



ABORDAGEM BASEADA EM MODELAGEM EXATA PARA A SOLUÇÃO DO PICKER ROUTING PROBLEM

Andrey Alayo Hidalgo Schulz (PPGOLD/GTAO/UFPR) a13_ahs@hotmail.com
Cassius Tadeu Scarpin (PPGOLD/GTAO/UFPR) cassiusts@gmail.com

Resumo

Apresenta-se, neste artigo, uma aplicação real de uma abordagem de solução baseada em um modelo exato para o Problema de Roteamento do Separador de *Picking* (*Picker Routing Problem* - PRP), em uma rede varejista do setor supermercadista. O PRP consiste em determinar o trajeto mais curto a ser percorrido por um separador, em um Centro de Distribuição (CD), para realizar a coleta manual dos produtos contidos em um pedido ou lista de separação (romaneio). O objetivo é aplicar um modelo de Programação Linear Inteira Mista (PLIM), encontrado na literatura, e comparar os resultados obtidos com o método atual utilizado na empresa, a heurística S-Shape. Para isso, foram coletados dados de pedidos reais para um determinado período, organizados pela quantidade de itens em cada pedido e de acordo com a distribuição da localização física destes itens em relação ao leiaute do CD para assim, gerar os 43 cenários de testes. Em 88,4% dos testes, a abordagem proposta obteve melhores resultados, gerando rotas com distâncias menores. Nos outros 11,6%, ambos os métodos retornaram o mesmo resultado. A redução da distância média percorrida foi de 6,81%. A abordagem proposta resolveu 65,12% dos testes em até 15 minutos, considerado tempo aceitável pelos gestores da empresa estudo de caso. Para os 34,88% dos testes resolvidos acima de 15 minutos, sugeriu-se um pré-processamento para redução do tempo, com menor perda possível de qualidade da solução. Assim, considerou-se vantajoso a aplicação da proposta de solução do PRP em relação a técnica S-Shape aplicada pela empresa.

Palavras-Chaves: Centro de Distribuição (CD). *Picker Routing Problem* (PRP). Problema de Programação Linear Inteira Mista (PLIM).

1. Introdução

As Operações de uma Cadeia de Suprimento são um conjunto de processos repetidos várias vezes ao longo do canal de suprimento por meio do qual matérias primas são convertidas em produtos finais e o valor é agregado aos olhos de clientes ao disponibilizar estes no local (onde) e na data (quando) desejados (BALLOU, 2001).

Diante disso, a Gestão da Cadeia de Suprimentos (ou *Supply Chain Management* – SCM) abrange o planejamento e a gestão de todos esses processos, incluindo a coordenação e colaboração entre os parceiros comerciais e integrando a gestão do fornecimento e demanda dentro e dentre empresas (CSCMP, 2013).

No contexto de integração, parcial ou total, entre os mercados locais, gerada pela globalização, a concorrência entre as empresas intensificou-se e estas se viram obrigadas a trabalhar com margens reduzidas, tornando assim imperativo o aperfeiçoamento em suas condições operacionais (ÂNGELO e SIQUEIRA, 2000).

Nesse sentido, considera-se que um bom SCM impacta positivamente no diferencial competitivo de uma organização (KULAK et al, 2012). Ressalta-se que um importante aspecto é o gerenciamento de um Centro de Distribuição (CD) (GENG et al, 2005) e suas atividades, considerado um dos fatores chaves para o cumprimento do alinhamento estratégico em toda a cadeia (CHOPRA e MEINDL, 2003).

O CD é a instalação de armazenamento de produtos entre o ponto de oferta e o ponto de demanda e de distribuições destes produtos (KOSTER et al, 2007). Possui como funções básicas: o recebimento, o armazenamento, o *picking* (ou coleta de pedidos) e a expedição (VAN GILS et al, 2018).

Dallari et al (2008) afirmam que cada vez mais o *picking* toma posição de destaque na SCM, pois é a atividade mais onerosa (KOSTER & POORT, 2015), com custos que podem representar de 50% (TOMPKINS, 2010) a 75% de um CD (COYLE et al, 1996).

Esta atividade se subdivide e os respectivos percentuais do seu tempo total são, aproximadamente: deslocamento (50%), busca (20%), coleta (15%), setup (10%) e outras (5%) (TOMPKINS, 2010). Assim, nota-se que o deslocamento representa grande parcela do tempo de *picking*.

