



## DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS EM UM ARMAZÉM PARA APOIO NA DECISÃO DE COLETA DE PRODUTOS ACABADOS

Aristides Fraga Neto, Patrícia Alcântara Cardoso  
(Universidade Federal do Espírito Santo)

*Resumo: Geralmente apontado pela literatura especializada, o custo de transporte é um dos maiores quando comparado aos demais custos logísticos. Para que uma unidade de manufatura se mantenha competitiva, as atividades de transporte devem ser gerenciadas e os custos relacionados controlados assim como devem ser buscadas medidas que possibilitem a redução de tais custos, possibilitando dessa forma uma maior chance de sucesso da organização. O atual trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um sistema de roteirização de empilhadeiras para a coleta de produtos em um armazém de produtos acabados. Tal sistema visa desenvolver a programação da coleta de produtos buscando a minimização da distância percorrida pela empilhadeira, caracterizado-se como uma medida para a redução de custos de transporte interno. O algoritmo de roteamento tem como base a heurística de Clarke e Wright (1963) e foi desenvolvido na linguagem Visual Basic for Applications com uma interface em planilhas eletrônicas. Foram realizados experimentos computacionais para 20 roteiros e os resultados mostraram que o sistema proposto é capaz de gerar soluções com economias de distância percorrida quando comparado com a forma empírica de roteamento utilizado pela organização, para a coleta de uma mesma lista de produtos.*

*Palavras-chaves: coleta de produtos em armazéns, roteirização, método das economias*

## **1. Introdução**

De acordo com Tenkley (2008), nas últimas décadas, com o barateamento dos custos de transportes e comunicação, tem-se percebido uma expansão de comércio caracterizado pelo aumento de distância entre a produção e consumo de produtos. Com canais de distribuição mais longos, maior competição internacional e clientes que exigem cada vez mais rapidez na entrega de produtos e serviços, a logística mudou de ser uma atividade necessária para facilitar a produção e venda de produtos para ser uma atividade que adicione valor aos produtos e serviços.

Dentre as decisões de planejamento no contexto da logística/cadeia de suprimentos, Ballou (2006) classifica tais principais atividades dividindo-as em objetivos do serviço ao cliente, estratégia de estoque, estratégia de transporte e estratégia de localização. Nesse trabalho são abordadas duas dessas áreas, a estratégia de transporte e a estratégia de estoque com a perspectiva da logística interna na organização, ou seja, é considerado apenas a logística dentro dos limites físicos da organização.

Dentro de tais limites das unidades de manufatura com grande volume de produção, geralmente encontram-se estoques intermediários, também chamados de estoques em processo, e de produtos acabados. Os estoques intermediários normalmente são utilizados para absorver variações de capacidade e variabilidade do processo. Já os estoques de produtos acabados podem ser estratégicos para a organização, possibilitando algumas vantagens tais como possibilitar a consolidação de cargas e prestar um serviço diferenciado aos clientes internos e externos e resposta imediata às solicitações de clientes. Os produtos acabados são comumente armazenados em depósitos compostos por prateleiras e ruas de acesso à tais pontos de armazenagem e a gestão dos produtos e serviços realizados em tais depósitos podem ter um papel diferencial, visto que a gestão não adequada pode gerar retrabalhos e custos extras para a organização.

Este trabalho tem como objetivo apresentar um sistema de roteirização de empilhadeiras que busca minimizar a distância percorrida na coleta de produtos acabados. Para se atender ao objetivo um estudo de caso foi realizado numa organização de grande porte conforme detalhamento apresentado na seção 4.

Após a introdução sobre o problema em questão e os objetivos deste trabalho, a revisão de literatura é apresentada na seção dois, a qual concentra conceitos relacionados à

coleta de produtos em armazéns (*picking*) e estratégias apresentadas pela literatura especializada, além disso são apresentados conceitos relacionados à roteirização de veículos e o método das economias (Clarke e Wright, 1963). Na seção seguinte é apresentada a caracterização do depósito alvo deste trabalho. Na seção quatro, encontra-se a metodologia de desenvolvimento do sistema de roteirização. Na seção cinco são apresentados os resultados de simulação de 20 rotas com o sistema proposto e comparados com a forma atual de roteirização e por fim, na seção seis, são apresentadas as conclusões e recomendações de pesquisas futuras.

## **2. Logística interna nas organizações**

Dentre as atividades logísticas, a coleta de produtos é uma das atividades que mais demandam tempo e intensiva mão-de-obra. Por conseguinte, estão sendo usadas várias estratégias para melhorar a produtividade do processo de coleta (AGUILAR, 2004). A coleta de produtos merece a devida atenção, pois além de ser o mais trabalhoso de todos os processos dentro do armazém, normalmente eles representam grande parte dos custos do depósito. Então, desde que essas transações ocorram frequentemente, cada economia nessas pequenas transações podem gerar grandes economias para a empresa (DANIELS, RUMMEL e SCHANTZ. 1998).

### **2.1. Definição de *Picking* e Principais Estratégias de *Picking***

A atividade de *picking* pode ser definida como a atividade responsável pela coleta do mix correto de produtos, em suas quantidades corretas da área de armazenagem para satisfazer as necessidades do consumidor. De forma a gerir os serviço de coleta nos armazéns, algumas estratégias de coleta são definidas de forma a permitir o diálogo, entendimento e forma de operar tais serviços. Para Rodrigues 2008, *apud* Wirtzbiki 2013, existem quatro estratégias básicas que podem ser combinadas, sendo elas: *picking* discreto, *picking* por zona, *picking* por lote e *picking* por onda. Wirtzbiki (2013) define as estratégias da seguinte forma:

*Picking* discreto: cada operador é responsável pela coleta de um pedido completo, coletando apenas um produto de cada vez. Tal procedimento tem a característica de ser o mais simples e o de menor risco, visto que é gerado apenas um documento para cada ordem de

separação de produtos. Em contra-partida, essa estratégia é a menos produtiva, devido ao excessivo gasto de tempo com o deslocamento do operador.

*Picking* por zona: em tal estratégia, o arranjo físico de armazenagem é dividido em zonas e cada zona agrupam certos tipos de produtos. Nessa estratégia, cada operador ou grupo de operadores de picking se responsabilizam por uma determinada zona, logo cada vez que um pedido é recebido, cada operador coleta todas as linhas de produtos referidas a esse pedido os quais estão em sua zona de trabalho.

*Picking* por lote: nessa estratégias os pedidos são acumulados até que um certo número de pedidos seja alcançado. Quando tal volume é atingido, o operador realiza a coleta, pegando a soma de quantidades de cada produto necessárias para atender todos os pedidos. Em seguida as quantidades são distribuídas para cada pedido. tal procedimento é indicado apenas quando os produtos são coletados em sua maioria em quantidades fracionadas e quando os pedidos possuem poucos produtos diferentes e pequenos volumes.

