

OTIMIZAÇÃO DO AGRUPAMENTO DE ORDENS E ROTEIRIZAÇÃO DE COLETA: UM ESTUDO DE CASO EM UM ARMAZÉM DE E-COMMERCE¹

Francisco Antonio Neto dos Santos^a, Pedro Munari^{a*}

^aDepartamento de Engenharia de Produção
Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, São Carlos-SP, Brasil

Recebido 05/12/2016, aceito 21/03/2017

RESUMO

A separação de ordens é uma atividade que possui impacto importante no desempenho geral de uma cadeia logística. A eficiência dessa atividade está diretamente ligada à forma como se agrupam as ordens a serem coletadas, bem como ao tempo das rotas utilizadas para a coleta dos itens. Neste trabalho, são propostos métodos de solução para o problema de agrupamento de ordens e roteirização de coleta, baseando-se em um estudo de caso realizado em um *e-commerce* de móveis localizado no interior de São Paulo. Os métodos propostos contemplam as características específicas do caso em estudo e foram integrados a uma planilha automatizada de modo a apoiar a tomada de decisão na empresa. Os resultados de experimentos computacionais realizados com dados reais apontam que a implantação dos métodos de agrupamentos de ordens e roteirização de coleta propostos pode levar a rotas 35% mais curtas que as atuais, em média. Os resultados são ainda mais promissores ao se considerar a alteração do *layout* do armazém, podendo reduzir a distância total das rotas em até 40%, em média.

Palavras-chave: Logística, Armazém, Separação de ordens, Agrupamento, Roteirização.

ABSTRACT

Order picking has an important contribution to the overall performance of a logistic chain. The efficiency of this activity is totally related to the way that one creates batches of orders that have to be collected, as well as to the duration of routes used to collect items. In this paper, we propose solution methods for the order batching and routing problems, based on a case study carried out on a furniture e-commerce company, located in the state of São Paulo. The proposed methods cover the specific characteristics of the case and they were integrated to an automatized spreadsheet that allows the decision making support to the company. The results of computational experiments using real-life data indicate that the order batching and routing methods may lead to routes that are 35% shorter than the currently adopted by the company, on average. The results are more promising if we allow a layout adjustment of the warehouse, which may reduce the total distance up to 40%, on average.

Keywords: Logistic, Warehouse, Order picking, Batching, Routing.

*Autor para correspondência. E-mail: munari@dep.ufscar.br

1. Introdução

Em uma cadeia logística, bens e materiais são transportados desde o ponto de origem até o ponto de consumo. Nesse processo, esses itens podem ser estocados em armazéns e passam por etapas de recebimento, transporte, separação de ordens, expedição, entre outras (Le-Duc, 2005). A etapa de separação de ordens (*order picking*) é definida como a atividade na qual um número relativamente pequeno de produtos é extraído de um armazém para satisfazer um conjunto de ordens de clientes. É considerada uma atividade que demanda alta carga de trabalho (em sistemas manuais) e alto investimento de capital (em sistemas automatizados) (Ross, 2015; Goetschalckx e Ashayeri, 1989).

Algumas tendências atuais dos mercados de manufatura e distribuição vêm aumentando a importância e complexidade da definição e gerenciamento do sistema de separação de ordens. Na manufatura, por exemplo, as principais tendências são lotes menores, customização de ordem e produto, e redução de tempo de ciclo. Já no mercado de distribuição logística, com o crescimento do *e-commerce*, os armazéns recebem grande quantidade de ordens (com poucos itens) que devem ser processadas em um curto espaço de tempo para satisfazer seus clientes (De Koster et al., 2007; Le-Duc, 2005).

Como parte da cadeia logística, as operações de separação de ordens possuem um impacto importante no desempenho geral da cadeia. São as atividades que mais demandam tempo e força de trabalho em um armazém, tipicamente correspondendo a cerca de 50% do custo total de sua operação (Le-Duc, 2005). Sendo assim, qualquer ineficiência pode ocasionar custos operacionais desnecessários e um nível de serviço abaixo do esperado. Nesse sentido, há sete fatores principais que influenciam o desempenho de um sistema de separação de ordens: agrupamento de ordens (*batching*), roteirização de coleta (*routing*), política de armazenagem, zonas de separação (*zoning*), *layout* do armazém, equipamento de separação e a disponibilidade de informação relativa à separação (Bukchin et al., 2012). Neste trabalho, dá-se enfoque aos fatores com maior influência em nível operacional, sendo eles o agrupamento de ordens e a roteirização de coleta.

Dado o grande crescimento do mercado *online* apresentado no país nos últimos anos e a tendência apresentada no mercado de distribuição – aumento da quantidade de pequenas ordens, levando a muitas ordens com poucos itens – tornam-se valiosos os estudos capazes de modelar e solucionar, de forma ágil e prática, problemas que representem grande impacto no desempenho e custo da cadeia logística.

Dentro deste cenário, o presente trabalho aborda métodos de solução para tratar o agrupamento de ordens e roteirização de coleta. Um estudo de caso foi realizado em uma empresa de *e-commerce* de móveis, localizada no interior de São Paulo. A empresa possui um portfólio com mais de 200.000 SKUs (*stock keeping units*) e seu armazém compreende uma área de aproximadamente 8500 m². Devido ao volume crescente de pedidos, a empresa vinha enfrentando dificuldades em operar seu armazém de forma eficiente, sendo o maior gargalo na atividade de separação de ordens.

O restante deste artigo está estruturado da seguinte forma. No Capítulo 2, apresenta-se uma revisão da literatura sobre os métodos mais usados de agrupamento de ordens e roteirização de coleta propostos na literatura. No Capítulo 3, descrevem-se as principais características do estudo de caso realizado. No Capítulo 4, são propostas modificações nos métodos de agrupamento de ordens e roteirização de coleta de modo a adaptá-los à realidade da empresa. Além disso, apresenta-se a planilha automatizada desenvolvida para a utilização desses métodos no suporte à tomada de decisão da empresa. No Capítulo 5, são descritos e analisados os resultados de experimentos computacionais com dados reais e, por fim, no Capítulo 6, são apresentadas as conclusões e perspectivas de trabalhos futuros.

2. Agrupamento de Ordens e Roteirização de Coleta

Segundo Won e Olafsson (2005), as operações de maior impacto na eficiência em um armazém são dadas pelo agrupamento de ordens e a rota de coleta das mesmas. Devido à

dificuldade em se determinar a melhor política conjunta, essas operações são consideradas separadamente na prática, ou seja, primeiro determinam-se os grupos de ordens e, em seguida, as rotas de separação correspondentes. Abordagens de solução tratando essas decisões de forma conjunta têm sido propostas na literatura, inclusive recentemente (Lin et al., 2016; Valle et al., 2016), mas ainda podem apresentar tempo computacional relativamente alto para um volume de ordens realístico. Mesmo de forma isolada, decidir qual a melhor política para cada operação pode ser bastante desafiador quando se tem um número de ordens relativamente alto. Nesta seção, apresenta-se uma revisão dos métodos de solução mais utilizados na prática.

2.1. Métodos de Agrupamento de Ordens

Ordens são pedidos de clientes contendo itens que precisam ser coletados no armazém pelos separadores. Quando são suficientemente grandes, com muitos itens, cada ordem pode ser separada em um único ciclo. Um *ciclo* consiste em uma saída do separador de sua *base* (I/O – entrada e saída do armazém) para coletar os itens de uma *lista de separação* e, então, retornar à base. Entretanto, na maioria dos casos (e em especial no estudo de caso considerado neste trabalho), várias ordens são agrupadas em uma única lista de separação, de acordo com algum critério, de modo que todos os itens dessa lista sejam coletados por um único separador, em um único ciclo. Esse procedimento é chamado de *agrupamento de ordens*. Para um melhor entendimento, um caso típico da relação entre os termos *lista de separação*, *ordem* e *itens* é ilustrado na Figura 1.

Figura 1. Níveis de agrupamento de ordens.

LISTA DE SEPARAÇÃO 001		LISTA DE SEPARAÇÃO 002	
ORDEM	ITEM	ORDEM	ITEM
O-001	I-003	O-004	I-019
O-001	I-005	O-004	I-006
O-001	I-007	O-004	I-001
O-001	I-008		
		O-005	I-007
O-002	I-005	O-005	I-005
O-002	I-006	O-005	I-006
O-002	I-012	O-005	I-015
O-003	I-007	O-006	I-008
O-003	I-005	O-006	I-005
O-003	I-015	O-006	I-009
O-003	I-016	O-006	I-013
O-003	I-017	O-006	I-017

Fonte: Elaborado pelos autores.

A determinação do agrupamento de ordens pode ser baseada em diferentes critérios. Choe e Sharp (1991) levantam dois critérios principais: a proximidade das posições de separação; e a janela de tempo de chegada dos pedidos. Baseando-se nesses critérios, diferentes métodos heurísticos e ótimos são apresentados em Menéndez et al. (2017), Henn (2012), Henn et al. (2012), Yu e De Koster (2009); Gademann e Van de Velde (2005), De Koster et al. (2007), De Koster et al. (1999) e Choe e Sharp (1991). O problema de agrupamento de ordens é classificado como NP-difícil (Gademann e Van de Velde, 2005), o que indica a dificuldade em se obter soluções ótimas, principalmente para um número elevado de ordens. Na prática, os métodos heurísticos são os mais utilizados, pois permitem determinar um agrupamento de forma rápida e com desempenho satisfatório, independente do volume de ordens (De Koster et al., 2007).

Dentre os métodos heurísticos, destacam-se os *algoritmos semente*, frequentemente utilizados por sua natureza simples e por serem capazes de resultar em agrupamentos de boa qualidade. São compostos por duas etapas principais: seleção da semente e compatibilidade de

ordens. A primeira etapa consiste em escolher a ordem semente, ou seja, aquela que dará início ao grupo. Alguns exemplos de regras utilizadas para a escolha são: ordem com a maior quantidade de posições, ordem com o caminho mais longo, ordem mais distante da base, entre outras (De Koster et al., 2007; Henn et al., 2012).