Dessa forma, encontrar uma maneira de reduzir a distância de deslocamento para coleta de um pedido se tornou uma questão relevante (GENG et al, 2005) que atrai a atenção de pesquisas acadêmicas e de profissionais da área.

Nesse sentido, o *Picker Routing Problem* (PRP) pode ser entendido como o problema que busca minimizar o trajeto total (SCHOLZ et al, 2016) de coleta de itens por meio da organização da melhor sequência de coleta destes (GU et al, 2007).

Assim sendo, o objetivo de diminuir os custos operacionais, proporcionar agilidade na execução do *picking* e alavancar a produtividade do CD pode ser alcançado com o uso de técnicas de otimização de Pesquisa Operacional (PO) (SCARPIN & STEINER).

Mesmo com a extensa literatura a respeito de roteamento de separadores, aplicar abordagens gerais do problema em condições e configurações de CD específicas, considerando projetos e

políticas operacionais singulares tipicamente encontradas no mercado, não é tão simples (ISLER et al, 2016).

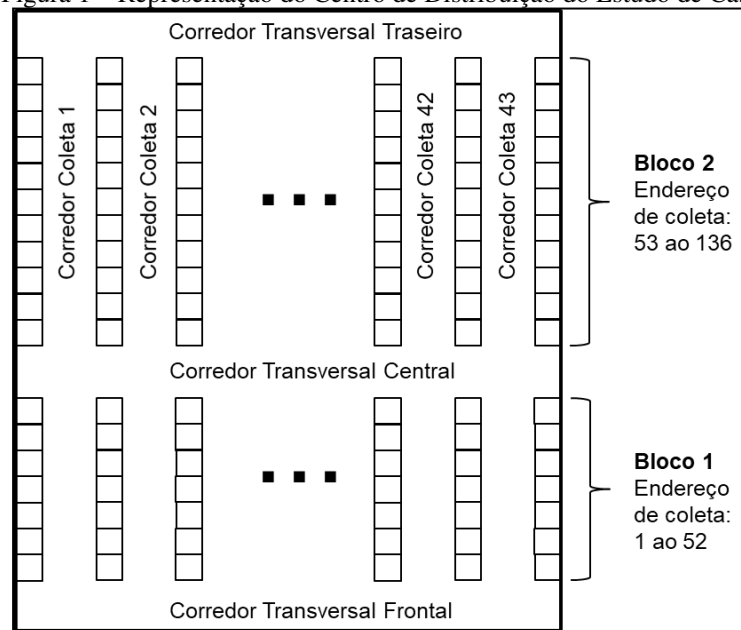
Nesse contexto, este trabalho tem por interesse o problema real de roteirização de separadores em um CD proveniente de uma loja varejista do setor supermercadista com objetivo de minimizar o deslocamento dos separadores (*pickers*). A contribuição deste trabalho é resolver um problema prático de PRP utilizando um modelo exato encontrado na literatura, analisar e descrever as vantagens operacionais e competitivas ao aplicar técnicas de otimização na separação de *picking*.

Este trabalho está dividido em 5 seções. A segunda seção está reservada para apresentar a empresa de estudo. A terceira destina-se a discutir sobre a metodologia empregada no trabalho para alcançar o objetivo proposto. A quarta seção aborda os resultados obtidos com suas respectivas discussões. E por fim, a quinta seção traz a conclusão deste trabalho.

2. Estudo de Caso

A empresa em estudo possui mais de 50 lojas, entre super e hipermercados, distribuídos em dois estados do Sul do País e é considerada uma das 10 maiores do Brasil. O leiaute aproximado do CD da empresa pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 – Representação do Centro de Distribuição do Estudo de Caso



Fonte: O Autor (2021)

Por meio dos corredores transversais é possível entrar e sair dos corredores de coleta. Os corredores de coletas principais são aqueles que atravessam todo CD (SCHOLZ &

WÄSCHER, 2017). A parcela do CD localizada entre dois corredores transversais é chamada de bloco. Nesse CD, os responsáveis pela coleta iniciam e finalizam o trajeto de coleta em um mesmo ponto, chamado de *depot* (SCHOLZ & WÄSCHER, 2017), neste caso considerado no canto inferior esquerdo.

A análise do CD foi em 2 blocos, 43 corredores de coleta, 3 corredores transversais (frontal, central e traseiro) e 136 endereços de *picking* (coleta) por corredor (ruas). São feitos pedidos diários das lojas para o CD.

