

COMBINANDO MCDA E SED PARA A AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS DE PROJETO DE ARMAZÉNS

**Lucas Eric da Silva (Depto. Engenharia de Engenharia de
Produção - UFSCAR-So)**
lucas_eric@hotmail.com

**KAIQUE DORATIOTTO (Departamento de Engenharia de
Produção - EESC - USP)**
kaiquedor@gmail.com

**João Eduardo Azevedo Ramos da Silva (Depto. Engenharia de
Engenharia de Produção - UFSCAR-So)**
jesilva@ufscar.br

**José Geraldo Vidal Vieira (Depto. Engenharia de Engenharia de
Produção - UFSCAR-So)**
jose-vidal@ufscar.br



Decisões a respeito do layout e políticas de controle operacionais são importantes no projeto do armazém e refletem no nível de serviço prestado a jusante da cadeia de suprimentos e custos operacionais. Estas decisões estão fortemente inter-relacionadas e

Palavras-chave: Projeto de armazéns; MCDA; SED; Layout; Políticas de controle operacionais

1. Introdução

Orientado pela constante demanda dos clientes por serviços mais rápidos, melhores e mais baratos, a eficiência das operações do armazém se tornam cruciais no atual mercado competitivo (CHEN et al., 2010). Em armazéns manuais, a operação de separação de pedidos é a mais trabalhosa e dispendiosa, podendo chegar a até 55% do total dos custos operacionais do armazém (KOSTER; LE-DUC; ROODBERGEN, 2007), e determina o nível de serviço experimentado pelos clientes a jusante da cadeia de suprimentos. Sua produtividade depende fortemente do sistema de armazenagem, do *layout* e das políticas de controle operacionais (PETERSEN, 1999), considerados importantes decisões do projeto do armazém (ROODBERGEN; VIS; TAYLOR, 2015) e que se encontram em diferentes níveis de decisão (ROUWENHORST et al., 2000).

Uma vez que as decisões a respeito do projeto do armazém encontram-se em diferentes níveis de planejamento e há um forte inter-relacionamento entre elas, há uma necessidade de analisá-las de maneira simultânea (ALTARAZI; AMMOURI, 2018). Concomitantemente, a característica multicriterial do projeto do armazém (VIEIRA et al., 2017) e as condições estocásticas das suas operações (SHQAIR; ALTARAZI; AL-SHIHABI, 2014) demanda uma análise das alternativas de projeto por meio de MCDA (Multiple Criteria Decision Analysis ou Análise de Decisão Multicritério) e modelagem de simulação.

Assim, este estudo propõe uma metodologia de avaliação, classificação e seleção de alternativas de layout e alternativas das políticas de controle operacionais, frente a critérios relativos ao nível de serviço, custos e porcentagem de utilização dos recursos, considerando os objetivos da empresa. Além disso, é considerado a questão do congestionamento na operação de separação dos pedidos. Para tal, é utilizado a técnica de simulação de eventos discretos (SED) em conjunto com a técnica MCDA SMARTER (Simple Multi-Attribute Rating Technique Exploiting Ranks). Planejamento de cenário também é utilizado dentro da técnica MCDA para auxiliar a avaliação das alternativas em cenários favoráveis e não favoráveis, devido às incertezas da atividade de separação.

2. Revisão da literatura

Decisões estratégicas como o layout (GILS et al., 2017), táticas como as políticas de controle de estocagem e separação, e operacional como a política de controle de roteirização (ROUWENHORST et al., 2000) são interdependentes e uma afeta a outra (KOSTER; LE-DUC; ROODBERGEN, 2007). Assim, um determinado layout ou política de controle de estocagem pode ter um bom desempenho com determinadas estratégias de roteirização, mas ruim com outras. Nos tópicos 2.1 a 2.2 são apresentadas as decisões e alternativas quanto a layout e políticas operacionais.