A segunda etapa dos algoritmos semente consiste em determinar qual será a próxima ordem que deve ser adicionada ao grupo. Geralmente, a ordem é selecionada baseando-se na “distância” em relação à ordem semente. Alguns exemplos de regras utilizadas são: quantidade de ruas adicionais que precisarão ser acessadas se a ordem for adicionada, diferença entre o centro de gravidade da ordem selecionada e o centro de gravidade da ordem semente, entre outras (De Koster et al., 2007). Para as regras em que a distância entre itens precisa ser considerada, pode-se utilizar dois tipos de medida: distância entre ruas (distância entre dois itens é a diferença entre o número das ruas em que estão localizados) ou tempo de deslocamento (distância entre dois itens é o menor tempo de deslocamento possível entre os itens) (Henn et al., 2012).

2.2. Métodos de Roteirização de Coleta

Na roteirização de coleta, deseja-se determinar a rota mais rápida (ou de menor distância) para a coleta dos itens que compõem uma lista de separação. Métodos heurísticos e ótimos são apresentados em Pansart et al. (2017), Roodbergen (2001), Goetschalckx e Ratliff (1988), Petersen (1997) e Ratliff e Rosenthal (1983). Esse problema pode ser modelado como uma variante do Problema do Caixeiro Viajante, com as seguintes especificidades no caso de roteirização de ordens: nem todos os pontos precisam ser acessados; as posições de separação e a base podem ser acessadas mais de uma vez em um mesmo ciclo (Roodbergen, 2001). Scholz et al. (2016) propõem formulações matemáticas capazes de explorar essas especificidades de forma efetiva, obtendo melhor desempenho na prática.

Assim como no agrupamento de ordens, na prática, são utilizados métodos heurísticos para se determinar a roteirização de coleta. Conforme observado por De Koster et al. (2007), os principais motivos são: algoritmos ótimos não podem ser aplicados a qualquer tipo de *layout* de armazém; nem sempre as rotas ótimas são triviais para os separadores, que acabam desviando da rota. Além disso, os métodos ótimos podem ser ineficientes quando aplicados em armazéns com mais de um bloco e com um número relativamente grande de posições de coleta, devendo-se considerar também a dificuldade de se implementar e adaptar tais métodos para características específicas dos armazéns.

Em geral, um bloco é definido como um conjunto de ruas (corredores) contendo posições de coleta, dispostas em paralelo, sem que haja ruas de cruzamento dentro dele. Assim, blocos ficam delimitados por ruas de cruzamento, as quais não possuem posições de coleta, mas permitem a circulação entre as ruas do bloco (veja, por exemplo, a Figura 2, que ilustra um armazém com dois blocos).

Os métodos heurísticos são separados em dois grandes grupos: armazéns com bloco único, os mais analisados na literatura, e armazéns com dois ou mais blocos (Roodbergen, 2001). Além disso, dependendo da largura das ruas e a estratégia de roteirização, deve-se decidir entre separação de um lado ou de ambos os lados (isto é, se o separador coleta itens de apenas um lado ou dos dois lados da rua ao mesmo tempo) (Goetschalckx e Ratliff, 1988; Roodbergen, 2001).

Um dos métodos mais eficazes, além de fácil compreensão e implementação, é o método S (*S-shape*) (Roodbergen, 2001). Nesse método, em cada bloco, qualquer sub-rua contendo pelo menos uma posição a ser acessada é atravessada inteiramente, ou seja, acessada por um lado e abandonada pelo lado oposto. Por sub-rua, entende-se apenas a parte da rua que esteja no perímetro do bloco atual. O algoritmo do método S é apresentado no Quadro 1. Para facilitar o entendimento do algoritmo, uma ilustração de sua aplicação em um armazém com dois blocos é apresentada na Figura 2. As letras na figura correspondem às mesmas letras apresentadas nos passos do algoritmo, de modo a indicar a ordem de execução para o exemplo ilustrado. Os

quadrados em preto representam as posições dos itens que devem ser coletados pelo separador. Pelo formato da rota na ilustração, é possível compreender o nome atribuído ao método.

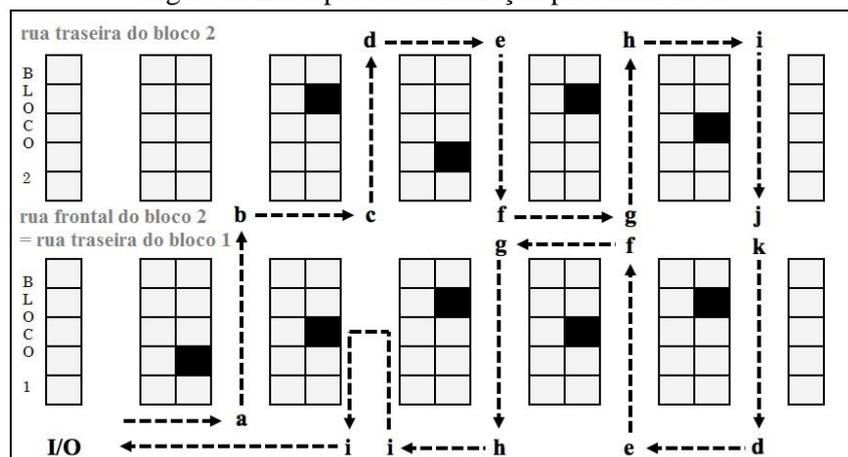
Outro método heurístico usado com frequência na prática é o método do maior intervalo (*largest gap*) (Roodbergen, 2001). Nesse método, para cada bloco percorre-se as sub-ruas contendo posições de coleta até se atingir o maior intervalo. Um *intervalo* é a distância entre duas posições de separação adjacentes dentro de uma mesma rua do bloco, ou entre a rua de cruzamento (frontal ou traseira) e a posição de separação mais próxima. Assim, para cada sub-rua do bloco deve-se calcular o maior intervalo, de modo a não o percorrer (se possível). O algoritmo do método do maior intervalo é apresentado no Quadro 2. Uma ilustração da aplicação desse algoritmo é dada na Figura 3, usando a mesma notação de letras usada anteriormente para corresponder os passos do algoritmo com a execução da rota na figura.

Quadro 1. Algoritmo do método S.

1. Determinar a sub-rua mais à esquerda do bloco mais próximo à base (I/O) e que contenha ao menos um item a ser coletado. Iniciar a rota indo da base até a frente desta sub-rua; **(a)**
2. Se houver apenas um bloco para visitar, então vá para o Passo 5. Senão, determinar o bloco mais distante da base (I/O) e que contenha ao menos um item a ser acessado;
3. Atravessar a sub-rua determinada no Passo 1 para coletar os itens desta rua e ir até a rua frontal do bloco mais distante determinado no Passo 2; **(b)**
4. Ir para a direita até encontrar uma sub-rua com itens a serem coletados **(c)**;
5. Enquanto houver itens a serem coletados no bloco atual, repita:
 - 5.1. Se essa for a última sub-rua com itens ainda não coletados nesse bloco e o separador estiver na rua frontal do bloco, então coletar os itens e retornar para a rua frontal;
 - 5.2. Senão, atravessar esta sub-rua para coletar os itens, abandoná-la pelo lado oposto e ir até a sub-rua mais próxima que tenha itens ainda não coletados; **(d → j)**
6. Se houver um bloco com itens ainda não coletados, então:
 - 6.1. Ir até a rua traseira do bloco mais próximo;
 - 6.2. Calcular as distâncias entre a posição atual até à sub-rua mais à esquerda e até à sub-rua mais à direita (com itens ainda não coletados);
 - 6.3. Ir até a sub-rua mais próxima; **(k)**
 - 6.4. Vá para o Passo 5;
7. Retornar à base (I/O).

Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 2. Exemplo de roteirização pelo método S.



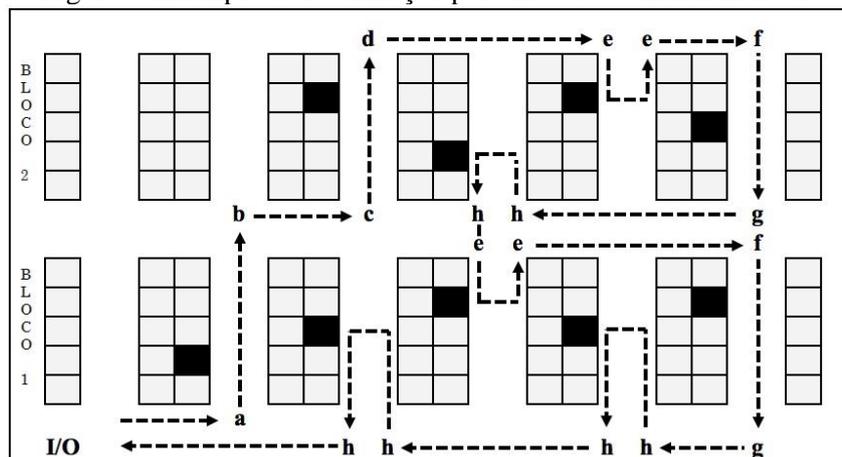
Fonte: Elaborado pelos autores.

Quadro 2. Algoritmo do método do maior intervalo.