Existem conceitos importantes para serem esclarecidos com o intuito de facilitar o entendimento da metodologia utilizada neste trabalho, são eles: (a) Produto: material com descrição e preço único no sistema da empresa; (b) Endereço: local físico onde um produto é armazenado; (c) Heurística S-Shape: método de coleta atualmente utilizado que considera que para todos corredores com algum produto para coleta, o *picker* deverá atravessá-lo por completo, formando um “zigue-zague” nos corredores que possuem produto a ser coletado.

3. Metodologia

Este trabalho enquadra-se como uma pesquisa de investigação exploratória, abordagem quantitativa e natureza aplicada, com instrumento de pesquisa de campo realizada na empresa objeto de estudo. Os dados de doze dias de *picking*, foram obtidos do banco de dados da empresa e recebidos via arquivos eletrônicos. Assim, foi proposto uma abordagem alternativa de tomada de decisão para o roteamento de *picking*, baseado no modelo de Programação Linear Inteira Mista (PLIM) encontrado na literatura em Scholz et al (2016). Esta escolha foi feita, pois, se trata de um modelo matemático que não cresce exponencialmente em função da quantidade de produtos para coleta, e sim, em função da quantidade de corredores envolvidos na coleta, isto é, polinomialmente

Os dados de entrada e o resultado atual da empresa para o problema abordado são conhecidos *a priori*. Nesse sentido, o estudo se foca na aplicação do método proposto para resolução do problema e na comparação entre as respostas da empresa e as obtidas com a abordagem matemática proposta.

Essa abordagem compõe-se por três etapas, onde primeiramente se faz um pré-tratamento dos dados reais, para posteriormente resolver os cenários de teste do problema e por fim, comparar os resultados. As três etapas propostas são descritas com mais detalhes nas subseções seguintes.

3.1. Pré-processamento

Fase desenvolvida por meio da interpretação feita do artigo de Scholz et al (2016) e visa tratar os dados brutos coletados para servirem como parâmetros do modelo exato. Para que a formulação matemática esteja completa é necessário que apenas os dados referentes ao endereço do produto sejam considerados.

Considerando isso e a estrutura do grafo do trabalho base, pode-se determinar os arcos (distâncias entre os vértices), uma vez que os endereços de coleta dos produtos representam os vértices. Essas distâncias, calculadas pela métrica da distância Manhattan, são utilizadas como parâmetros no modelo matemático. O pré-processamento define qual a maior distância (*Largest GAP*) existente no corredor, que por vezes pode ser entre dois produtos ou entre um produto e um corredor transversal adjacente. Além disso, esta fase define o parâmetro *M* do modelo, que representa a quantidade de vértices do grafo.

Outros parâmetros importantes para o modelo e intrínsecos ao CD são: (a) Distância entre o *depot* e o local de entrada do primeiro corredor de coleta, utilizou-se 2 metros; (b) Distância entre dois locais de coleta, utilizou-se 1,2 metros; (c) Distância entre corredor transversal e primeiro endereço de coleta do corredor, utilizou-se 5 metros; (d) Distância entre dois corredores de coleta adjacentes, utilizou-se 5 metros.

Após o cálculo de todas as distâncias e parâmetros citados anteriormente, para todos os corredores de coleta, o modelo matemático pôde ser construído exatamente como apresentado em Scholz et al (2016).

3.2. Processamento

Fase de obtenção da solução relacionada a formulação matemática. Nesta etapa, o roteamento para a coleta de todos os produtos foi realizado. Os dados de pedidos reais da empresa, que totalizaram 12 dias de pedido, foram organizados levando-se em conta particularidades do modelo matemático e particularidades do leiaute do CD para gerar os 43 cenários de teste.

Como o modelo matemático é dedicado apenas para CD monobloco e a análise do trabalho focou em dois blocos, a lista de pedidos foi separada em dois, uma para cada bloco, assim como é feita atualmente na empresa.

Outra particularidade é que o modelo matemático cresce em função da quantidade de corredores considerados para cálculo e caso todos fossem considerados juntos no problema, o tempo computacional necessário para obtenção de uma solução aumentaria. Assim, utilizando

a mesma prática da empresa, para fins de comparação de resultados, decidiu-se separar os produtos por corredores de uma maneira que estes fossem bem delimitados como se fossem “um único bloco”. Isso pode ser visto no Anexo A: Quadro com Cenários de Testes.

