0,050000
1	1	10	8	NO	7	1	257	1	40	0,025000
1	1	20	4	NO	4	2	703	5	84	0,059524
1	1	20	2	NO	7	1	8099	4	64	0,062500
1	1	30	6	NO	12	1	8139	1	100	0,010000
1	1	30	6	NO	8	1	8138	3	100	0,030000
1	1	30	7	NO	1	1	273	1	60	0,016667
1	1	30	7	NO	9	2	8140	1	100	0,010000
1	1	30	7	NO	16	2	96	1	100	0,010000
1	1	30	6	NO	25	1	97	1	100	0,010000
1	1	40	10	NO	18	2	248	1	105	0,009524
1	1	50	3	NO	18	2	803	1	36	0,027778
1	1	50	3	NO	10	1	708	1	49	0,020408
1	1	50	2	NO	21	1	1251	1	30	0,033333
1	1	50	2	NO	32	1	1309	15	64	0,234375
1	1	50	3	NO	27	2	811	1	49	0,020408
1	1	50	4	NO	3	1	707	1	36	0,027778
1	Doca	C = 93,2295% e D = 465,42 metros								
2	Doca									
2	1	50	2	NO	34	1	1305	36	100	0,360000
2	1	60	4	NO	32	1	702	1	20	0,050000
2	1	60	4	NO	19	1	712	2	20	0,100000
2	1	70	8	NO	18	2	270	1	70	0,014286
2	1	70	8	NO	1	2	282	2	70	0,028571
2	1	80	2	NO	10	2	1712	2	60	0,033333
2	1	80	11	NO	9	1	3403	2	78	0,025641
2	1	90	13	NO	11	2	3803	10	720	0,013889
2	1	90	13	NO	10	1	3810	3	720	0,004167
2	1	90	13	NO	5	1	3811	3	720	0,004167
2	1	90	13	NO	1	2	3801	7	720	0,009722
2	1	90	13	NO	22	1	3809	7	720	0,009722
2	1	90	13	NO	25	2	3805	8	720	0,011111
2	1	90	13	NO	36	1	3806	3	720	0,004167
2	1	90	14	NO	34	2	3816	5	720	0,006944
2	1	90	14	NO	31	2	3818	8	720	0,011111
2	1	90	14	NO	10	2	3808	5	720	0,006944
2	1	90	14	NO	2	2	3815	2	720	0,002778
2	1	90	12	NO	3	1	3817	6	720	0,008333
2	1	100	15	NO	2	2	6004	2	1440	0,001389
2	1	100	15	NO	3	2	6005	3	1440	0,002083
2	1	100	15	NO	5	2	6006	3	1440	0,002083
2	1	100	15	NO	8	2	2873	5	1800	0,002778
2	1	100	15	NO	12	2	2875	6	1800	0,003333

2	1	100	15	NO	10	2	2874	8	1800	0,004444
2	1	100	16	NO	1	2	2887	2	1800	0,001111
2	1	110	16	NO	4	1	7086	8	800	0,010000
2	1	110	16	NO	9	1	7096	5	800	0,006250
2	1	110	17	NO	12	2	8281	5	1008	0,004960
2	1	110	17	NO	8	1	6050	1	105	0,009524
2	1	110	14	NO	17	1	2905	2	480	0,004167
2	1	110	14	NO	19	1	5548	2	96	0,020833
2	1	110	14	NO	10	1	2910	2	480	0,004167
2	1	110	15	NO	21	1	6021	1	840	0,001190
2	1	110	15	NO	29	1	6000	8	840	0,009524
2	1	110	16	NO	27	1	7099	7	800	0,008750
2	1	110	16	NO	31	1	8205	8	800	0,010000
2	1	110	14	NO	2	1	2933	1	480	0,002083
2	1	110	6	NO	6	1	9840	4	384	0,010417
2	Doca	C = 82,3972% e D = 741,42 metros								
3	Doca									
3	2	30	6	NO	7	2	241	100	100	*****
3	Doca	C = 100% e D = 65,62 metros								
4	Doca									
4	2	30	6	NO	7	2	241	100	100	*****
4	Doca	C = 100% e D = 65,62 metros								
5	Doca									
5	2	30	6	NO	7	2	241	100	100	*****
5	Doca	C = 100% e D = 65,62 metros								
6	Doca									
6	2	50	4	NO	3	1	707	36	36	*****
6	Doca	C = 100% e D = 78,02 metros								
7	Doca									
7	2	30	6	NO	7	2	241	21	100	0,210000
7	2	50	3	NO	27	2	811	13	49	0,265306
7	2	50	4	NO	3	1	707	7	36	0,194444
7	Doca	C = 66,975% e D = 146,62 metros								
8	Doca									
8	3	10	9	NO	2	1	261	2	40	0,050000
8	3	10	9	NO	8	2	259	11	40	0,275000
8	3	10	8	NO	19	1	256	8	40	0,200000
8	3	10	8	NO	32	1	255	3	40	0,075000
8	3	10	8	NO	31	1	254	6	40	0,150000
8	3	10	9	NO	18	2	258	10	40	0,250000
8	Doca	C = 100% e D = 108,42 metros								
9	Doca									
9	3	10	8	NO	7	1	257	5	40	0,125000
9	3	20	3	NO	4	2	802	19	84	0,226190
9	3	20	2	NO	1	1	1261	8	84	0,095238
9	3	20	2	NO	7	1	8099	14	64	0,218750
9	3	20	4	NO	16	2	716	6	84	0,071429
9	Doca	C = 73,6607% e D = 157,62 metros								
10	Doca									
10	3	20	4	NO	4	2	703	38	84	0,452381
10	3	30	6	NO	8	1	8138	9	100	0,090000