1. Determinar a sub-rua mais à esquerda do bloco mais próximo à base (I/O) e que contenha ao menos um item a ser coletado. Iniciar a rota indo da base até a frente desta sub-rua; **(a)**
2. Se houver apenas um bloco para visitar, então vá para o Passo 5. Senão, determinar o bloco mais distante da base (I/O) e que contenha ao menos um item a ser acessado;
3. Atravessar a sub-rua determinada no Passo 1 para coletar os itens desta rua e ir até a rua frontal do bloco mais distante determinado no Passo 2; **(b)**
4. Ir para a direita até encontrar uma sub-rua com itens a serem coletados **(c)**.
5. Atravessar essa sub-rua para coletar os itens e ir para a rua traseira do bloco; **(d)**
6. Determinar todas as sub-ruas do bloco atual que devem ser acessadas pela rua traseira do bloco, de acordo com o critério de maior intervalo. Ir até a sub-rua mais à esquerda dentre elas; **(e)**
7. Enquanto houver sub-ruas do bloco atual a serem acessadas pela rua traseira, repita:
 - 7.1. Se a sub-rua atual for a última a ser acessada no bloco, então atravessar essa sub-rua para coletar os itens e abandoná-la pelo lado oposto; **(f → g)**
 - 7.2. Senão, coletar os itens dessa sub-rua até a posição do maior intervalo, retornar para a rua traseira e ir até a sub-rua mais próxima a ser acessada; **(e → e)**
8. Determinar todas as sub-ruas do bloco atual que devem ser acessadas pela rua frontal, usando o critério de maior intervalo. Ir até a sub-rua mais próxima da atual; **(h)**
9. Enquanto houver sub-ruas do bloco atual a serem acessadas pela rua frontal, repita:
 - 9.1. Coletar os itens dessa sub-rua até a posição do maior intervalo, retornar para a rua frontal e ir até a sub-rua mais próxima a ser acessada; **(h → h)**
10. Se houver um bloco com itens ainda não coletados, então:
 - 10.1. Ir até a rua traseira do bloco mais próximo; **(e)**
 - 10.2. Vá para o Passo 6;
11. Retornar à base (I/O).

Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 3. Exemplo de roteirização pelo método do maior intervalo.



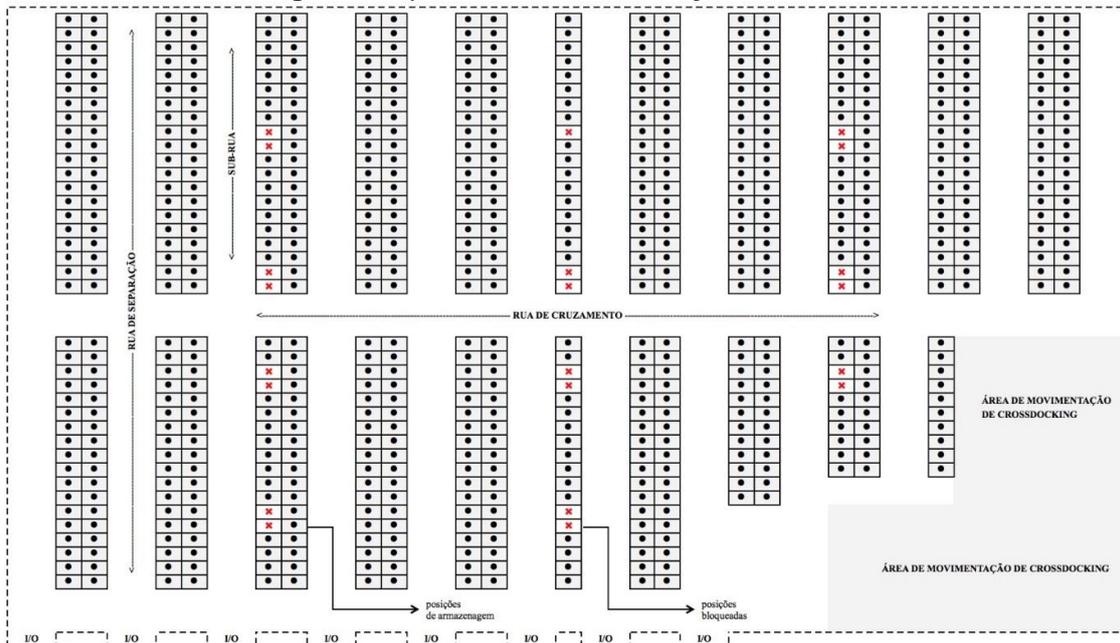
Fonte: Elaborado pelos autores.

3. Caracterização do Estudo de Caso

Um estudo de caso foi realizado em um armazém de *e-commerce* de móveis localizado no interior de São Paulo. A empresa conta com um portfólio com mais de 200.000 SKUs (*stock keeping units*), que são revendidos em sua plataforma *online* via estoque (quando disponível) e via *crossdocking* (pedido direto ao fornecedor). A empresa conta com um armazém principal de aproximadamente 8.500 m² distribuídos entre as áreas de recebimento e movimentação de *crossdocking*, expedição e armazenagem. Essa última é composta por 3.435 posições porta-paleta, sendo 2.748 posições em andares elevados (divididas em 4 níveis) e 687 posições de

separação (nível 0 – chão). As estruturas são divididas em dois blocos (bloco 2 posicionado ao fundo do armazém e bloco 1 posicionado próximo à área de expedição) e 12 ruas de separação com 4,3 m de largura. Além disso, há duas ruas de cruzamento, uma posicionada entre os blocos 1 e 2 e outra entre o bloco 1 e a área de expedição. Uma representação gráfica do *layout* é mostrada na Figura 4. As posições indicadas por um ‘x’ na figura representam posições inutilizadas devido à presença de pilares estruturais. É importante ressaltar que não é possível a mudança de rua pelos fundos do armazém (não há rua traseira no último bloco), o que representa uma característica específica da empresa, não contemplada nos métodos da literatura.

Figura 4. *Layout* do armazém da empresa estudada.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A primeira etapa do processo logístico interno usado na empresa é a de recebimento, onde produtos a serem armazenados ou já vendidos (*crossdocking*) são descarregados, inspecionados e segregados. Os produtos já vendidos são processados (embalados e/ou etiquetados) e encaminhados para a expedição. Os produtos não vendidos são encaminhados para a etapa de armazenagem. Nessa etapa, há a montagem de *paletes* (unidade de armazenagem) que, em seguida, são transportados por empilhadeiras até sua posição de destino e, por fim, a movimentação é registrada no sistema de gestão de estoque.

Conforme as vendas são confirmadas na plataforma online, os pedidos dos clientes são atrelados a produtos em estoque (quando disponível) e o setor logístico é informado sobre os detalhes do pedido: produto(s), quantidade(s), endereço(s) (localização nas estruturas de armazenagem) e prazo. Nesse momento, há o início da etapa de separação de ordens.

Em posse das informações referentes a diversas ordens geradas durante o dia, inicia-se a etapa de pré-separação (*pré-picking*) onde as posições de armazenagem que possuem algum item a ser separado são movimentadas dos andares superiores das estruturas porta-paleta para o chão. Esse processo é feito em bateladas, ou seja, a etapa subsequente só é iniciada quando todas as posições são movimentadas (limitadas pela disponibilidade de espaço de chão).

Em seguida, ocorre a geração das listas de separação segregadas por transportadora e a atribuição de seus responsáveis. Cada lista de separação possui apenas um separador responsável, não pode haver pedidos incompletos e todos os seus pedidos serão expedidos por uma única transportadora. Após essa etapa, cada separador, munido de seu aparelho coletor de

dados, percorre as ruas do armazém seguindo a sequência proposta pelo sistema (apontada na tela do coletor), retira os itens do palete de origem e o deposita sobre seu transportador (transpaleteira manual). Por fim, os itens separados são levados ao setor de “aguardando expedição”, onde são novamente armazenados em estruturas e aguardam a chegada dos caminhões das transportadoras. Itens separados do estoque e itens de *crossdocking* (já processados) passam pelo processo de embarque, onde os pedidos são conferidos e colocados em caminhões de transportadoras para que sejam entregues ao cliente final.

Seguindo a nomenclatura proposta por De Koster (2008), a empresa estudada utiliza um sistema *picker-to-parts* de baixo nível, ou seja, os separadores caminham pelas ruas enquanto coletam itens localizados em posições de armazenagem. Há separação por grupo (*batch picking*) de transportadoras, isto é, as listas de separação são compostas por diversas ordens (pedidos de compra de clientes) que serão levados a uma mesma transportadora. Em relação à consolidação, pode-se considerá-lo como um sistema *pick-and-sort*. O processo de separação deve garantir que as partes de um pedido “caminhem” juntas durante todo o processo para mitigar os riscos de perda de parte dos pedidos e, com isso, influencia a política de agrupamento. Por fim, não há compartimentação e não se utilizam ondas de separação.

A política de armazenagem segue o critério da posição mais próxima disponível. Respeitando algumas restrições do sistema como elevação máxima das empilhadeiras e fragilidade dos produtos, há uma recomendação de qual rua em que o palete deve ser armazenado ou a mesma pode ser selecionada pelo operador da empilhadeira.

O agrupamento de ordens é feito utilizando-se a regra FCFS (*First Come First Served* - em português: primeiro a chegar primeiro a ser atendido) de acordo com a data de criação da ordem (aprovação da compra). As ordens são atribuídas aos grupos respeitando-se algumas restrições: o grupo deve conter apenas pedidos completos (todos os itens do pedido) e que serão expedidos para uma única transportadora; e há um limite de itens por grupo, definido pela supervisão, baseado na produtividade dos separadores.

A roteirização de coleta é baseada em uma sequência numérica atribuída a cada posição de separação e percorrida no sentido crescente (inicia-se pela de menor valor a ser acessado). O método atual é muito similar ao método rua-por-rua, apresentado em Vaughan (1999), onde as rotas acessam as ruas de separação apenas uma vez (todos os itens da rua 1 são separados, depois todos os itens da rua 2 são separados e assim por diante).

O sistema estudado apresenta ciclo único (o separador é responsável apenas pela atividade de retirar os produtos de posições do nível 0), sendo considerado bidimensional (apenas 2 coordenadas são necessárias para especificar a localização de uma posição), manual e com informações estáticas.

O padrão de demanda é caracterizado por uma pequena quantidade de SKUs por ordem e poucos itens por ordem. De acordo com os dados levantados no banco de dados da empresa, no período de setembro de 2014 a agosto de 2015, o número de ordens por dia foi em média 430, chegando ao máximo de 4.121 em um dia de novembro de 2014. O número de SKUs por ordem nesse período foi em média 1,2 e no máximo 1,4. O número de itens por ordem foi em média 1,5 e no máximo 2,0. Essa grande quantidade de pequenas ordens é característico de armazéns de *e-commerce*.