3.3. Pós-processamento

Nesta fase, os resultados obtidos por meio do método atual da empresa (S-Shape) foram comparados com os resultados obtidos por meio da abordagem aplicada neste trabalho. Comparou-se a distância total da rota determinada por cada um dos métodos para coletar todos os produtos requisitados em uma lista de pedido. Nesta etapa, calcula-se, de forma simulada computacionalmente, a distância percorrida ao aplicar a heurística S-Shape. Com ambos os resultados, os valores foram tabelados e comparados pela diferença absoluta e percentual.

4. Resultados e Discussões

Ambos os métodos de resolução do PRP foram desenvolvidos em linguagem de programação C# em ambiente Microsoft Visual Studio 2019© e foi utilizado o solver comercial Gurobi©, com parâmetros padrões, para resolução dos testes.

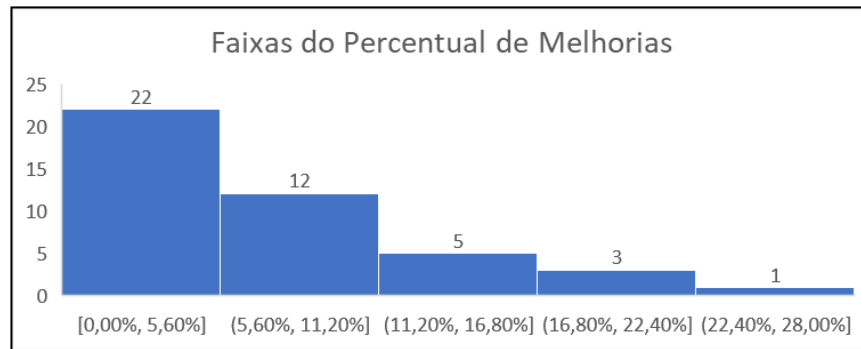
Os experimentos computacionais foram realizados em um computador com sistema operacional Microsoft Windows 10, processador Intel© Core™ i3-6100U CPU @ 2,30GHZ 2,30GHZ, memória RAM de 4GB e de 64 bits. Cada cenário de teste, foi resolvido pelos dois métodos (modelo matemático e S-Shape) com um tempo limite máximo para resolução de 21600 segundos (6 horas). Este é o tempo considerado atualmente pela empresa, uma vez que entre a liberação de pedidos no sistema automático e o início da separação de *picking*, possui esse tempo disponível. Nesse intervalo há outras atividades realizadas pela empresa, os quais não são objetos de estudo neste trabalho.

Para realização dos testes e das comparações dos resultados entre os métodos, duas suposições foram feitas: (a) Conceito de Sub-blocos: para os testes realizados com o modelo matemático, o bloco do CD foi repartido em um sub-bloco (Anexo A) com menor quantidade de corredores; (b) A quantidade mínima de corredores considerada para os testes foi cinco, devido às características do modelo.

Dos 43 testes realizados, 38 deles (88,4%) mostraram que os resultados obtidos pelo modelo foram melhores que os resultados do S-Shape. Os 5 testes remanescentes (11,6%), indicaram

resultados iguais entre os métodos. A faixa de melhorias obtidas ficou entre 0,1% a 22,41%. Esses valores foram plotados no gráfico da Figura 2.

Figura 2 – Distribuição do percentual de melhorias dos testes



Fonte: O Autor (2021)

O gráfico da Figura 2 apresenta que 51,2% dos testes obtiveram melhorias até 5,6% (22 testes). Todavia, o interessante para a empresa são melhorias mais significativas, aquelas que ficam acima de 5,6%. Isto se evidencia pelas demais categorias, ou seja, 48,8% dos testes (21 testes) apresentam esta dimensão de melhoria.

As definições das Tabelas de resultados são: (Zs) Valor final do teste obtido pelo método S-Shape; (Zm) Valor final do teste obtido pelo modelo matemático; (% Melhoria) Porcentagem de melhoria do resultado obtido pelo modelo em relação ao resultado obtido pelo S-Shape; (Diferença) Diferença entre o resultado obtido pelo S-Shape em relação ao resultado obtido pelo modelo; (T(s)) Tempo, em segundos, obtido para a resolução total do problema (todas as 3 etapas da metodologia).

A Tabela 1 apresenta as melhorias em termos de deslocamento evitado pelo modelo em relação a solução do S-Shape, para cada um dos 12 dias analisados, relativos ao Bloco 1. Ressalta-se que para este bloco, não houve pedido no 9º dia.