*Picking* por onda: essa estratégia é similar ao *picking* discreto com relação aos operadores coletarem um tipo de produto por vez. A diferença se encontra no agendamento de um certo número de pedidos ao longo do turno. Geralmente esse tipo de procedimento é utilizado para coordenar as funções de separação de pedidos e despacho (RODRIGUES, 2008 *apud* WIRTZBIKI, 2013).

Dentre as estratégias apresentadas, o armazém do estudo de caso apresentado nesse trabalho adota a estratégia de *picking* discreto, de forma a simplificar as atividades de coleta e evitar problemas troca de materiais para diferentes produtos. Tal estratégia será mantida para o desenvolvimento deste trabalho.

## 2.2. Problema de roteirização de veículos

Um sistema de roteirização pode ser considerado como um conjunto de meios organizados com o intuito de satisfazer demandas de transportes localizadas em diferentes pontos ou vértices em uma determinada rede de transportes. Dentre os problemas de roteirização existentes, o PCV (Problema do Caixeiro Viajante) foi um dos primeiros problemas de roteirização de veículos apresentado na literatura. Sem restrições de capacidade e com demandas de cada cliente conhecidas, o problema consiste em determinar a rota que minimiza a distância total percorrida pelo caixeiro de forma que todas as cidades sejam visitadas apenas uma vez.

Uma vez definido o PCV, ao longo do tempo foram desenvolvidos diversos estudos com base no problema inicial formulado, que de forma geral, acrescentam ou eliminam determinadas restrições para adaptação do modelo para problemas estudados. Dentre tais restrições, destacam-se: restrições de janela de tempo, duração máxima do roteiro, frota heterogênea de veículos, restrições de capacidade de veículos, entre outros.

Tais problemas são abordados na literatura com a denominação *NP-hard* (*Non-deterministic Polynomial-time hard*) nos quais, de uma forma geral, pequenos aumentos no tamanho do problema geram um vasto aumento no tempo computacional necessário para a definição de soluções ótimas.

Dado as dificuldades com relação aos tempos computacionais de processamento para o alcance da solução, muitos trabalhos são desenvolvidos utilizando métodos heurísticos, aos invés de métodos que buscam a solução ótima. Um método heurísticos usualmente refere-se a um procedimento de busca iterativo, baseado em alguma estrutura de controle repetitivo, que de forma geral, abre mão da busca por resultados ótimos e encontra resultados muitas vezes próximos do ótimo porém com tempos computacionais reduzidos.

Dentre os problemas de roteirização de veículos existentes, para um melhor entendimento são apresentados a seguir algumas variantes do mesmo.

Um dos problemas mais comuns de roteamento de veículos (PRV) é o problema de roteamento de veículos capacitado, o qual trata de um conjunto de clientes que deve ser atendido por um conjunto de veículos idênticos de capacidades limitadas. O objetivo desse problema é encontrar um conjunto de rotas para os veículos que tem a distância minimizada. Cada rota se inicia em um depósito, o veículo visita então um conjunto de clientes e retorna ao depósito, sem que a capacidade do veículo seja violada.

Quando há a restrição de janelas de tempo, surge uma extensão do VRP clássico chamado Problema de Roteirização de Veículos com Janelas de Tempo (TENKLEY, 2008). O objetivo do problema é encontrar um conjunto de rotas para os veículos, onde cada rota começa e termina no depósito, servindo um subconjunto de clientes sem violar a capacidade do veículo e a janela de tempo, enquanto as distâncias das rotas são minimizadas.

O PRV pode ser tratado com as perspectiva de entregas fracionadas, no qual a entrega ou coleta em cada cliente pode ser dividida entre dois ou mais veículos. O problema é uma relaxação do VRP clássico, porém continua sendo um problema computacionalmente difícil devido ao grande número de combinações possíveis no processo de busca pela solução.

A roteirização de veículos pode ser considerada dentro de armazéns, os quais em geral são formados por um conjunto de corredores de acesso e um conjunto de prateleiras, nas quais são

armazenados os produtos. O conhecimento da estrutura do armazém se torna fundamental, pois as rotas que minimizam as distâncias percorridas serão definidas de acordo com as localizações e posições das prateleiras e corredores do depósito.

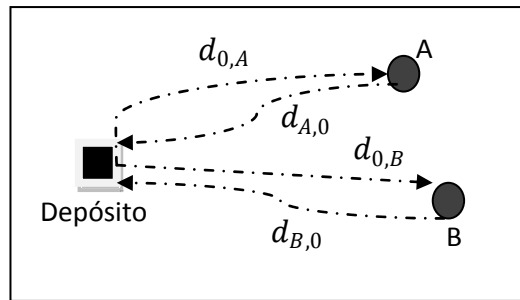
Com relação aos métodos de resolução do PCV, aqui se destaca o método Clarke-Wright de roteirização, também conhecido como método das economias, apresentado a seguir.

### 2.3. Roteirização de veículos pelo método Clarke-Wright

O método baseado na abordagem das economias tem atravessado os anos como algo dotado de flexibilidade suficiente para resolver uma ampla coleção de restrições práticas, sendo relativamente rápido, em termos computacionais, para problemas com um número moderado de paradas, e capaz de gerar soluções que são quase ótimas. As comparações com resultados ótimos para pequenos problemas com um número limitado de restrições têm demonstrado que a abordagem das “economias” proporciona soluções que são, em média, dois por cento mais caras que o ótimo (BALLOU, 2006).

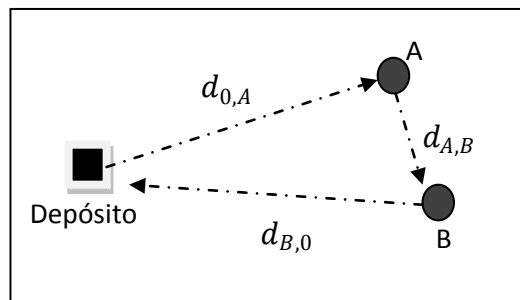
Esse algoritmo tem sido extensivamente utilizado na solução de problemas de roteamento, devido a sua eficiência e simplicidade (CONCEIÇÃO 2006). O objetivo é minimizar a distância total percorrida por todos os veículos necessários para servir todas as paradas, ou seja, atender todos os clientes, respeitando todas as restrições impostas pelo problema.