4. Métodos de Solução e Implementação Computacional

No estudo em questão, foram selecionados os métodos de roteirização e agrupamento de ordens mais utilizados na prática, de acordo com a literatura na área. Devido às particularidades encontradas no armazém estudado, esses métodos necessitaram de adaptações e o desenvolvimento de uma solução computacional própria, de modo a apoiar o processo de tomada de decisão da empresa.

4.1. Solução do Agrupamento de Ordens

Conforme mencionado na Seção 3, na empresa em estudo, as ordens são agrupadas em listas de separação de acordo com o critério FCFS, baseado na data de efetivação do pagamento. Esse critério dificilmente resulta em um agrupamento eficiente, em geral. Com o intuito de melhorar o desempenho dessa operação, propôs-se utilizar um método semente, seguindo a descrição na Seção 2.1 deste trabalho. Esse método tipicamente apresenta resultados e desempenho melhores quando comparado com o método FCFS (De Koster et al., 1999), além de exigir baixa dificuldade de implementação.

A primeira etapa do método proposto consiste em escolher a ordem semente, ou seja, aquela que dará início ao grupo. No caso estudado, as ordens são inicialmente separadas em macro-grupos utilizando como critério a transportadora. Todas as ordens de uma mesma transportadora são direcionadas exclusivamente para um único macro-grupo. Em seguida, utilizando uma das regras de seleção apresentadas abaixo, é escolhida uma ordem semente dentre todas do mesmo macro-grupo. Foram utilizadas cinco regras de seleção:

- S1: Ordem com a maior quantidade de ruas a serem acessadas;
- S2: Ordem com maior distância total de deslocamento;
- S3: Ordem com maior distância entre ruas, calculada pela diferença absoluta entre a rua mais à direita e a rua mais à esquerda (coordenada X);
- S4: Ordem com o item mais distante da base (I/O);
- S5: Ordem com a maior quantidade de itens.

A segunda etapa consiste em determinar qual será a próxima ordem a ser adicionada ao grupo. Para cada ordem ainda não pertencente a algum grupo e que não excede a capacidade do transportador, uma das regras de adição abaixo é usada para definir qual ordem será adicionada ao grupo em construção. Essa etapa é repetida até atingir a máxima utilização possível da capacidade do transportador. No caso estudado, foram utilizadas quatro regras de adição:

- A1: Ordem cuja soma da distância entre cada item da ordem semente e o item mais próximo da ordem em análise é minimizada;
- A2: Ordem cuja soma da distância entre cada item da ordem em análise e o item mais próximo da ordem semente é minimizada;
- A3: Ordem cuja diferença entre o seu centro de gravidade (CG) e o CG da ordem semente é minimizada – CG de uma ordem é igual à média da posição das ruas onde seus itens estão armazenados;
- A4: Ordem cuja quantidade de ruas adicionais à ordem semente é mínima.

Para as regras de adição “A1” e “A2” a distância é a diferença absoluta entre as posições (coordenada X) das ruas onde os dois itens analisados estão armazenados. A inserção de ordens utiliza uma estratégia acumulativa, isto é, a ordem semente é constituída por todas as ordens já adicionadas até o momento. Esse método foi escolhido, pois apresenta melhor desempenho quando comparado com o método simples (De Koster et al., 1999).

Em todas as regras utilizadas (seleção e adição), em caso de empate, a ordem com maior quantidade de itens é selecionada. Isso ocorre, pois é mais fácil adicionar ordens pequenas em estágios posteriores do agrupamento do que ordens grandes (De Koster et al., 1999).

4.2. Solução da Roteirização de Coleta

Atualmente, a empresa não utiliza nenhum método apropriado para determinar a rota de coleta. A lista de separação sugere uma sequência numérica atribuída a cada item, de acordo com o sentido crescente de posição (veja Seção 3), o que pode claramente resultar em percursos ineficientes. Para apoiar a decisão de roteirização no armazém da empresa, propôs-se o uso dos métodos heurísticos de roteirização descritos na Seção 2.2: método S e método do maior intervalo.

Nos dois métodos, adotou-se a separação de ambos os lados (*double-sided picking*). Apesar de as ruas do armazém serem relativamente largas (3,9 vezes a largura de uma posição), a densidade dessas ruas (quantidade de posições a serem acessadas por sub-rua dividido pelo total de posições) é muito baixa em média (menor do que 5%), acarretando em um melhor desempenho desse método em relação ao método de separação de lado único (Goetschalckx e Ratliff, 1988). Devido a essa consideração, toda posição e sua correspondente no lado oposto nas ruas de separação foram consideradas com um nó único.

4.2.1 Método S Adaptado

O método S original descrito na Seção 2.2 não pode ser aplicado diretamente ao armazém da empresa estudada, devido à falta de rua de cruzamento ao fundo do armazém. Dessa forma, foi necessário realizar alguns ajustes no algoritmo original, de modo a incorporar essa característica específica da empresa. O método resultante é referenciado como *método S adaptado*, cujo algoritmo é apresentado no Quadro 3.

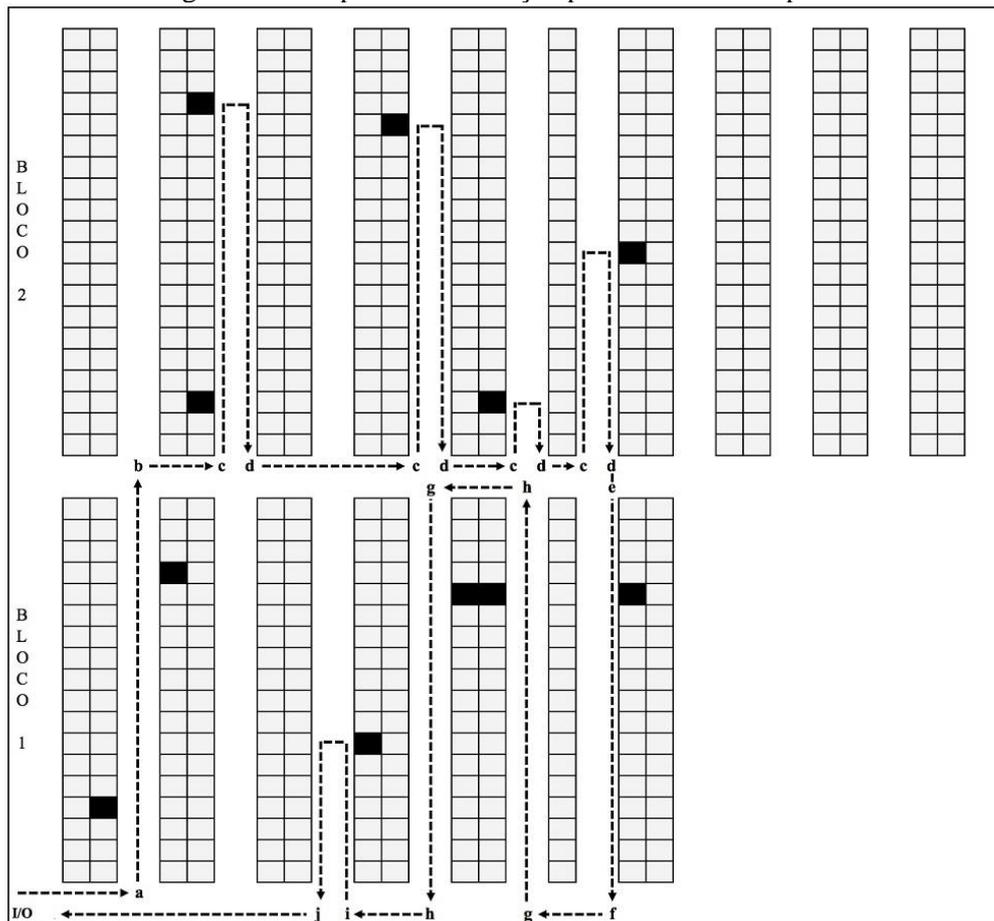
Quadro 3. Algoritmo do método S adaptado.

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Determinar a sub-rua mais à esquerda do bloco mais próximo à base (I/O) e que contenha ao menos um item a ser coletado. Iniciar a rota indo da base até a frente desta sub-rua; (a) 2. <u>Se</u> houver apenas um bloco para visitar, <u>então vá para</u> o Passo 5. <u>Senão</u>, determinar o bloco mais distante da base (I/O) e que contenha ao menos um item a ser acessado; 3. Atravessar a sub-rua determinada no Passo 1 para coletar os itens desta rua e ir até a rua frontal do bloco mais distante determinado no Passo 2; (b) 4. Ir para direita até encontrar uma sub-rua com itens a serem coletados (c); 5. <u>Enquanto</u> houver itens a serem coletados no bloco atual, <u>repita</u>: <ol style="list-style-type: none"> 5.1. <u>Se</u> o bloco atual for o último do armazém, <u>então</u> coletar os itens da sub-rua, retornar para a rua frontal e ir para a próxima sub-rua com itens a coletar; (c → d) 5.2. <u>Senão</u>, <u>se</u> essa for a última sub-rua com itens a coletar nesse bloco e o separador estiver na rua frontal, <u>então</u> coletar os itens e retornar para a rua frontal; (i → j) 5.3. <u>Senão</u>, coletar os itens desta sub-rua, abandoná-la pelo lado oposto e ir para a sub-rua mais próxima que tenha itens a coletar; (e → i) 6. <u>Se</u> houver um bloco com itens a coletar, <u>então</u>: <ol style="list-style-type: none"> 6.1. Ir até a rua traseira do bloco mais próximo; 6.2. Calcular as distâncias entre a posição atual até a sub-rua mais à esquerda e até a sub-rua mais à direita (com itens a coletar); 6.3. Ir até a sub-rua mais próxima; (e) 6.4. <u>Vá</u> para o Passo 5; 7. Retornar à base (I/O). |
|---|

Fonte: Elaborado pelos autores.