Do total de vinte e um testes (ou pedidos), nove deles tiveram resultados maiores que 5%, totalizando 23,86%. Ademais, a melhoria média gerada pelo modelo no período foi de 6,15%.

Tabela 1 – Melhorias no Bloco 1

Dia	Teste	Zs	Zm	% Melhoria	Diferença	T (s)
1	1	694	694	0,00%	0	25,75
2	3	1284	1203,2	6,29%	80,8	7125,44
2	4	884	844	4,52%	40	142,72
3	7	1094	1060,4	3,07%	33,6	217,71
3	8	714	666,4	6,67%	47,6	76,32
4	11	1204	1156,4	3,95%	47,6	1800,3
4	12	644	620	3,73%	24	126,51
5	15	1114	989,2	11,20%	124,8	1066,9
5	16	804	628,4	21,84%	175,6	42,56
6	19	1224	1166	4,74%	58	993,56
6	20	884	844	4,52%	40	166,61
7	23	1204	1163,2	3,39%	40,8	1068,88
7	24	884	811,6	8,19%	72,4	95,8
8	27	1124	1101,6	1,99%	22,4	385,28
8	28	282	431,6	10,83%	52,4	14,33
10	32	1104	1104	0,00%	0	2273,39
10	33	804	742,8	7,61%	61,2	152,16
11	36	1184	1101,2	6,99%	82,8	180,45
11	37	644	530,4	17,64%	113,6	18,9
12	40	1294	1267,6	2,04%	26,4	481,58
12	41	794	794	0,00%	0	11273,62
Consolidado		20064	18920	6,15%	1144,0	-
		(total)	(total)	(média)	(total)	

Fonte: O Autor (2021)

Verificou-se que para o período, seriam economizados 1144 metros a serem percorridos no Bloco 1. Ao se dividir este valor, pelo maior trajeto definido pelo modelo, de 1267,6 metros do teste 40, seria possível acomodar aproximadamente um pedido extra (similar ao pedido do teste 40). Vale salientar que este pedido extra, refere-se ao total de 21 pedidos atribuídos ao Bloco 1, ou seja, representa 4,76% do total de pedidos deste Bloco, e conseqüentemente, indica um aumento de 4,76% na capacidade de coleta de pedidos.

Da mesma forma, ao dividir os mesmos 1144 metros economizados, pelo menor trajeto, de 431,6 metros do teste 28, seria possível acomodar aproximadamente três pedidos extras similares ao teste 28. Estes três pedidos extras representam 14,29% do total de pedidos para o Bloco e, conseqüentemente, um aumento de 14,29% da capacidade de coleta. Sendo assim, a aplicação da abordagem do trabalho permitiria a acomodação de, aproximadamente, um a três pedidos extras. Isso representa um aumento médio na capacidade produtiva de separação de 4,76% a 14,29% da atividade do *picking*, para o Bloco 1.

Analogamente, na Tabela 2 pode ser visto uma análise semelhante para o Bloco 2. Do total de vinte e dois testes (ou pedidos), treze deles geraram melhorias maiores que 5%, totalizando 59,09% dos testes. Em termos de melhoria média geral, alcançou-se o valor de 7,44% para o período analisado. Para o Bloco 2, a distância total economizada foi de 2121,4 metros percorridos.

Ao dividir esse valor, pelo maior trajeto, de 1886,8 metros percorridos (teste 42), estima-se, aproximadamente, um pedido extra a mais possível de ser acomodado no Bloco 2, representando um aumento de 4,54% da capacidade de coleta.