10	3	30	6	NO	12	1	8139	10	100	0,100000
10	3	30	6	NO	25	2	242	1	100	0,010000
10	3	30	6	NO	25	1	97	8	100	0,080000
10	3	30	7	NO	16	2	96	6	100	0,060000
10	3	30	7	NO	9	2	8140	6	100	0,060000
10	3	40	10	NO	28	1	209	2	70	0,028571
10	3	40	10	NO	36	1	210	1	70	0,014286
10	3	40	9	NO	26	1	229	9	105	0,085714
10	Doca	C = 98,0952% e D = 223,42 metros								
11	Doca									
11	3	40	9	NO	10	1	231	17	105	0,161905
11	3	40	10	NO	18	2	248	14	105	0,133333
11	3	40	10	NO	23	2	234	14	105	0,133333
11	3	40	9	NO	34	1	232	11	105	0,104762
11	3	50	3	NO	33	2	814	1	36	0,027778
11	3	50	3	NO	27	2	811	1	49	0,020408
11	3	50	3	NO	20	2	801	4	49	0,081633
11	3	50	3	NO	18	2	803	5	36	0,138889
11	3	50	2	NO	21	1	1251	2	30	0,066667
11	3	50	2	NO	30	1	1256	1	49	0,020408
11	3	50	2	NO	28	1	1254	1	36	0,027778
11	3	50	3	NO	10	1	708	3	49	0,061224
11	Doca	C = 97,8118% e D = 243,02 metros								
12	Doca									
12	3	50	4	NO	3	1	707	9	36	0,250000
12	3	50	4	NO	22	2	710	4	36	0,111111
12	3	50	4	NO	31	2	717	2	36	0,055556
12	3	60	4	NO	32	1	702	4	20	0,200000
12	3	60	4	NO	19	1	712	4	20	0,200000
12	3	60	3	NO	19	1	1101	3	32	0,093750
12	3	70	8	NO	7	2	271	1	70	0,014286
12	3	70	8	NO	1	2	282	5	70	0,071429
12	Doca	C = 99,6132% e D = 165,82 metros								
13	Doca									
13	3	70	8	NO	12	2	269	6	70	0,085714
13	3	70	8	NO	23	2	253	5	30	0,166667
13	3	70	8	NO	18	2	270	2	70	0,028571
13	3	80	11	NO	9	1	3403	4	78	0,051282
13	3	80	11	NO	6	1	3503	4	50	0,080000
13	3	80	2	NO	10	2	1712	3	60	0,050000
13	3	90	13	NO	11	2	3803	4	720	0,005556
13	3	90	13	NO	10	1	3810	3	720	0,004167
13	3	90	13	NO	5	1	3811	3	720	0,004167
13	3	90	13	NO	1	2	3801	7	720	0,009722
13	3	90	13	NO	22	1	3809	5	720	0,006944
13	3	90	13	NO	25	2	3805	2	720	0,002778
13	3	90	13	NO	36	1	3806	2	720	0,002778
13	3	90	14	NO	34	2	3816	6	720	0,008333
13	3	90	14	NO	31	2	3818	4	720	0,005556
13	3	90	14	NO	10	2	3808	3	720	0,004167
13	3	90	14	NO	2	2	3815	2	720	0,002778