No método adaptado, toda sub-rua do bloco mais ao fundo, que possua pelo menos uma posição de separação, é acessada por sua rua de cruzamento frontal e abandonada pelo mesmo lado. Após a coleta dos itens do bloco mais ao fundo, o fluxo mantém o mesmo raciocínio proposto no método original. A Figura 5 ilustra a execução do algoritmo do método S adaptado, de acordo com o *layout* do armazém da empresa. Seguindo a notação da Seção 2, as letras indicadas na figura correspondem às letras nos passos do algoritmo.

Figura 5. Exemplo de roteirização pelo método S adaptado.



Fonte: Elaborado pelos autores.

4.2.2 Método do Maior Intervalo Adaptado

Assim como no método S, tornou-se necessário adaptar o método do maior intervalo apresentado na Seção 2.2, de modo que toda sub-rua do bloco mais ao fundo que possua pelo menos uma posição de separação, seja acessada por sua rua de cruzamento frontal e abandonada pelo mesmo lado. Após a coleta dos itens do bloco mais ao fundo, o fluxo mantém o mesmo raciocínio proposto no método original. O algoritmo do método resultante é apresentado no Quadro 4. A Figura 6 ilustra uma execução do algoritmo.

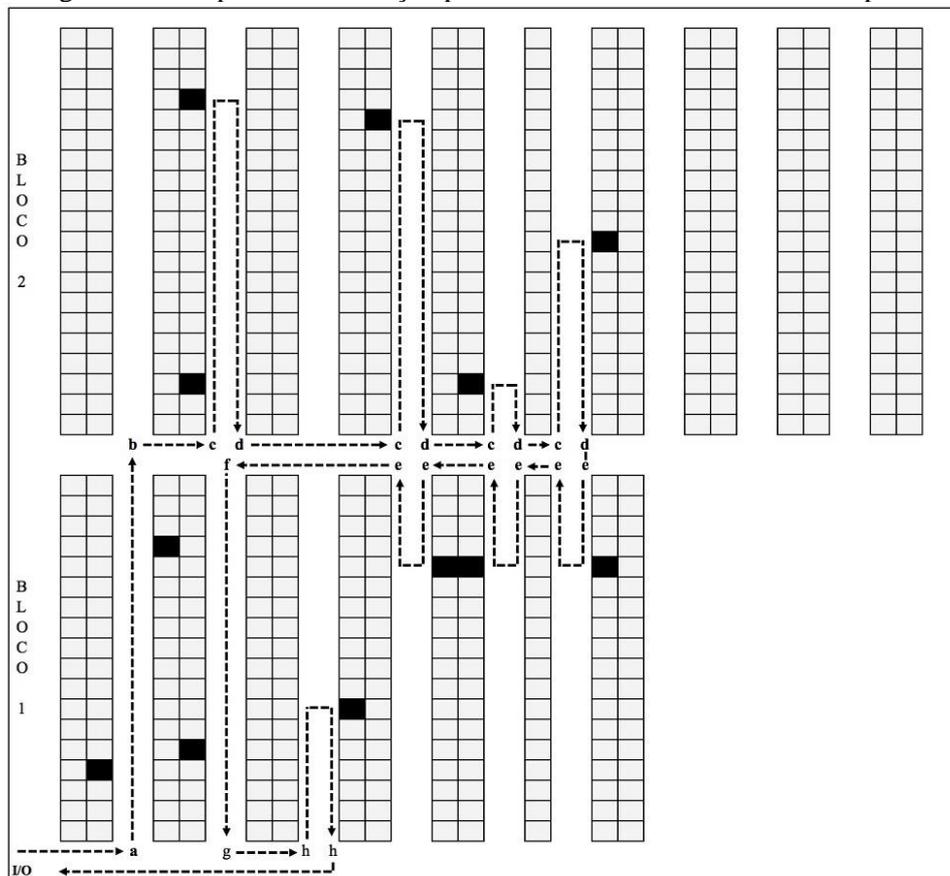
Quadro 4. Algoritmo do método do maior intervalo adaptado.

1. Determinar a sub-rua mais à esquerda do bloco mais próximo à base (I/O) e que contenha ao menos um item a ser coletado. Iniciar a rota indo da base até a frente desta sub-rua; **(a)**
2. Se houver apenas um bloco para visitar, então vá para o Passo 4. Senão, determinar o bloco mais distante da base (I/O) e que contenha ao menos um item a ser acessado;
3. Atravessar a sub-rua determinada no Passo 1 para coletar os itens desta rua e ir até a rua frontal do bloco mais distante determinado no Passo 2; **(b)**
4. Ir para a direita até encontrar uma sub-rua com itens a serem coletados: **(c)**
 - 4.1. Se o bloco atual for o último bloco do armazém, então vá para o Passo 5;
 - 4.2. Senão, atravessar essa sub-rua para coletar os itens e ir para a rua traseira do bloco. Vá para o Passo 7;
5. Enquanto houver itens a serem coletados no bloco atual, repita:
 - 5.1. Coletar os itens da sub-rua, retornar para a rua frontal e ir para a próxima sub-rua com itens a coletar; **(c → d)**

6. Se houver um bloco com itens ainda não coletados, então ir até a rua traseira do bloco mais próximo, caso já não esteja; **(e)**
7. Determinar todas as sub-ruas do bloco atual que devem ser acessadas pela rua traseira do bloco, de acordo com o critério de maior intervalo. Ir até a sub-rua mais à direita dentre elas; **(e)**
8. Enquanto houver sub-ruas do bloco atual a serem acessadas pela rua traseira, repita:
 - 8.1. Se a sub-rua atual for a última a ser acessada no bloco, então atravessar essa sub-rua para coletar os itens e abandoná-la pelo lado oposto; **(f → g)**
 - 8.2. Senão, coletar os itens dessa sub-rua até a posição do maior intervalo, retornar para a rua traseira e ir até a sub-rua mais próxima a ser acessada; **(e → e)**
9. Determinar todas as sub-ruas do bloco atual que devem ser acessadas pela rua frontal, usando o critério de maior intervalo. Ir até a sub-rua mais próxima da atual; **(h)**
10. Enquanto houver sub-ruas do bloco atual a serem acessadas pela rua frontal, repita:
 - 10.1. Coletar os itens dessa sub-rua até a posição do maior intervalo, retornar para a rua frontal e ir até a sub-rua mais próxima a ser acessada; **(h → h)**
11. Se houver um bloco com itens ainda não coletados, então:
 - 11.1. Ir até a rua traseira do bloco mais próximo; **(e)**
 - 11.2. Vá para o Passo 7;
12. Retornar à base (I/O).

Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 6. Exemplo de roteirização pelo método do maior intervalo adaptado.



Fonte: Elaborado pelos autores.

4.3. Implementação Computacional

Os métodos de solução propostos foram todos implementados em linguagem de programação *Visual Basic for Applications* (VBA) e incorporados a uma planilha eletrônica criada no *software* Microsoft Excel 2010. A escolha da linguagem de programação e do *software* foi baseada na facilidade de acesso e utilização por parte dos funcionários da empresa, permitindo que os separadores e os tomadores de decisão possam utilizar os métodos de forma simples e prática.

Para a completa execução dos métodos de agrupamento e roteirização, o usuário precisa definir os dados de entrada e parâmetros em duas abas da planilha. A primeira delas, apresentada na Figura 7, deve ser preenchida com as ordens que serão processadas (por exemplo, ordens que precisam ser separadas no dia corrente) e informações referentes às mesmas (data, transportadora, número da ordem, posições a serem acessadas, SKUs, m³/volume, quantidade de volumes por SKU, m³ totais, rua e *id* de controle).

Figura 7. Aba de inserção de ordens.