Tabela 2 – Melhorias no Bloco 2

Dia	Teste	Zs	Zm	% Melhoria	Diferença	T (s)
1	2	1091,2	1026	5,98%	65,2	44,28
2	5	1971,6	1864	5,46%	107,6	7500,64
2	6	1229,6	1170,4	4,81%	59,2	90,47
3	9	1793,2	1639,2	8,59%	154	796,16
3	10	1229,6	1022,8	16,82%	206,8	104,63
4	13	1793,2	1724,8	3,81%	68,4	1022,01
4	14	1229,6	1051,6	14,48%	178	93,09
5	17	1654,8	1525,4	7,82%	129,4	1443,65
5	18	1229,6	954	22,41%	275,6	14,66
6	21	1921,6	1790	6,85%	131,6	11916,15
6	22	1229,6	1214,8	1,20%	14,8	1340,15
7	25	1654,8	1654,8	0,00%	0	2050,59
7	26	1229,6	1157,2	5,89%	72,4	76,35
8	29	1654,8	1579,2	4,57%	75,6	8287,4
8	30	756	666,4	11,85%	89,6	13,87
9	31	726	639,6	11,90%	86,4	17,33
10	34	1654,8	1654,8	0,00%	0	819,18
10	35	1111,2	997,2	10,26%	114	131,08
11	38	1654,8	1600	3,31%	54,8	504,9
11	39	1229,6	1087,2	11,58%	142,4	162,22
12	42	1941,6	1886,8	2,82%	54,8	3421,82
12	43	1229,6	1188,8	3,32%	40,8	312,64
Consolidado		31216,4	29095	7,44%	2121,4	-
		(total)	(total)	(média)	(total)	

Fonte: O Autor (2021)

Considerando-se o menor trajeto, de 639,6 metros (teste 31), estima-se a aproximadamente mais três pedidos extras possíveis de serem acomodados. Isto representa um aumento de 13,65% da capacidade de coleta do Bloco 2. Sendo assim, seria possível acomodar, aproximadamente, um a três pedidos extras. Isso representa um aumento médio na capacidade produtiva de separação de 4,54% a 13,65%, para o Bloco 2.

Ao analisar os resultados de forma agrupada para os dois blocos, obteve-se uma melhoria geral média de 6,81%. Este percentual representa uma economia de 3265,4 metros percorridos. Entre todos os 43 testes (ou pedidos), 21 deles (ou 48,8% do total) geraram melhorias maiores que 5%, evidenciado os ganhos pela abordagem proposta neste trabalho.

Em relação a quantidade de pedidos, chegou-se aos valores de, aproximadamente, dois a seis pedidos extras, em relação aos 43 pedidos considerados. Isso representa um aumento da capacidade de coleta de 4,7% a 14,0% no *picking*.

O tempo considerado aceitável para resolução dos problemas é de até 15 minutos. Na Tabela 3, evidencia-se que o processamento computacional para obtenção da resposta ótima, em cada

modelo criado, foi adequado e considerado um tempo aceitável pela empresa estudo de caso. Além disso, apresenta a informação de que 65,12% de todos os testes realizados foram solucionados dentro dos 15 minutos aceitáveis (valor obtido pela soma das três primeiras categorias).

Tabela 3 – Compilação dos resultados referentes ao tempo computacional para obtenção da resposta

Teste (min)	Quantidade de Testes	% Total
0 – 5 min	23	53,49%
5 – 10 min	3	6,98%
10 – 15 min	2	4,65%
> 15 min	15	34,88%

Fonte: O Autor (2021)

Dos 34,88% de testes com mais de 15 minutos para resolução, equivalente a 15 testes, apenas um deles possuía 17 corredores envolvidos. Todos os demais possuíam 23 ou mais corredores. Essa situação corrobora com o que foi afirmado em Scholz et al (2016), ou seja, quanto maior a quantidade de corredores, mais tempo leva para resolver o problema. A discussão da complexidade do teste em relação a dificuldade de obtenção da solução ótima do modelo não faz parte deste trabalho. Entretanto, sugere-se esse estudo em novas pesquisas correlacionadas.

Como forma de contornar essa situação de longo tempo de processamento e visando a resolução de todos os testes abaixo de 15 minutos, faz-se a seguinte sugestão: (a) (conceito de Sub-Blocos) separar os testes grandes em menores partes para diminuir a quantidade de corredores envolvidos e, por consequência, diminuir o tempo de resolução. Acredita-se que com essa manobra, os grandes testes seriam divididos em outros dois ou mais com quantidade de corredores iguais ou menores a 17 corredores e seriam resolvidos abaixo dos mesmos 15 minutos, com pouca perda de generalidade e de resultado final.

5. Conclusão

Com base nos dados de 12 dias de pedidos para separação de itens de *picking* em um CD real definiu-se a geração de testes a serem utilizados para fins de comparação de abordagem metodológica. Considerou-se o leiaute do CD de 2 blocos, baseado na empresa estudo de caso. A empresa utiliza o tradicional método S-Shape como abordagem para resolver o sequenciamento de *picking*. Ao todo, 43 testes foram resolvidos, dos quais a abordagem baseada no modelo matemático de Scholz et al (2016) apresentou resultados melhores em 88,4% e os demais 11,6% apresentaram resultados iguais entre os métodos. A faixa percentual de melhoria ficou ente 0,1% a 22,41%.