A lógica do método está em começar com um veículo fictício servindo a cada parada e voltando ao depósito Figura 1. Isso fornece a distância máxima a ser abordada no problema da roteirização. Em seguida, combinam-se duas paradas no mesmo roteiro a fim de tornar possível a eliminação de um veículo e a redução da distância a ser percorrida. A fim de determinar quais as paradas a serem combinadas num roteiro, a distância economizada é calculada antes e depois da combinação. A distância economizada pela combinação de dois pontos (A e B) que de outra forma não estariam num roteiro com quaisquer outras paradas é calculada pela subtração algébrica da distância da rota. O resultado é um valor economizado  $S_{A,B} = d_{0,A} + d_{0,B} - d_{A,B}$  (Equação 1), apresentado na Figura 2. Este cálculo é feito para todas as combinações de paradas. O par de escalas com o maior valor economizado é escolhido para a combinação (BALLOU, 2006).



**Figura 1** - Rota inicial considerada pelo método

**FONTE:** adaptado de Ballou (2006), p. 205



**Figura 2** - Ilustração dos ganhos de agrupar pontos de demanda A e B em uma mesma rota

**FONTE:** adaptado de Ballou (2006), p. 205

O processo de combinação continua. Além de combinar paradas isoladas, o processo pode inserir outra parada num roteiro que contém mais de uma escala. O maior valor de economia identifica a parada que deveria ser levada em conta para a inclusão num roteiro. Se essa parada não puder ser incluída em função de restrições como a de o roteiro ser extenso demais, as janelas de tempo não podem ser satisfeitas, ou a capacidade do veículo ser excedida, então a parada com o próximo maior valor de economia passa a ser considerada. O processo iterativo continua até que todas as paradas sejam analisadas e avaliadas (BALLOU, 2006).

Segundo Novaes (2007), o método Clarke e Wright se inicia com a análise de todas as combinações possíveis entre os nós, dois a dois. Em seguida, são ordenadas as combinações, na ordem decrescente de ganhos  $S_{ij}$ . As combinações com maiores ganhos tendem a ser formadas por pontos mais distantes do CD, mas próximos entre si, ou seja, os roteiros vão sendo formados a partir dos pontos mais distantes do depósito, vindo paulatinamente na direção do CD. O método Clark e Wright conta então com as seguintes etapas segundo Novaes (2007):

Etapa 1: Combinam-se todos os pontos (que representam os clientes) dois a dois e calcula-se o ganho para cada combinação, através da Equação 1 (equação dos ganhos de agrupamento de demanda).

Etapa 2: Ordenam-se todas as combinações  $i,j$ , de forma decrescente segundo valores dos ganhos  $S_{ij}$ .

Etapa 3: Começamos com a combinação de dois nós que apresentou o maior ganho. Posteriormente, na análise de outras situações, vai-se descendo na lista de combinações, sempre obedecendo à sequência em ordem decrescente de ganhos.

Etapa 4: Para um par de pontos  $(i,j)$ , tirado da sequência de combinações, verifica-se se os dois pontos já fazem parte de um roteiro iniciado:

- (a) Se  $i$  e  $j$  não foram incluídos em nenhum dos roteiros já iniciados, cria-se então um novo roteiro com esses dois pontos;
- (b) Se o ponto  $i$  já pertence a um roteiro iniciado, verifica-se se esse ponto é o primeiro ou último desse roteiro (não contando o CD). Se a resposta for positiva, acrescentar o par de pontos  $(i,j)$  na extremidade apropriada. Fazer a mesma análise com o ponto  $j$ . Se nenhum dos dois pontos satisfizer essa condição separadamente, passar para o item (c);
- (c) Se ambos os pontos  $i$  e  $j$  fazem parte, cada um deles, de roteiros iniciados, mas diferentes, verificar se ambos são extremos dos respectivos roteiros. Se a resposta for positiva, fundir os dois roteiros num só, juntando-os de forma a unir  $i$  a  $j$ . Caso contrário, passar para a Etapa 5;
- (d) Se ambos os nós  $i$  e  $j$  pertencerem a um mesmo roteiro, passar para a Etapa 5.

Etapa 5: Cada vez que acrescentar um ou mais pontos num roteiro ou quando fundir dois roteiros num só, verificar se a nova configuração satisfaz as restrições de tempo e de capacidade. Se atender aos limites das restrições, a nova configuração é aceita.

Etapa 6: O processo termina quando todos os pontos (clientes) tiverem sido incluído nos roteiros.

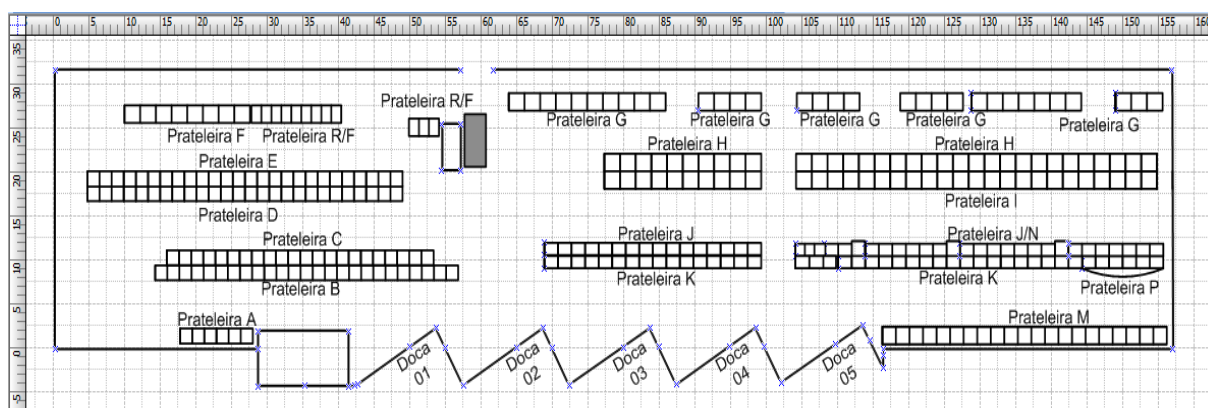
Após a apresentação dos principais conceitos relativo a coleta de produtos em armazéns, roteirização de veículos e o método das economias, pode-se apresentar maiores detalhes do armazém de produtos acabados para o qual foi desenvolvido o sistema de roteirização.



### 3. Caracterização do depósito de produtos acabados

Dentro do parque industrial da unidade de manufatura onde foi realizado o trabalho, existem vários depósitos. Esse trabalho foi realizado com foco em um dos depósitos e as suas características devem ser citadas para uma melhor compreensão do problema.