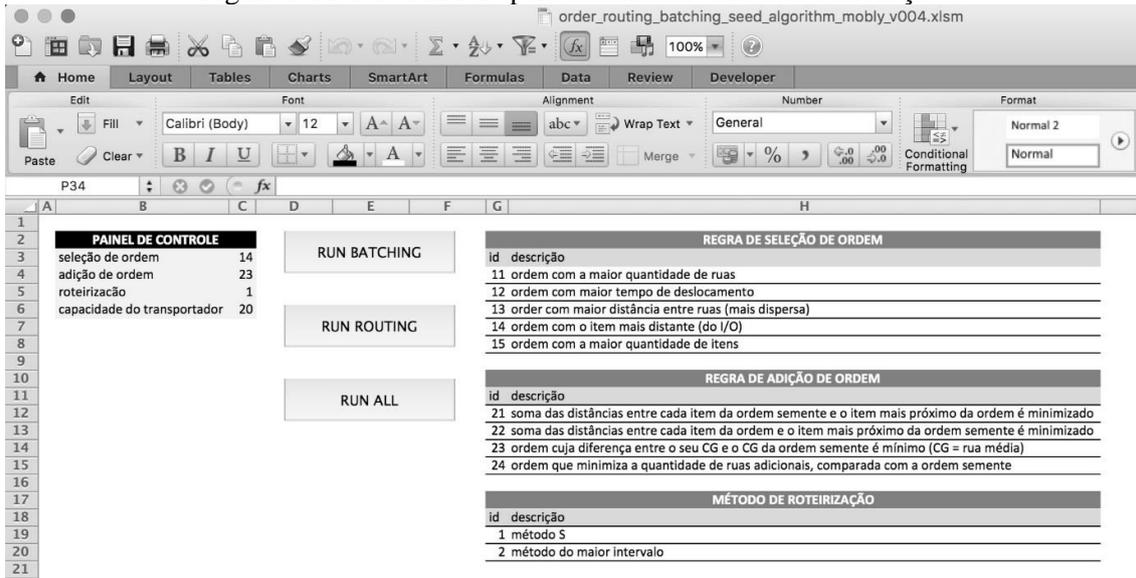
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	data_separacao	transportadora	numero_ordem	posicao	sku	m3_volume	volumes	m3 (F*G)	rua	id_controle
1	01/08/15	BONGOLOG	701752929	Chap1_A_C14-0	KA161CL26KAN-7404	1	1	1	BC	1
2	01/08/15	BONGOLOG	701752929	Chap1_A_C14-0	KA161CL26KAN-7404	1	1	1	BC	1
3	01/08/15	BONGOLOG	701752929	Chap1_A_C14-0	KA161CL26KAN-7404	1	1	1	BC	1
4	01/08/15	BONGOLOG	701828629	Chap1_A_C12-0	MO173CH80MITMOB-97659	1	1	1	BC	1
5	01/08/15	BONGOLOG	701828629	Chap1_A_L14-0	MO173CH80MITMOB-97659	1	1	1	L	1
6	01/08/15	BONGOLOG	702152749	Chap1_A_U02-0	AM155UP23NFCMOB-115948	1	1	1	U	1
7	01/08/15	BONGOLOG	702236229	Chap1_A_H15-0	VI725CH81YQMOB-178401	1	1	1	HI	1
8	01/08/15	BONGOLOG	702236229	Chap1_A_H15-0	VI725CH81YQMOB-178401	1	1	1	HI	1
9	01/08/15	BONGOLOG	702236229	Chap1_A_I39-0	VI642TA21RBAMOB-190912	1	1	1	HI	1
10	01/08/15	BONGOLOG	702236229	Chap1_A_I39-0	VI642TA21RBAMOB-190912	1	1	1	HI	1
11	01/08/15	BONGOLOG	702236229	Chap1_A_I39-0	VI642TA21RBAMOB-190912	1	1	1	HI	1
12	01/08/15	BONGOLOG	702296929	Chap1_A_H04-0	MC926UP63QKEMOB-118243	1	1	1	HI	1
13	01/08/15	BONGOLOG	702296929	Chap1_A_O13-0	MC926UP63QKEMOB-118243	1	2	2	OP	1
14	01/08/15	BONGOLOG	702536929	Chap1_A_F04-0	MC926CH78QFTMOB-118128	1	1	1	FG	1
15	01/08/15	BONGOLOG	702536929	Chap1_A_U05-0	MC926CH56HITMOB-165813	1	1	1	U	1
16	01/08/15	BONGOLOG	706279929	Chap1_A_L11-0	KA161CL24KAP-7406	1	1	1	L	1
17	01/08/15	BONGOLOG	706279929	Chap1_A_L11-0	KA161CL24KAP-7406	1	1	1	L	1
18	01/08/15	BONGOLOG	706279929	Chap1_A_M20-0	KA161CL24KAP-7406	1	1	1	MN	1
19	01/08/15	BONGOLOG	706339229	Chap1_A_H15-0	VI725CH81YQMOB-178401	1	1	1	HI	1
20	01/08/15	BONGOLOG	706339229	Chap1_A_H15-0	VI725CH81YQMOB-178401	1	1	1	HI	1
21	01/08/15	BONGOLOG	706339229	Chap1_A_I39-0	VI642TA21RBAMOB-190912	1	1	1	HI	1
22	01/08/15	BONGOLOG	706339229	Chap1_A_I39-0	VI642TA21RBAMOB-190912	1	1	1	HI	1
23	01/08/15	BONGOLOG	706339229	Chap1_A_I39-0	VI642TA21RBAMOB-190912	1	1	1	HI	1
24	01/08/15	BONGOLOG	706779929	Chap1_A_T11-0	RV500BE32QPFMOB-118374	1	1	1	ST	1
25	01/08/15	BONGOLOG	706779929	Chap1_A_T11-0	RV500BE32QPFMOB-118374	1	1	1	ST	1
26	01/08/15	BONGOLOG	707126929	Chap1_A_I06-0	LI012CH22NGBMOB-133883	1	2	2	HI	1
27	01/08/15	BONGOLOG	707126929	Chap1_A_I06-0	LI012CH22NGBMOB-133883	1	2	2	HI	1
28	01/08/15	BONGOLOG	707449929	Chap1_A_N14-0	JA887BE32POHMOB-117664	1	1	1	MN	1
29	01/08/15	BONGOLOG	707449929	Chap1_A_N14-0	JA887BE32POHMOB-117664	1	1	1	MN	1
30	01/08/15	BONGOLOG	707627336	Chap1_A_B09-0	KN099RA25DXQMOB-127487	1	1	1	BC	1
31	01/08/15	BONGOLOG	707627336	Chap1_A_B09-0	KN099RA25DXQMOB-127487	1	1	1	BC	1
32	01/08/15	BONGOLOG	707627336	Chap1_A_B09-0	KN099RA25DXQMOB-127487	1	1	1	BC	1
33	01/08/15	BONGOLOG	707711629	Chap1_A_J18-0	KA161CL24KAP-7406	1	1	1	JK	1
34	01/08/15	BONGOLOG	707711629	Chap1_A_J18-0	KA161CL24KAP-7406	1	1	1	JK	1

Fonte: Elaborado pelos autores.

Na segunda aba (aba de controle), apresentada na Figura 8, o usuário deve definir quatro parâmetros do processo, inserindo o valor nas células especificadas: regra de seleção de ordens, regra de adição de ordens, método de roteirização e capacidade do transportador. Por fim, o usuário escolhe entre 3 tipos de execução: executar apenas o agrupamento (“*Run Batching*”), executar apenas a roteirização (“*Run Routing*”) ou executar ambos de forma combinada (“*Run All*”).

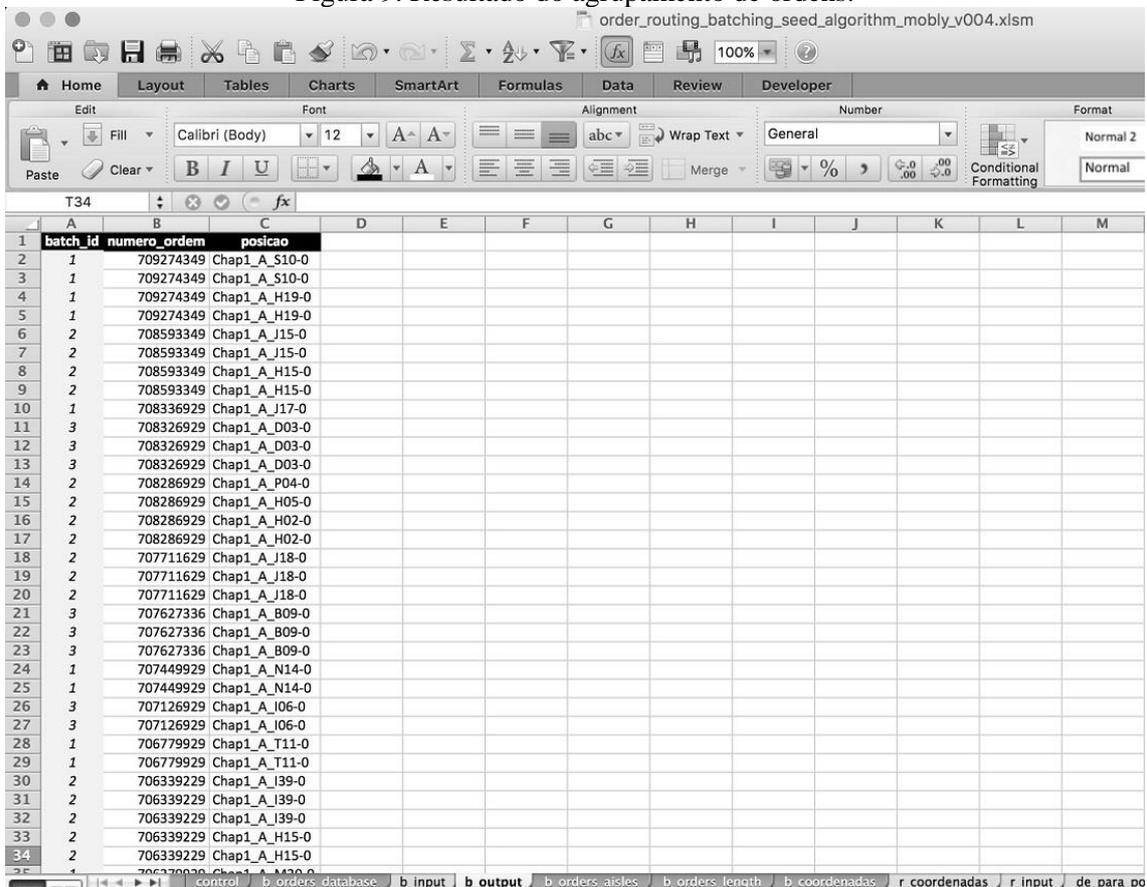
Ao final da execução, outras abas devem ser acessadas para consultar os resultados intermediários do método e o resultado final. Como mostrado na Figura 9, ao final do processo de agrupamento de ordens, o seu resultado pode ser consultado na aba “*b_output*” onde há informação do número de identificação de cada grupo criado (*batch_id* – coluna A), o número das ordens que compõem cada um deles (*numero_ordem* – coluna B) e as posições onde cada um dos itens das ordens está localizado (*posição* – coluna C).

Figura 8. Aba de controle para escolha de variáveis e execução.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 9. Resultado do agrupamento de ordens.