Em termos de distância percorrida, a economia gerada pela rota definida pela abordagem proposta, para o Bloco 1, proporcionou a acomodação de aproximadamente entre um a três pedidos extras. Ou seja, em relação aos 21 pedidos do Bloco 1, o ganho representa um aumento de capacidade de *picking* entre 4,76% a 14,29%.

Similarmente no Bloco 2, a economia gerada proporcionou um aumento de capacidade de coleta entre 4,54% a 13,65%, o que equivaleria a atender aproximadamente de um a três pedidos extras, em relação ao total de 22 pedidos do Bloco 2.

Considerando os resultados de forma unificada, a distância total economizada equivale ao atendimento de dois a seis pedidos extras, em relação ao total de 43 testes. Sendo assim, o ganho direto obtido com a abordagem proposta gera uma melhoria na capacidade de separação de *picking* entre 4,7% a 14,0% para a empresa analisada.

Como tem-se limitação de tempo para o processamento matemático necessário para obtenção das soluções, a abordagem proposta gastou em 65,12%, no máximo 15 minutos, considerado um prazo aceitável pela empresa. Dos outros 34,88% que levaram mais que 15 minutos de processamento computacional, apenas um teste possuía 17 corredores envolvidos. Todos os demais possuíam mais de 22 corredores. Esta evidencia indica que utilizar a metodologia com menos de 17 corredores envolvidos em um problema, o torna uma alternativa viável para obtenção de resultados em um prazo aceitável.

Sugere-se então para situações com mais de 17 corredores, aplicar o conceito de sub blocos e redividir os testes em dois ou mais testes menores, com menor ou igual quantidade de 17 corredores cada e assim, obter a solução dentro do prazo considerado como aceitável

Diante dos resultados obtidos, considerou-se efetiva a abordagem que implica na aplicação do modelo matemático de Scholz et al (2016) para resolver o problema de separação de *picking* aumentando a capacidade de coleta do CD dentro do tempo considerado como aceitável. Em casos de pedidos envolvendo mais que 17 corredores, a sugestão proposta permite diminuir o tempo de processamento computacional para obtenção da solução. Sugere-se para trabalhos futuros a aplicação comparativa entre outros métodos, bem como a aplicação da abordagem proposta em computação paralela para identificação da capacidade computacional em relação ao tamanho do problema a ser resolvido. Assim como, testar em outros *frameworks* computacionais, como processamento em nuvem ou em computadores com maiores capacidades de processamento.

REFERÊNCIAS

- ÂNGELO, C. F.; SIQUEIRA, J. P. L. Avaliação das condições logísticas para a adoção do ECR nos supermercados brasileiros. *RAC-Revista de Administração Contemporânea*. v.4, n.3, p. 89-106. Set./Dez. 2000.
- BALLOU, R. H.. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Planejamento, Organização e Logística Empresarial*. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 532 p
- CHOPRA, S.; MEINDL, P. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Estratégia, Planejamento e Operações*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2003. 465 p.
- COUNCIL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PROFESSIONALS (CSCMP). *Glossary*, 2013. Disponível em:
<https://cscmp.org/CSCMP/Academia/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx?hkey=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921>. Acesso: 25 jan. 2020
- COYLE, J.J., BARDI, E.J., LANGLEY, C.J., 1996. *The Management of Business Logistics*, 6th Edition. West Publishing, St. Paul, MN.
- DALLARI, F.; MARCHET, G.; MELACINI, M. Design of order picking system. *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, [s.l.], v. 42, n. 1-2, p.1-12, 17 jun. 2008. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-008-1571-9>.
- GENG, Y.; LI, Y.; LIM, A.. A very large-scale neighborhood search approach to capacitated warehouse routing problem. *17th Ieee International Conference On Tools With Artificial Intelligence (ictai'05)*, [s.l.], p.3-10, 2005. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/ictai.2005.21>.
- GU, J.; GOETSCHALCKX, M.; MCGINNIS, L. F.. Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European Journal Of Operational Research*, [s.l.], v. 177, n. 1, p.1-21, fev. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2006.02.025>.
- ISLER, C. A.; RIGHETTO, G. M.; MORABITO, R.. Optimizing the order picking of a scholar and office supplies warehouse. *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, [s.l.], v. 87, n. 5-8, p.2327-2336, 23 mar. 2016. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-016-8625-1>.
- KOSTER, R. DE; LE-DUC, T.; ROODBERGEN, K. J. Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal Of Operational Research*, [s.l.], v. 182, n. 2, p.481-501, out. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2006.07.009>.
- KOSTER, R. DE; POORT, E. VAN DER. Routing orderpickers in a warehouse: a comparison between optimal and heuristic solutions. *Iie Transactions*, [s.l.], v. 30, n. 5, p.469-480, maio 1998. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/07408179808966487>. (TOMPKINS, 2010) Math Works, Inc. MATLAB. Available in: <<http://www.mathworks.com/>> Access Date: 01/05/2015. 2015
- KULAK, O.; SAHIN, Y.; TANER, M. E. Joint order batching and picker routing in single and multi-ple-cross-aisle warehouses using cluster-based tabu search algorithms. *Flexible Services And Manufacturing Journal*, [s.l.], v. 24, n. 1, p.52-80, 19 jun. 2012. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s10696-011-9101-8>.
- SCARPIN, C. T.; STEINER, M. T. A. ; A Methodology for Replenishment of Products on Supermarket Sector. *Advanced Materials Research (Online)*, v. 945-949, p. 2915-2923, 2014.
- SCHOLZ, A. et al. A new mathematical programming formulation for the Single-Picker Routing Problem. *European Journal Of Operational Research*, [s.l.], v. 253, n. 1, p.68-84, ago. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2016.02.018>.
- SCHOLZ, A.; WÄSCHER, G.. Order Batching and Picker Routing in manual order picking systems: the benefits of integrated routing. *Central European Journal Of Operations Research*, [s.l.], v. 25, n. 2, p.491-520, 31 jan. 2017. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s10100-017-0467-x>.