O depósito considerado no estudo, apresentado na Figura 3, consta com uma área aproximada de 5024 m<sup>2</sup> e possui uma estrutura verticalizada de prateleiras para a armazenagem dos produtos acabados. As prateleiras em sua maioria estão dispostas em três níveis, porém para alguns tipos de acondicionamento tais como materiais de pequenos volumes, essas prateleiras podem chegar seis níveis. Cada posição de armazenagem das apresentam endereços e estão preparadas para receber determinados tipos de produtos, ou seja, os produtos - de acordo com o seu tipo de acondicionamento - dispõem de um espaço físico específico e limitado para a sua armazenagem.



**Figura 3** - Layout do depósito estudado

Conforme presente na Figura 3, o depósito consta com cinco docas de carregamento de veículos e 24 prateleiras, as quais apresentam um total de 2097 endereços de armazenagem de produtos acabados. Além disso, são disponíveis quatro empilhadeiras com capacidades de transporte de um, dois ou três produtos por viagem, dependendo do tipo de produto a ser coletado.

Com relação às capacidades de armazenamento das prateleiras, estas são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1** - Endereços disponíveis e capacidades de armazenagem

INTERVALO DE ENDEREÇOS	CAPACIDADE DE ARMAZENAGEM (unidades)
A001-A018	18
B001-B075	75
C001-C066	66
C001-C078	78
E001-E082	82
F001-F096	96
F55-F66	11
F97-F147	50
G001-G384	384
H001-H396	396
I001-I396	396
J001-J066	66
K001-K111	111
M001-M063	63
N001-N109	109
P001-P024	24
R001-R072	72

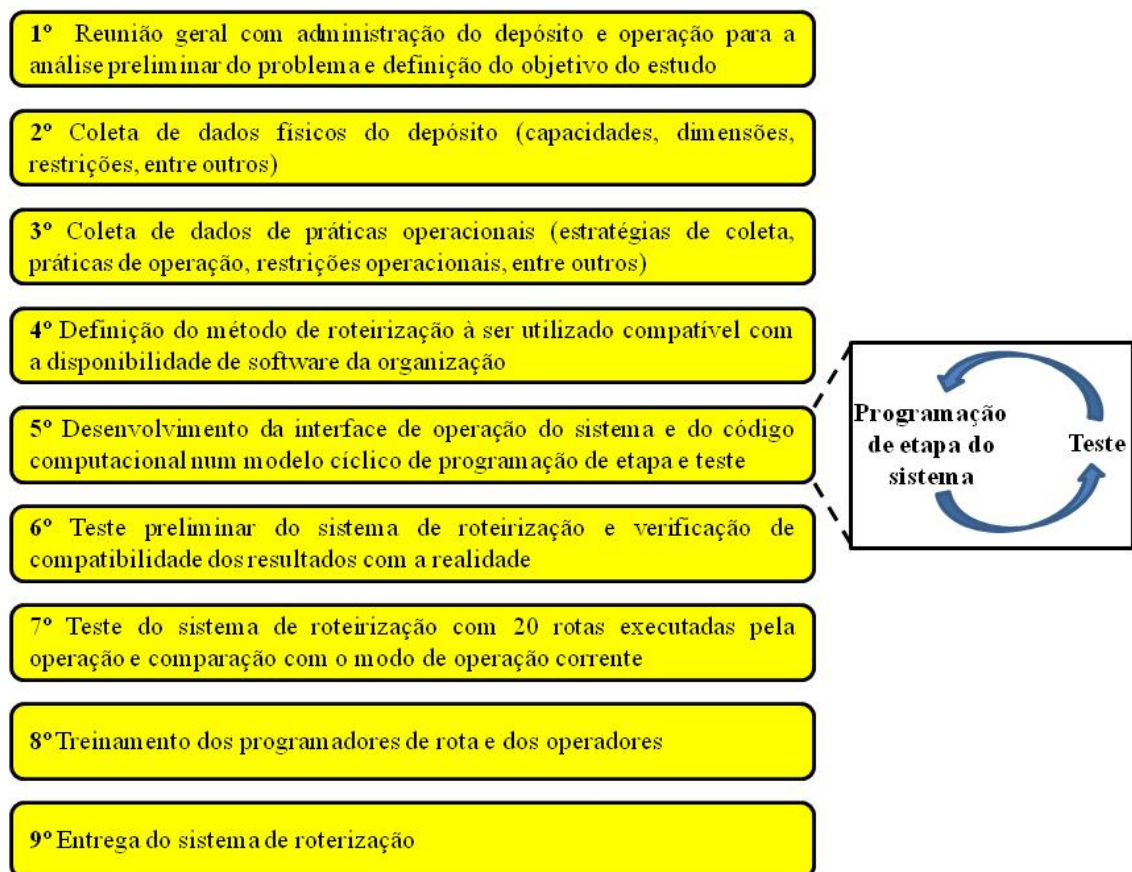
As operações de coletas de produtos e carregamento dos veículos é realizada por empilhadeiras motorizadas e seus respectivos operadores, sendo que o depósito dispõe de quatro empilhadeiras. O serviço de coleta adota a estratégia de picking discreto e a atividade de coleta é iniciada a partir do momento em que um caminhão estaciona em uma das docas para a realização do carregamento. Após estacionado o veículo, o operador da empilhadeira recebe a ordem de carregamento na qual consta todos os produtos a serem carregados no veículo e os seus respectivos endereços de localização. Com a ordem em mãos, o operador realiza a coleta de todos os produtos descritos na ordem, percorrendo os corredores e coletando os produtos nos endereços os quais estão localizados até que o veículo esteja com todos os produtos apontados na ordem. A sequência de coleta ocorre da parte superior da ordem até o seu final, sendo que não existe um critério pré-estabelecido de sequenciamento dos produtos. Dada a situação, a coleta dos produtos é realizada de forma empírica.

Com relação aos tipos de produtos, o depósito movimenta oito tipos de produtos diferentes, sendo que os endereços de armazenamento são próprios para a armazenagem de cada tipo de produto, ou seja, um tipo de produto não pode ser armazenado em um endereço que não seja próprio para tal tipo de produto.

## 4. Metodologia

Com o objetivo de minimizar a distância percorrida pela empilhadeira na coleta de produtos acabados para o carregamento de um caminhão, o sistema proposto tem como entrada de dados os produtos a serem coletados de uma ordem e a posição do caminhão para carregamento, com tais dados o sistema sequencia tal coleta de produtos através da heurística Clarke e Wright, e como saída apresenta uma lista sequenciada de coletas à qual é entregue ao operador de empilhadeira para a coleta dos produtos, possibilitando assim a redução de custos à organização.

O desenvolvimento do sistema de roteirização se deu de acordo com a metodologia apresentada na Figura 4. Dentre as etapas citadas na Figura 4, deste ponto em diante serão abordadas apenas as etapas 5, 6 e 7 do método apresentado.