13	3	90	12	NO	3	1	3817	2	720	0,002778
13	3	100	15	NO	2	2	6004	21	1440	0,014583
13	3	100	15	NO	3	2	6005	23	1440	0,015972
13	3	100	15	NO	5	2	6006	23	1440	0,015972
13	3	100	15	NO	8	2	2873	4	1800	0,002222
13	3	100	15	NO	10	2	2874	5	1800	0,002778
13	3	100	15	NO	12	2	2875	5	1800	0,002778
13	3	100	16	NO	2	2	8117	1	1320	0,000758
13	3	110	16	NO	4	1	7086	26	800	0,032500
13	3	110	16	NO	23	1	7098	3	800	0,003750
13	3	110	16	NO	24	2	6072	1	780	0,001282
13	3	110	16	NO	27	1	7099	1	800	0,001250
13	3	110	16	NO	31	1	8205	7	800	0,008750
13	3	110	17	NO	4	1	6020	3	90	0,033333
13	3	110	17	NO	3	2	7526	2	1008	0,001984
13	3	110	17	NO	7	2	6007	10	840	0,011905
13	3	110	17	NO	12	2	8281	6	1008	0,005952
13	3	110	14	NO	19	1	5548	1	96	0,010417
13	3	110	14	NO	10	1	2910	1	480	0,002083
13	3	110	14	NO	2	1	2933	2	480	0,004167
13	Doca	C = 69,4394% e D = 547,12 metros								
14	Doca									
14	4	10	9	NO	2	1	261	5	40	0,125000
14	4	10	9	NO	8	2	259	2	40	0,050000
14	4	10	9	NO	18	2	258	2	40	0,050000
14	4	10	8	NO	7	1	257	4	40	0,100000
14	4	10	8	NO	19	1	256	4	40	0,100000
14	4	10	8	NO	31	1	254	2	40	0,050000
14	4	20	5	NO	32	2	722	5	84	0,059524
14	4	20	4	NO	16	2	716	6	84	0,071429
14	4	20	3	NO	4	2	802	12	84	0,142857
14	4	20	2	NO	1	1	1261	5	84	0,059524
14	Doca	C = 80,8334% e D = 215,22 metros								
15	Doca									
15	4	20	4	NO	4	2	703	74	84	0,880952
15	4	30	6	NO	12	1	8139	3	100	0,030000
15	4	30	7	NO	9	2	8140	5	100	0,050000
15	Doca	C = 96,0952% e D = 104,42 metros								
16	Doca									
16	4	30	6	NO	8	1	8138	10	100	0,100000
16	4	30	6	NO	25	1	97	8	100	0,080000
16	4	40	9	NO	10	1	231	1	105	0,009524
16	4	50	3	NO	18	2	803	5	36	0,138889
16	4	50	3	NO	20	2	801	10	49	0,204082
16	4	50	3	NO	27	2	811	7	49	0,142857
16	4	50	3	NO	33	2	814	2	36	0,055556
16	4	50	3	NO	28	2	812	7	49	0,142857
16	4	50	3	NO	10	1	708	4	49	0,081633
16	Doca	C = 95,5398% e D = 230,02 metros								
17	Doca									
17	4	50	4	NO	3	1	707	2	36	0,055556

Conclusão

17	4	50	4	NO	22	2	710	3	36	0,083333
17	4	50	4	NO	31	2	717	5	36	0,138889
17	4	60	4	NO	19	1	712	8	20	0,400000
17	4	60	3	NO	19	1	1101	1	32	0,031250
17	4	60	3	NO	1	1	806	5	20	0,250000
17	Doca	C = 95,9028% e D = 163,42 metros								
18	Doca									
18	4	60	4	NO	32	1	702	10	20	0,500000
18	4	70	8	NO	7	2	271	23	70	0,328571
18	4	70	8	NO	1	2	282	1	70	0,014286
18	Doca	C = 84,2857% e D = 147,62 metros								
19	Doca									
19	4	70	8	NO	12	2	269	23	70	0,328571
19	4	70	8	NO	18	2	270	23	70	0,328571
19	4	80	11	NO	9	1	3403	3	78	0,038462
19	4	80	11	NO	6	1	3503	2	50	0,040000
19	4	90	14	NO	28	1	4004	5	180	0,027778
19	4	100	15	NO	5	2	6006	10	1440	0,006944
19	4	100	15	NO	3	2	6005	10	1440	0,006944
19	4	100	15	NO	2	2	6004	10	1440	0,006944
19	4	110	17	NO	6	1	6046	2	153	0,013072
19	4	110	17	NO	3	1	6065	1	105	0,009524
19	Doca	C = 80,681% e D = 219,72 metros								

Distância total = 4154,18 metros