TOMPKINS, J. A.; et. al. 2010. Facilities Planning, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.

VAN GILS, T.; et al. Increasing order picking efficiency by integrating storage, batching, zone picking, and routing policy decisions. International Journal Of Production Economics, [s.l.], v. 197, p.243-261, mar. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.11.021>

ANEXO A – QUADRO COM CENÁRIOS DE TESTE

Dia	Teste	Descrição	Quantidade de Produtos do Pedido	Faixa de Corredores
1	1	Bloco 1	622	13 a 26
1	2	Bloco 2	1086	13 a 27
2	3	Bloco 1a	1094	5 a 29
2	4	Bloco 1b	832	27 a 43
2	5	Bloco 2a	1905	3 a 34
2	6	Bloco 2b	1284	27 a 43
3	7	Bloco 1a	122	5 a 26
3	8	Bloco 1b	54	28 a 43
3	9	Bloco 2a	199	3 a 28
3	10	Bloco 2b	95	27 a 43
4	11	Bloco 1a	133	5 a 29
4	12	Bloco 1b	45	27 a 43
4	13	Bloco 2a	217	3 a 28
4	14	Bloco 2b	60	27 a 43
5	15	Bloco 1a	70	5 a 28
5	16	Bloco 1b	41	27 a 43
5	17	Bloco 2a	111	3 a 26
5	18	Bloco 2b	63	27 a 43
6	19	Bloco 1a	1048	5 a 31
6	20	Bloco 1b	796	27 a 43
6	21	Bloco 2a	1811	3 a 26
6	22	Bloco 2b	1235	27 a 43
7	23	Bloco 1a	875	5 a 29
7	24	Bloco 1b	376	27 a 43
7	25	Bloco 2a	1481	3 a 26
7	26	Bloco 2b	571	27 a 43
8	27	Bloco 1a	119	5 a 29
8	28	Bloco 1b	27	27 a 43
8	29	Bloco 2a	197	3 a 26
8	30	Bloco 2b	35	27 a 43
9	31	Bloco 2	65	13 a 26
10	32	Bloco 1a	379	4 a 26
10	33	Bloco 1b	163	27 a 43
10	34	Bloco 2a	433	3 a 26
10	35	Bloco 2b	178	27 a 43
11	36	Bloco 1a	161	21 a 43
11	37	Bloco 1b	23	3 a 24
11	38	Bloco 2a	171	3 a 26
11	39	Bloco 2b	84	27 a 43
12	40	Bloco 1a	1161	3 a 28
12	41	Bloco 1b	817	28 a 43
12	42	Bloco 2a	2037	3 a 31
12	43	Bloco 2b	1291	27 a 43