**Figura 4** - Metodologia utilizada para o desenvolvimento do sistema de roteirização de empilhadeiras

Com relação ao método de operação do sistema proposto, este é dividido em três etapas e tais etapas são apresentadas na Figura 5.



**Figura 5** - Etapas de operação do sistema de roteirização proposto

#### 4.1 Entrada de dados

Nessa etapa, o usuário insere os dados de produtos de uma ordem de coleta e define também em qual doca o caminhão será designado para o carregamento. Tal interface é apresentada na Figura 6.

SISTEMA DE ROTEIRIZAÇÃO DE EMPILHADEIRA			
COLETA DE MATERIAIS DO DEPÓSITO			
DADOS DO LOCAL DE CARREGAMENTO			ROTEIRIZAR
DOCA DE CARREGAMENTO	3		
ENTREDA DE DADOS			
MATERIAL	UC	POSIÇÃO	QUANTIDADE (kg)
AAA	1001	H251	A
BBB	1040	H241	B
CCC	1061	H237	C
DDD	1110	H020	D
EEE	1200	H030	E
FFF	1233	G066	F
GGG	1300	R001	G
HHH	1400	A001	H
III	1500	B030	I
JJJ	1600	R003	J
KKK	1700	R018	K
LLL	1800	R031	L
MMM	1900	R032	M

**Figura 6** - Interface de entrada de dados do sistema de roteirização

#### 4.2. Processamento

Ao executar o algoritmo de roteirização através do botão "ROTEIRIZAR", a etapa de processamento é executada. Inicialmente os dados inseridos na etapa de entrada são armazenados, guardando as informações da localização dos produtos e a ocupação que tais produtos impactam na capacidade de transporte da empilhadeira. Com os dados armazenados, o algoritmo faz o processamento dos dados seguindo a lógica apresentada no Quadro 1.

## #CÁLCULO DOS GANHOS

### Para cada item que deve ser coletado:

Combina-se o item em questão com um outro item (sempre aos pares), de modo a fazer todas as combinações possíveis de pares de itens;

Calcula-se o ganho de distância de coletar os 2 itens em uma única rota ao invés de coletar os dois separadamente para cada par de itens (nesse ponto o algoritmo busca sempre o menor distância entre os itens, visto que temos 2 ruas centrais de opção, de acordo com o layout apresentado);

Guarda o valor do ganho na matriz de ganhos;

Guarda a combinação dos endereços dos itens na matriz de endereços;

Calcula e guarda o valor da ocupação do veículo gerada pela combinação dos dois itens combinados na matriz de ocupação;

Classifica as matrizes na ordem decrescente de ganhos;

## #DEFINIÇÃO DAS ROTAS

### Para cada par de endereços combinados através dos ganhos:

Se (capacidade do veículo = 1 para a combinação da rota proposta pelo ganho & se os dois endereços do par de endereços ainda não foram roteirizados):

Matriz de rotas = combinação do par de endereços

Senão:

Se (capacidade do veículo < 1 para a combinação da rota proposta pelo ganho):

Rota = combinação do par de endereços do ganho

Para todos os pares de ganhos com ganhos inferiores ao ganho da rota atual:

Se (um dos nós extremos da rota é igual ao nó extremo do endereço do ganho que está tentando ser combinado & se a capacidade que o item que não é nó extremo que está tentando entrar na rota somada a capacidade já ocupada do veículo é  $\leq 1$ ):

Rota = Rota + novo endereço que não é nó

extremo

Fim;

Fim;

Matriz de rotas = Rota

Fim

Fim

**Fim**

Para todos os itens (endereços) que ainda não foram roteirizados:

Matriz de rotas = endereço

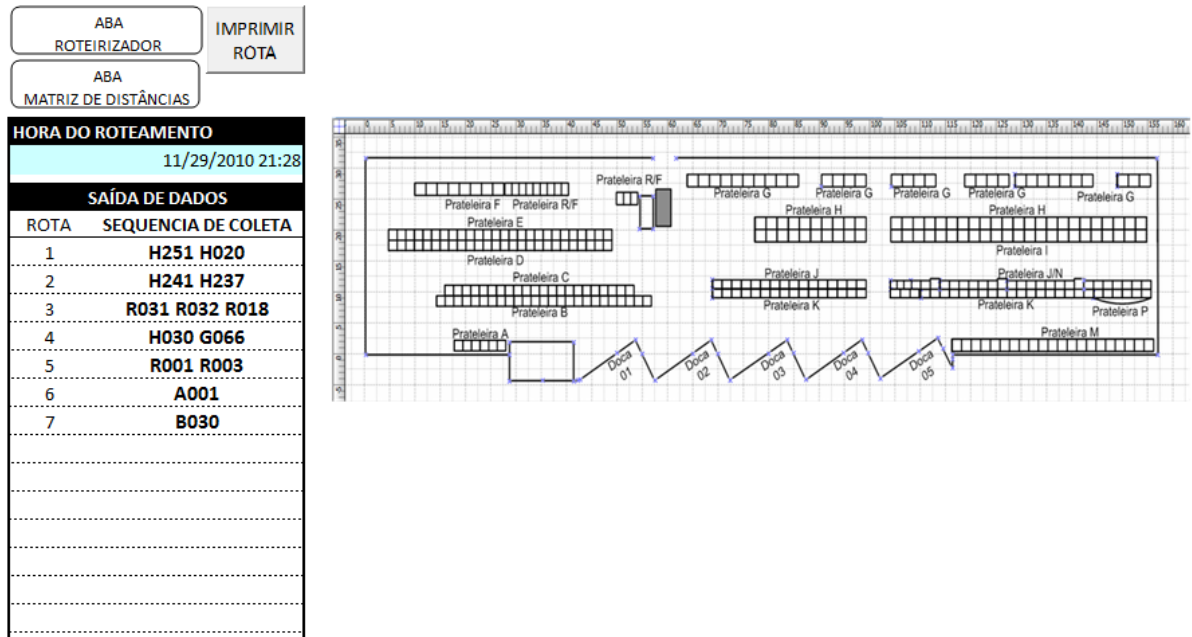
Fim

## LEGENDA

# = comentários para entendimento do algoritmo.

**Quadro 1** - Lógica do algoritmo utilizado para a definição dos roteiros de coleta

Ao término da execução do algoritmo de roteirização o programa apresenta em uma planilha eletrônica todas as rotas de coleta seqüenciadas, formando então uma lista de rotas a qual será utilizada para fazer a coleta dos produtos no armazém. O padrão de saída de dados para a coleta de produtos nas prateleiras é apresentado na Figura 7.



**Figura 7** - Saída de dados do sistema de roteirização

## 5. Resultados

O sistema de roteamento foi desenvolvido na linguagem *Visual Basic for Applications* e a interface desenvolvida em planilhas eletrônicas.