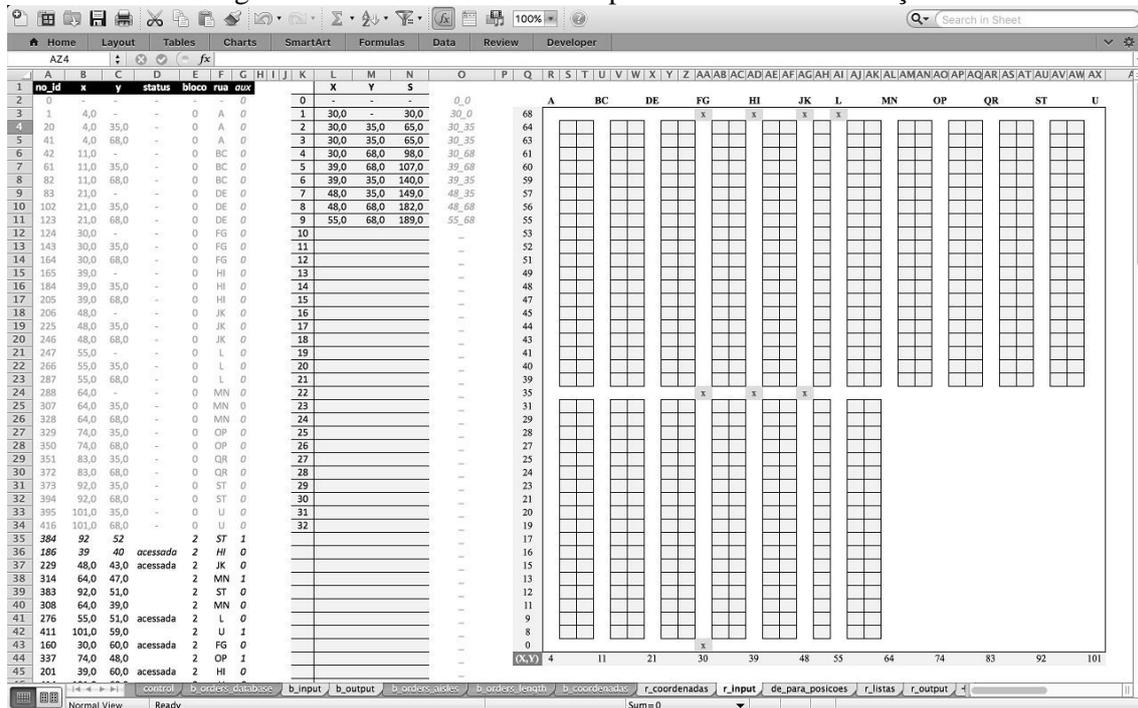


Fonte: Elaborado pelos autores.

Além disso, como mostrado na Figura 10, na aba “r_input” pode-se consultar o caminho determinado pelo método de roteirização. Nas colunas A à G, estão todas as informações referentes às posições que devem compor a rota a ser calculada (número de identificação, coordenadas, status, bloco e rua). Nas demais colunas, é apresentada a rota proposta pelo

algoritmo. Nas colunas K à N, temos o número referente às iterações da rota (K), as coordenadas dos nós acessados (L e M) e a distância total percorrida até a respectiva iteração (N). A partir da coluna Q, temos uma representação gráfica da rota, onde cada nó acessado durante a execução da rota é marcado com o sinal “x”.

Figura 10. Caminho determinado pelo método de roteirização.



Fonte: Elaborado pelos autores.

5. Resultados e Discussões

Nesta seção, são descritos e analisados os resultados obtidos pelos métodos de solução propostos. Nos experimentos, foram utilizados dados reais extraídos diretamente do banco de dados da empresa, referentes a pedidos realizados de janeiro a agosto de 2015. Apenas as ordens correspondentes à venda de produtos em estoque (isto é, que estão no armazém) foram consideradas, resultando em aproximadamente 50.000 ordens. A análise será iniciada pelos métodos de roteirização.

5.1. Métodos de Roteirização

O primeiro experimento consistiu em comparar as soluções obtidas com o método S (adaptado) e o método do maior intervalo (adaptado) com as soluções dadas pela lógica atual da empresa (coleta sequencial em relação à posição no armazém). Para isso, todos os métodos foram executados para todas as listas de separação (conjunto de ordens) geradas pela empresa no horizonte de tempo considerado. Os resultados são apresentados na Tabela 1. Na primeira coluna, apresenta-se o método utilizado; e na segunda e terceira colunas, são apresentadas a distância total média e a melhoria em relação ao método atual, respectivamente. De acordo com os resultados apresentados nessas duas colunas, observa-se que ambos os métodos propostos geraram reduções na distância total percorrida quando comparados com o método atual, com uma leve vantagem do método do maior intervalo em relação ao método S.

Tabela 1. Distância total média das soluções de roteirização.

método	layout atual		layout ajustado	
	distância total média (m/dia)	diferença em relação ao cenário atual	distância total média (m/dia)	diferença em relação ao cenário atual
Algoritmo S	21.182	-5,0%	20.608	-7,6%
Algoritmo de maior intervalo	21.150	-5,2%	20.834	-6,6%
Lógica atual	22.300	-	-	-

Fonte: Elaborado pelos autores.

As colunas 4 e 5 da Tabela 1 apresentam os resultados de um segundo experimento, no qual ambos os métodos foram executados novamente, mas considerando uma mudança no *layout* do armazém, dada pela adição de uma nova rua de cruzamento ao seu fundo. Assim, os métodos S original e do maior intervalo original (descritos na Seção 2) foram utilizados para obter as rotas. Segundo Roodbergen (2001), geralmente, a distância total de deslocamento (idem ao tempo total, considerando velocidade constante) reduz quando o *layout* é alterado de duas para três ruas de cruzamento, já que aumenta o número de rotas possíveis.

Assim como esperado, ambos os métodos ajustados apresentaram rotas ainda menores do que as geradas na execução anterior. Nesse cenário, o método S apresentou rotas 7,6% menores do que o método atual, enquanto o método do maior intervalo apresentou rotas 6,6% menores. Isso sugere que uma mudança no *layout* atual do armazém pode trazer benefícios à empresa.

Segundo Tompkins et al. (2003), em média, 50% do tempo dos separadores é despendido no deslocamento entre posições de separação. Dessa forma, no caso estudado, uma redução de 7,6% da distância total média por dia corresponde a aproximadamente 1,9 separadores que poderiam ser deslocados para desempenhar outras atividades na empresa, permitindo reduzir os custos de operação da seleção de ordens.

5.2. Métodos de Agrupamento

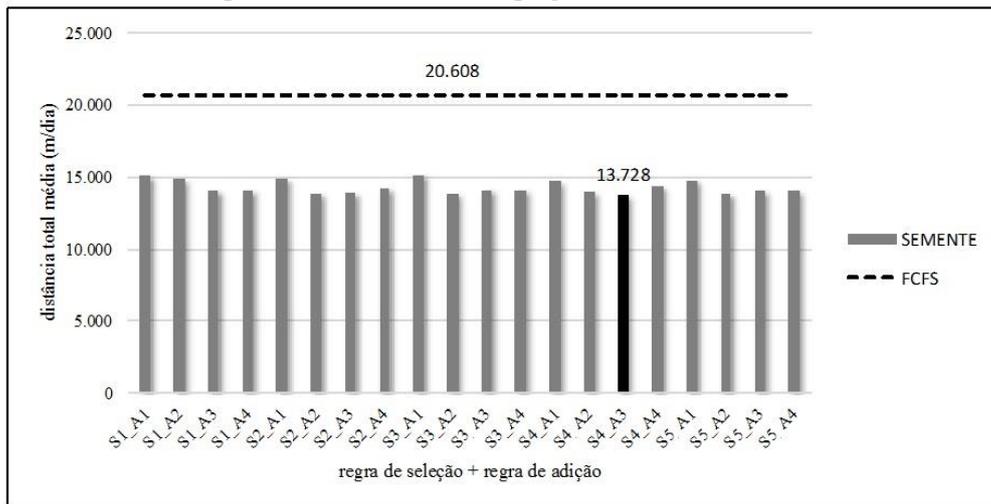
Para analisar o impacto das soluções obtidas pelos métodos de agrupamento (semente), foi realizado um experimento comparando-se todas as 20 combinações possíveis entre as regras de seleção e adição apresentadas na Seção 4.2 (5 regras de seleção * 4 regras de adição). Para isso, todas as ordens geradas durante o mês de agosto de 2015 foram, sequencialmente, agrupadas por data/transportadora, agrupadas de acordo com cada uma das combinações e, por fim, roteirizadas de acordo com o método do maior intervalo com *layout* atual e método S com *layout* ajustado. As escolhas dessas duas combinações de agrupamento/roteirização foram feitas baseando-se nos melhores resultados obtidos nos experimentos anteriores.

Para o método S com *layout* ajustado, a combinação entre a regra de seleção S4 e a regra de adição A3 possui o melhor desempenho dentre todas as combinações testadas, resultando em uma distância total média para o mês analisado de, aproximadamente, 13.700m (3,7% menor do que a média das combinações). Já para o método do maior intervalo com *layout* atual, a combinação entre a regra de seleção S4 e a regra de adição A1 foi a que apresentou o melhor desempenho, com distância total média de, aproximadamente, 14.500m. Os resultados de todas as combinações testadas para o método S e o método do maior intervalo são apresentados, respectivamente, nas Figuras 11 e 12.

Com o propósito de comparar os resultados apresentados por esse novo método de agrupamento com os resultados apresentados pelo critério usado pela empresa, outro experimento foi realizado com ambas as combinações de regras, juntamente com seus respectivos métodos de roteirização, para todas as ordens geradas no período de janeiro a agosto de 2015. Esse experimento permite mensurar quais os ganhos estimados com a implantação dos métodos de roteirização e agrupamento propostos no presente trabalho. Ambos os métodos

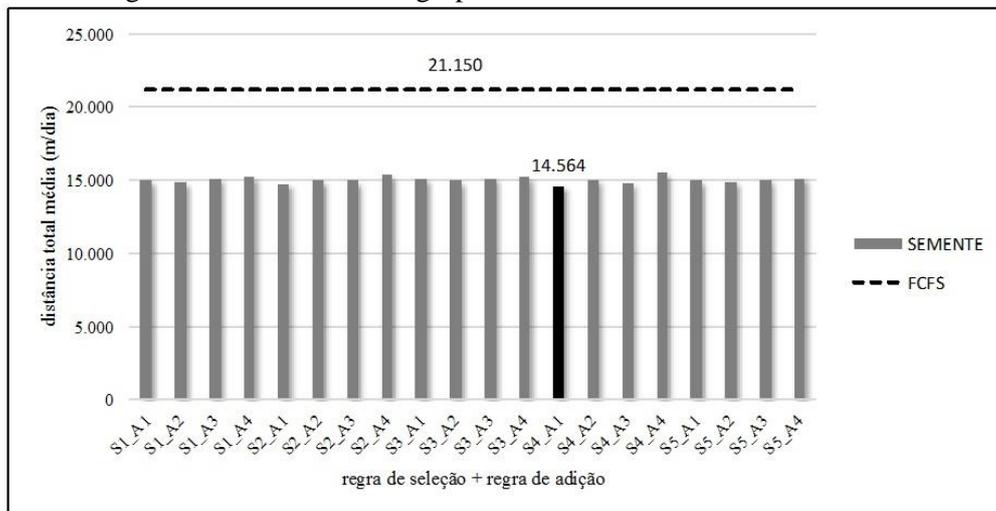
testados apresentaram reduções substanciais na distância total percorrida por dia. Os resultados do experimento são apresentados na Tabela 2.