Para realizar comparação e verificação dos resultados do algoritmo implementado foram coletadas 20 ordens de embarque e roteirizadas com o algoritmo proposto. Os experimentos foram realizados com o auxílio de um computador Intel Core 2 Duo CPU T7250, 2Ghz com 3070MB de memória RAM, em um sistema operacional de 32-bits.

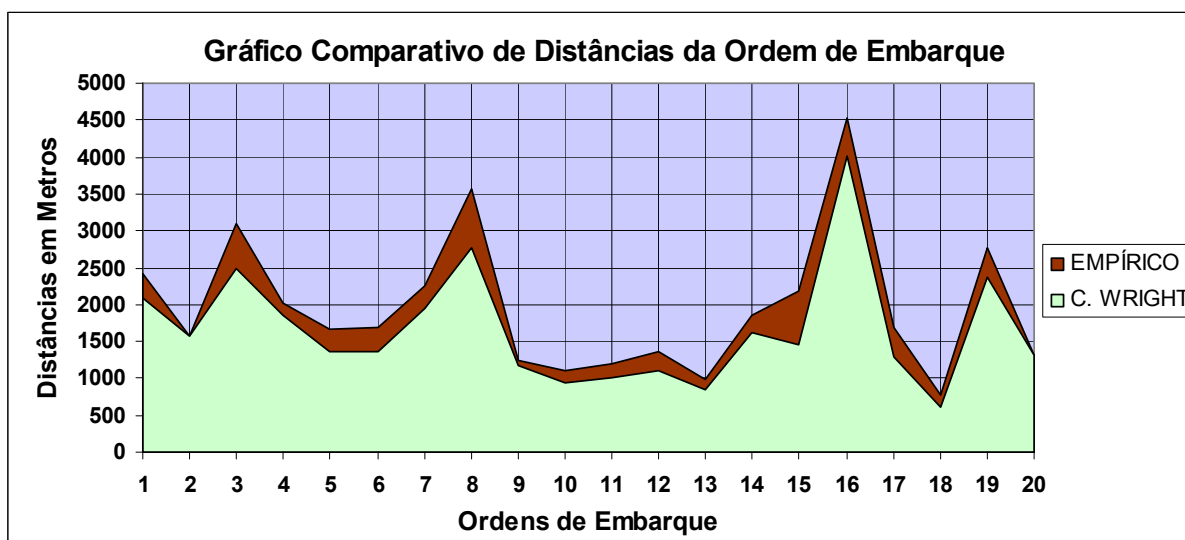
Após as roteirizações geradas para cada ordem de embarque, foram calculadas as distâncias das rotas empíricas utilizadas para cada ordem e as distâncias propostas pela roteirização gerada pelo algoritmo. Uma síntese dos cenários analisados e resultados encontrados são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2 - Síntese de dados das roteirizações de 20 amostras de ordem de embarque**

<b>SÍNTESE DE DADOS DAS ORDENS ROTEIRIZADAS - 20 ORDENS</b>												
<b>DADOS DAS ORDENS DE EMBARQUE</b>				<b>Nº DE ITENS POR % DE OCUPAÇÃO</b>			<b>COMPARAÇÃO DO NÚMERO DE ROTAS GERADAS POR ORDEM</b>		<b>COMPARAÇÃO DOS DESLOCAMENTOS (m)</b>			
	<b>Nº TRANSP.</b>	<b>DATA</b>	<b>HORA</b>	<b>N ITENS</b>	<b>0.333</b>	<b>0.5</b>	<b>1</b>	<b>ROTA EMPÍRICA</b>	<b>ROTA C. WRIGHT</b>	<b>EMPÍRICO</b>	<b>C. WRIGHT</b>	<b>GANHO</b>
ROTEIRIZAÇÃO 01	3661609	26/10/2010	18:05:05	24	0	24	0	12	12	2424	2097	13.49%
ROTEIRIZAÇÃO 02	3661359	26/10/2010	17:24:12	17	0	10	7	12	12	1584	1579.6	0.28%
ROTEIRIZAÇÃO 03	3661418	26/10/2010	12:33:06	30	0	30	0	15	15	3095	2486.5	19.66%
ROTEIRIZAÇÃO 04	3659147	25/10/2010	20:19:01	20	0	19	1	11	11	2023.8	1865.1	7.84%
ROTEIRIZAÇÃO 05	3659420	25/10/2010	21:48:51	26	0	26	0	13	12	1665.1	1360.3	18.31%
ROTEIRIZAÇÃO 06	3665079	28/10/2010	15:45:10	24	0	24	0	12	12	1692.8	1358	19.78%
ROTEIRIZAÇÃO 07	3665093	28/10/2010	16:50:33	22	0	17	5	14	14	2264.5	1937.1	14.46%
ROTEIRIZAÇÃO 08	3660670	28/10/2010	15:43:07	33	0	33	0	17	17	3564.1	2779.1	22.03%
ROTEIRIZAÇÃO 09	3664064	27/10/2010	23:00:59	15	0	15	0	8	8	1236.8	1166.8	5.66%
ROTEIRIZAÇÃO 10	3661132	27/10/2010	7:56:33	22	0	20	2	12	12	1094.3	939.5	14.15%
ROTEIRIZAÇÃO 11	3663139	27/10/2010	10:10:17	22	0	22	0	11	11	1195.9	1007.4	15.76%
ROTEIRIZAÇÃO 12	3661657	27/10/2010	10:08:10	15	0	15	0	8	8	1354.2	1101.9	18.63%
ROTEIRIZAÇÃO 13	3661506	26/10/2010	18:45:38	19	0	18	1	10	10	995	848.8	14.69%
ROTEIRIZAÇÃO 14	3660001	26/10/2010	17:14:49	27	0	27	0	14	14	1852	1626.3	12.19%
ROTEIRIZAÇÃO 15	3663802	27/10/2010	17:43:45	25	0	25	0	13	13	2184.2	1444.8	33.85%
ROTEIRIZAÇÃO 16	3657277	22/10/2010	20:09:10	40	0	40	0	20	20	4525.6	4005.6	11.49%
ROTEIRIZAÇÃO 17	3653936	22/10/2010	21:34:28	17	0	17	0	9	9	1682.7	1286.7	23.53%
ROTEIRIZAÇÃO 18	3657428	23/10/2010	15:06:31	18	17	1	0	7	7	780	612	21.54%
ROTEIRIZAÇÃO 19	3657281	23/10/2010	15:04:27	33	0	21	12	23	23	2768.8	2377.5	14.13%
ROTEIRIZAÇÃO 20	3658387	23/10/2010	14:27:47	18	0	0	18	18	18	1320.2	1320.2	0.00%



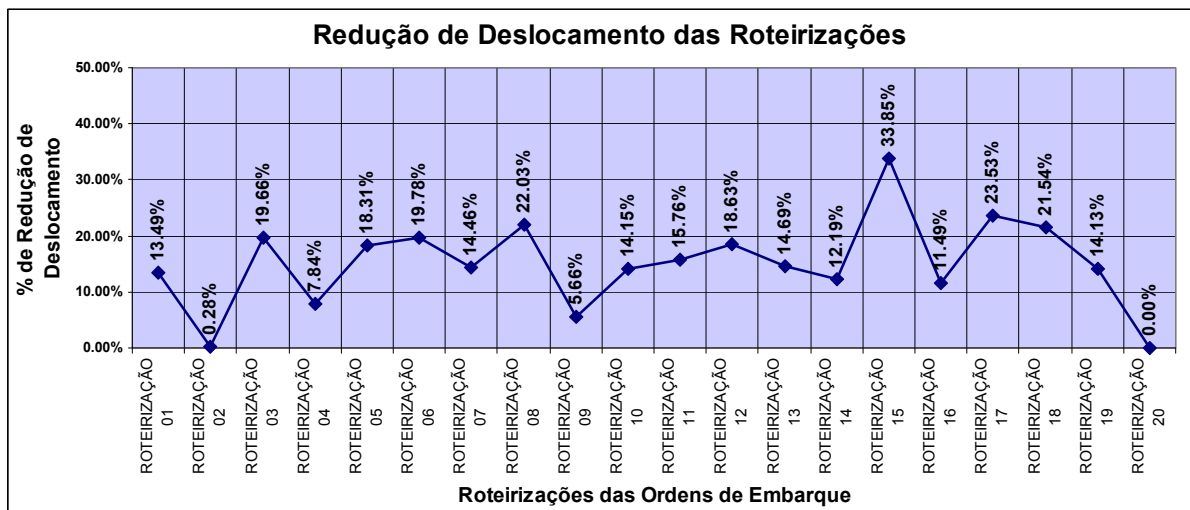
Para uma melhor comparação dos resultados do modo de roteirização empírico utilizado pela organização e sistema de roteirização proposto por esse trabalho, vale a comparação gráfica das distâncias geradas através dos 20 experimentos realizados para os dois meios de roteirização estudados, presente na Figura 8. Em tal figura, o afastamento entre a linha "EMPÍRICO" e linha "C. WRIGHT", mostra a oportunidade de economia nas 20 rotas analisadas.



**Figura 8** - Gráfico comparativo de 20 ordens de embarque considerando as distâncias percorridas pela empilhadeira utilizando a roteirização empírica VS. a utilização das rotas de coleta propostas pelo algoritmo

Uma análise gráfica considerando o percentual de redução de deslocamento proveniente do sistema proposto dado o sistema atual é apresentado na Figura 9. O cálculo das porcentagens consiste no resultado da seguinte expressão em percentual:

$(\text{Dist. total do roteiro empírico} - \text{Dist. total do roteiro proposto}) / \text{Dist. total do roteiro empírico}$



**Figura 9** - Análise percentual e individual das reduções de deslocamento da roteirização empírica em relação roteirização heurística

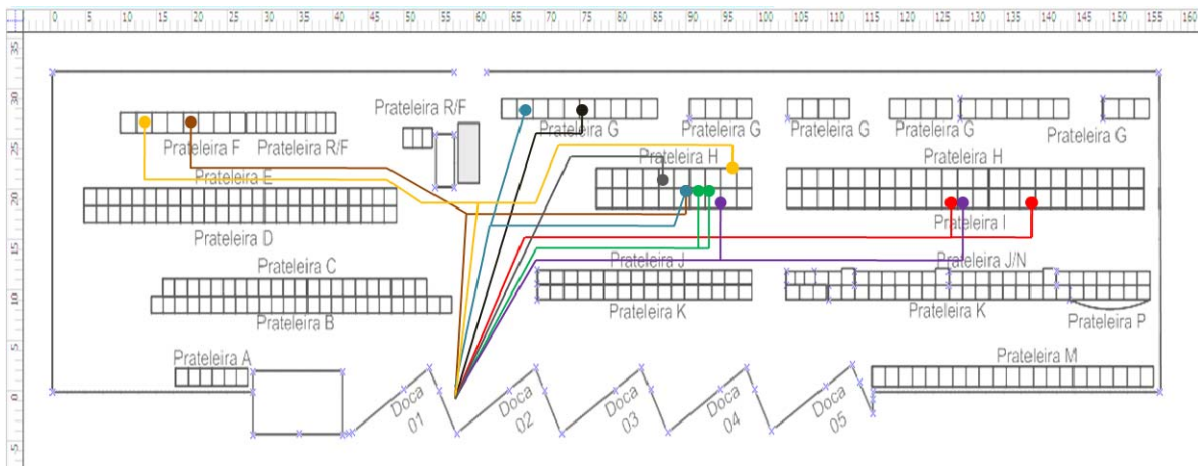
Analisando as roteirizações separadamente, para cada uma das 20 ordens de embarque experimentadas pode-se ver uma grande variação entre os ganhos por redução de deslocamento, como apresentado na Figura 9. Isso ocorre devido ao sistema de roteirização atual ser empírico, logo em alguns casos o roteirizador heurístico pode apresentar ganhos bastante significativos (ex: ROTEIRIZAÇÃO 15: 33,85% de redução) e em alguns casos pode apresentar resultados insignificantes (ROTEIRIZAÇÃO 20: 0,0% de redução) quando a rota empírica é próxima da rota gerada pelo sistema proposto. Porém é importante deixar claro que em todas as aplicações realizadas, não houveram resultados negativos de redução de distância o que mostra que a heurística apresentou coerência nos resultados e os mesmos se apresentaram sempre superiores ou iguais as rotas empíricas, demonstrando que a utilização do roteirizador se justifica pois evita desperdícios de deslocamento no processo de *picking*.

Com relação ao tempo computacional de processamento da rota, todos os testes implementados apresentaram tempos de processamento inferior a 1 segundo. Isso é um fator muito importante, pois em alguns casos, o depósito se torna gargalo momentâneo, e qualquer perda de tempo vêm a prejudicar as outras etapas do sistema, logo um tempo de processamento elevado certamente seria um ponto de desestímulo da utilização da ferramenta proposta.