Figura 11. Resultado dos agrupamentos – método S.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 12. Resultado dos agrupamentos – método do maior intervalo.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 2. Distância total média das soluções de agrupamento/roteirização.

roteirização / agrupamento	FCFS (atual)		SEMENTE	
	distância total média (m/dia)	diferença em relação ao cenário atual	distância total média (m/dia)	diferença em relação ao cenário atual
Algoritmo do maior intervalo (layout atual)	21.150	-5,2%	14.484 (S4/A1)	-35,1%
Algoritmo S (layout ajustado)	20.608	-7,6%	13.345 (S4/A3)	-40,2%
Lógica atual	22.300	-	-	-

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em um primeiro cenário, a aplicação do método do maior intervalo (roteirização) com o método semente através das regras S4/A1 (agrupamento) e sem modificações de *layout* resultou

em rotas 35% menores do que as atuais. Em um segundo cenário, onde há a aplicação do método S com o método semente dado pelas regras S4/A3 e a adição de uma rua de cruzamento ao fundo do armazém, as rotas obtidas foram ainda melhores, apresentando redução de 40% na distância total percorrida.

A partir desses resultados, percebe-se a importância do desenho e planejamento dos fatores internos e externos de um sistema de separação e o impacto destes no desempenho geral do mesmo. Nesse contexto, considerando o segundo cenário apresentado, estima-se um aumento de produtividade de até 20% na separação de ordens (50% do tempo da operação de separação de ordens é despendido no deslocamento), podendo representar uma redução de R\$120.000 por ano em gastos com salários e encargos, de acordo com a direção da empresa.

6. Conclusão

Neste trabalho, foram implementados e testados diferentes métodos de solução para o agrupamento de ordens e roteirização de coleta de um *e-commerce* de móveis no interior de São Paulo, buscando melhorar a eficiência dessas operações no armazém.

Para o problema de roteirização foram testados dois dos mais utilizados métodos apresentados na literatura: método S e método do maior intervalo. Ambos os métodos foram adaptados para atender às especificidades da empresa estudada. Já para o problema de agrupamento de ordens, testaram-se 20 variações do método semente através da escolha de diferentes regras de seleção e adição de ordens. Todos os métodos foram implementados em linguagem VBA e integrados a uma planilha eletrônica, de modo a viabilizar o uso dos métodos pelos funcionários da empresa.

Para o problema de roteirização, os métodos propostos apresentaram rotas, em média, 5% menores do que as apresentadas pelo método atualmente utilizado pela empresa. Além disso, com a adição de mais uma rua de cruzamento ao fundo do armazém, os métodos S e do maior intervalo apresentaram rotas, respectivamente, 7,6% e 6,6% menores do que as que seriam utilizadas pela empresa.

Para a implementação combinada dos métodos de agrupamento e roteirização, as duas soluções propostas apresentaram rotas substancialmente menores do que as atuais. A implementação do método S com alterações no *layout* e do agrupamento de ordens pelas regras S4/A3 apresentou rotas 40% menores do que as atuais. Já a implementação do método do maior intervalo sem alterações no *layout* e do agrupamento de ordens pelas regras S4/A1 apresentou rotas 35% menores do que as atuais. Estima-se que a implantação desses resultados possa resultar em uma economia de, aproximadamente, R\$120.000 por ano para a empresa.

Dado o grande crescimento do mercado de varejo online no Brasil e a constante necessidade de aumento de produtividade e redução de custos, o presente trabalho tem o potencial de contribuir com empresas inseridas nesse cenário, pois apresenta soluções com aplicabilidade e possível redução de custos. Além disso, acredita-se contribuir para a literatura de separação de ordens, que possui atualmente uma pequena quantidade de publicações que abordam soluções combinadas de roteirização e agrupamento de ordens aplicados a casos reais.

Como proposta para trabalhos futuros, sugere-se que outros métodos de roteirização (combinado, combinado+ e ótimo) e de agrupamento de ordens (algoritmos de economias) sejam implementados e analisados devido aos bons resultados apresentados em outras publicações. Do ponto de vista da aplicação, sugere-se a substituição da quantidade de volumes pela cubagem total do grupo como limitador para adição de novas ordens, pois elimina o risco de um grupo de ordens exceder a capacidade real do transportador.

Agradecimentos. Os autores agradecem aos revisores anônimos pelas sugestões, que certamente contribuíram para a melhoria do texto. Também, são gratos ao apoio da FAPESP por meio dos projetos 2013/07375-0 e 2014/00939-8.

Referências

- Bukchin, Y., Khmelnitsky, E. e Yakuel, P. Optimizing a dynamic order-picking process. *European Journal of Operational Research*, v. 219, n. 2, p. 335-346, 2012.
- Choe, K. e Sharp, G. P. *Small parts order picking: design and operation*. 1991. Disponível em: <<http://www2.isye.gatech.edu/~mgoetsch/cali/Logistics%20Tutorial/order/article.htm>>. Acesso em: 05/2015.
- De Koster, M. B. M. Warehouse assessment in a single tour. In: Lahmar, M. *Facility Logistics. Approaches and Solutions to Next Generation Challenges*. Nova Iorque: Auerbach Publications - Taylor & Francis Group, 2008. p. 39-60.
- De Koster, R., Le-Duc, T. e Roodbergen, K. J. Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, v. 182, n. 2, p. 481-501, 2007.
- De Koster, M. B. M., Van Der Poort, E. S. e Wolters, M. Efficient orderbatching methods in warehouses. *International Journal of Production Research*, v. 37, n. 7, p. 1479-1504, 1999.
- Gademann, N. e Van de Velde, S. L. Order batching to minimize total travel time in a parallel-aisle warehouse. *IIE Transactions*, v. 37, n. 1, p. 63-75, 2005.
- Goetschalckx, M. e Ashayeri, J. Classification and design of order picking. *Logistics World*, v. 2, n. 2, p. 99-106, 1989.
- Goetschalckx, M. e Ratliff, H. D. Order picking in an aisle. *IIE Transactions*, v. 20, n. 1, p. 53-62, 1988.
- Henn, S. Algorithms for on-line order batching in an order picking warehouse. *Computers & Operations Research*, v. 39, n. 11, p. 2549-2563, 2012.
- Henn, S., Koch, S. e Wäscher, G. Order batching in order picking warehouses: A survey of solution approaches. In: Manzini, R. (Ed.). *Warehousing in the Global Supply Chain*. Londres: Springer, 2012. p. 105-137.
- Le-Duc, T. *Design and control of efficient order picking processes*. Tese (Doutorado) – Erasmus Research Institute of Management, Erasmus University, Rotterdam, Holanda, 2005.
- Lin, C.-C., Kang, J.-R., Hou, C.-C. e Cheng C.-Y. Joint order batching and picker Manhattan routing problem. *Computers & Industrial Engineering*, v. 95, p. 164-174, 2016.
- Menéndez, B., Pardo, E. G., Alonso-Ayuso, A., Molina, E. e Duarte, A. Variable neighborhood search strategies for the order batching problem. *Computers & Operations Research*, v. 78, p. 500-512, 2017.
- Pansart, L., Catusse, N. e Cambazard, H. *Exact algorithms for the picking problem*. Relatório Técnico HAL-01481915, 2017. Disponível em: <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01481915>>. Acesso em: 03/2017.
- Petersen, C. G. An evaluation of order picking routing policies. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 17, n. 11, p. 1098-1111, 1997.
- Ratliff, H. D. e Rosenthal, A. S. Order-picking in a rectangular warehouse: A solvable case of the traveling salesman problem. *Operations Research*, v. 31, n. 3, p. 507-521, 1983.

Roodbergen, K. J. *Layout and routing methods for warehouses*. Tese (Doutorado) – Erasmus Research Institute of Management, Erasmus University, Rotterdam, Holanda, 2001.

Ross, D. F. Warehouse management. In: Ross, D. F. (Aut.) *Distribution Planning and Control: Managing in the Era of Supply Chain Management*, 3ª edição. Springer, 2015. p. 605-685.

Scholz, A., Henn, S., Stuhlmann, M. e Wäscher, G. A new mathematical programming formulation for the single-picker routing problem. *European Journal of Operational Research*, v. 253, n. 1, p. 68-84, 2016.

Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A. e Tanchoco, J. M. A. *Facilities planning*. 3ª edição. Hoboken: John Wiley and Sons, 2003. 760 p.

Valle, C. A., Beasley, J. E. e da Cunha A. S. Modelling and solving the joint order batching and picker routing problem in inventories. In: *Anais do ISCO 2016: Combinatorial Optimization*, Vietri sul Mare, Itália. Springer, 2016. LNCS, v. 9849, p. 81-97.

Vaughan, T. S. The effect of warehouse cross aisles on order picking efficiency. *International Journal of Production Research*, v. 37, n. 4, p. 881-897, 1999.

Won, J. e Olafsson, S. Joint order batching and order picking in warehouse operations. *International Journal of Production Research*, v. 43, n. 7, p. 1427-1442, 2005.

Yu, M. e De Koster, R. The impact of order batching and picking area zoning on order picking system performance. *European Journal of Operational Research*, v. 198, n. 2, p. 480-490, 2009.