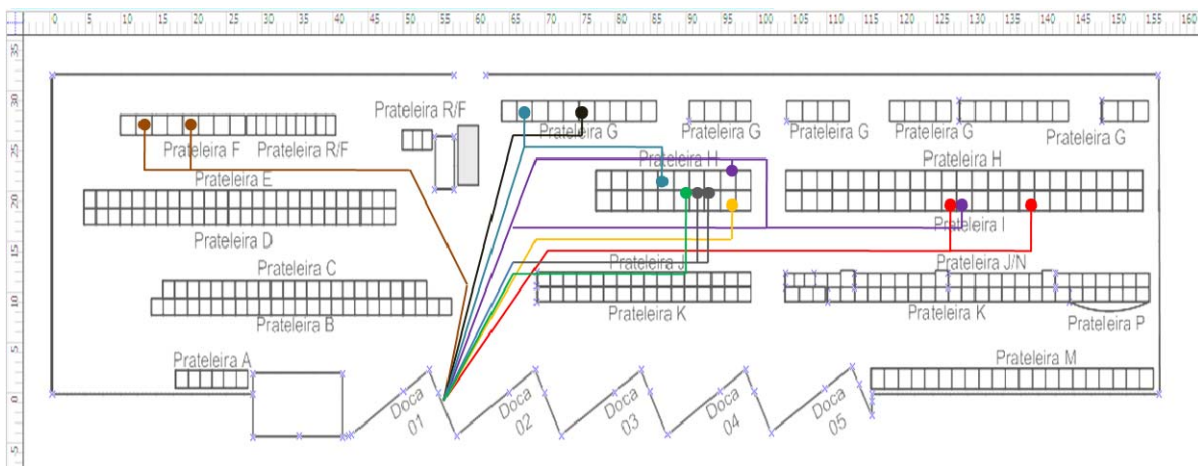
De forma a realizar uma análise visual comparativa da saída de dados do sistema a Figura 10, Figura 11 e Figura 12 apresenta uma análise visual comparativa entre o roteiro empírico utilizado pelo armazém e o roteiro gerado pelo sistema de roteirização proposto. Para tal análise, foi utilizado os dados da ROTEIRIZAÇÃO 12.

G360 G359	I022 I218
F015 I099	F015 F092
G367 I097	I080 H169
I080 I022	I099 I097
I126 I163	G360 G359
I218 I124	G367 H151
F092 H151	I163 I124
<u>H169</u>	<u>I126</u>

**Figura 10 - Sequência de coleta da ROTEIRIZAÇÃO 12: à esquerda lista sequenciada de coleta empírica e à direita lista sequenciada de coleta gerada pelo sistema proposto**



**Figura 11 - Representação gráfica dos roteiros formulados empiricamente para a ROTEIRIZAÇÃO 12**



**Figura 12 - Representação gráfica dos roteiros formulados pelo sistema proposto para a ROTEIRIZAÇÃO 12**

Analisando a Figura 11 e a Figura 12, pode-se notar algumas diferenças com relação as diferentes abordagens de roteirização. De forma geral, o sistema proposto sequenciou a coleta de produtos juntando em uma mesma viagem produtos fisicamente próximos se comparado ao sistema atual de roteirização, que muitas das vezes combina produtos distantes fisicamente, tendo como consequência a redução da economia de deslocamento.

## 6. Conclusão

Nesse trabalho foi apresentado o desenvolvimento de um sistema de roteirização para a coleta de produtos acabados em um armazém. Além disso foi apresentada uma revisão de literatura referente à coleta de materiais, roteirização e o método das economias. O sistema desenvolvido tem como base a heurística de Clarke -Wright e o algoritmo foi elaborado utilizando a linguagem de programação *Visual Basic for Applications* (VBA) juntamente com uma interface de manipulação do sistema através de planilhas eletrônicas.

O método utilizado mantém a estratégia de *picking* discreto e seu desenvolvimento foi apresentado na seção 4. Os testes computacionais do sistema para 20 ordens de embarque de produtos diferentes, mostraram que o sistema é capaz de apresentar reduções de deslocamento de até 33,85% quando comparado ao método empírico de roteirização utilizado pela organização com tempos computacionais inferiores à 1 segundo.

Como oportunidades de pesquisas futuras, sugere-se o desenvolvimento de tais sistemas em planilhas eletrônicas e linguagem de programação VBA porém para problemas maiores, ou seja, armazéns que contenham ordens de coleta com um grande número de unidades em pequenos volumes, de forma que se possa coletar vários itens em uma única viagem do operador ou da empilhadeira. Uma outra possibilidade de pesquisa é integrar o sistema com um sistema de comunicação eletrônica com os operadores para armazéns com um número elevado de giro de estoque, de forma que a transferência de informação seja feita em tempo real e que não seja mais necessário aos operadores pararem suas atividades para o recebimento de novas demandas de coleta.

## Referências

- AGUILAR, R.S. **Adequação de um sistema de picking no armazém de produtos acabados de uma empresa de produtos elétricos**. 2004. 103 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004. Disponível em: <[http://pos.dep.ufmg.br/publico/trabalhos/2004\\_06\\_23\\_renato.pdf](http://pos.dep.ufmg.br/publico/trabalhos/2004_06_23_renato.pdf)>. Acesso em 25 abr. 2014.
- BALLOU, R.H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos / Logística Empresarial**. 5 Ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- CLARKE, G., WRIGHT, J.W. *Scheduling of vehicle from a central depot to a number of delivery points*. Operations Research. v. 11, p. 568-581, 1963.
- CONCEIÇÃO, S.V. **Modelos e Heurísticas para os Problemas de Dimensionamento de Frota e Roteirização de Veículos**, Notas de Aula, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.
- DANIELS, R.L., RUMMEL, J.L., SCHANTZ, R. *Routing order pickers in a warehouse with middle aisle*. European Journal of Operations Research. v. 105, p. 1-17, 1998.
- NOVAES, A.G. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição**. 3 Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- RODRIGUES, A.M. **Estratégias de picking na Armazenagem**. 2008. UFRJ. Disponível em: <[http://www.multistrata.com.br/site-brasilian/biblioteca/estrategias\\_picking.htm](http://www.multistrata.com.br/site-brasilian/biblioteca/estrategias_picking.htm)>. Acesso em 03 out. 2007.
- TENKLEY, N.L. **Order Picking: Modelos e algoritmos de roteamento**. 2008. 71 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <[http://pos.dep.ufmg.br/publico/trabalhos/2008\\_03\\_25\\_nari.pdf](http://pos.dep.ufmg.br/publico/trabalhos/2008_03_25_nari.pdf)>. Acesso em 25 abr. 2014.
- WIRTZBIKI, B.T. **Diagnóstico e ações de melhorias logísticas em um banco de alimentos: estudo de caso**. 2013. 171 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005. Disponível em: <[http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/5824/1/2013\\_dis\\_btowitzbiki.pdf](http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/5824/1/2013_dis_btowitzbiki.pdf)>. Acesso em: 25 abr. 2014.