2.1. Layout

A tomada de decisão a respeito do layout é uma das mais importantes do projeto do armazém e para muitas empresas a sua mudança depois de instalado se torna onerosa ou praticamente impossível. O projeto do layout interno da área de armazenagem/separação aborda as decisões a respeito da quantidade e localização das docas, quantidade e dimensões (comprimento e largura) dos corredores de separação, bem como a utilização de corredores cruzamento (PETERSEN; AASE, 2017). Uma decisão importante a respeito do layout é seu arranjo físico que pode ser classificado como layout vertical, horizontal ou fishbone (ALTARAZI; AMMOURI, 2018).

De acordo com os últimos autores, a combinação de diferentes arranjos físicos de layout em conjunto com diferentes políticas de controle operacionais e outros fatores como o tamanho da lista de separação, a adoção de corredores de cruzamento, o tamanho (ou capacidade) do armazém, o volume de pedidos, entre outros, resultarão em diferentes desempenhos nas atividades do armazém.

2.2. Políticas de controle operacionais

As políticas de controle operacional comandam as operações diárias do armazém (ROODBERGEN; VIS; TAYLOR, 2015). Entre outras, destacam-se a política de estocagem, a política de separação e a política de roteirização (KOSTER; LE-DUC; ROODBERGEN, 2007).

2.2.1. Políticas de estocagem

As políticas de estocagem determinam qual produto deve ser estocado em qual locação dentro do armazém (PETERSEN, 1999). Possíveis alternativas para esta política são: dedicada, aleatória e baseada em classes. Koster, Le-duc e Roodbergen (2007) relatam que na política de estocagem dedicada cada produto é estocado em uma locação fixa dentro do armazém. Já na política de estocagem aleatória, cada produto é designado a uma locação vazia aleatoriamente, considerando que todas as locações tem a mesma probabilidade de ser utilizada.

A política de estocagem baseada em classes compreende-se entre a dedicada e a aleatória. Há uma divisão dos produtos em classes de acordo com as suas demandas de separação e estes produtos são estocados aleatoriamente em suas respectivas classes dentro do armazém (PETERSEN; AASE, 2017). Uma maneira clássica de se dividir os produtos baseados em sua popularidade, é utilizar o método de Pareto. A ideia básica é alocar os produtos mais frequentemente requisitados nas locações com melhor acesso dentro armazém. No layout, as classes ABC podem ser distribuídas conforme as alternativas: diagonal, perímetro, *across-aisle* e *within-aisle*, em relação ao ponto de início e fim da rota de separação. Cada alternativa de política de estocagem tem suas vantagens e desvantagens, e afetam consideravelmente o desempenho do armazém. Sua escolha deve levar em consideração, além das outras políticas, a questão do tamanho da lista de separação, o volume de pedidos, o congestionamento, a utilização dos recursos, etc.

2.2.2. Políticas de separação

A política de separação está relacionada ao agrupamento ou não dos pedidos dos clientes em uma lista de separação (ALTARAZI; AMMOURI, 2018) e a destinação destes a um ou mais separadores (ROUWENHORST et al., 2000). Diferentes alternativas podem ser empregadas, como por exemplo: separação por zona, por onda, por lote ou a mais comum, a separação discreta (PETERSEN; AASE, 2017).

A separação discreta consiste na separação de um pedido único por um único separador, enquanto que a separação por zona consiste na divisão do espaço de armazenagem em zonas de separação e à cada zona é designado um ou mais separadores que separam os pedidos somente em suas respectivas zonas. Já separação por lote atribui um grupo de pedidos que deve ser separado simultaneamente em uma única viagem a um separador. Por fim, um caso especial da separação por lote é a separação por onda, onde os separadores separam grandes lotes de pedidos não se baseando na quantidade de itens ou pedidos, mas em um período de tempo pré-determinado.

A eficiência do processo de separação está intimamente ligada às políticas de separação, roteirização e estocagem, uma vez que o emprego das políticas de separação podem melhorar o tempo, a utilização dos recursos e as distâncias percorridas na atividade de separação nas mais diversas combinações com as políticas de estocagem e roteirização, configuração dos corredores, tamanhos de pedidos, o congestionamento de múltiplos separadores, entre outros fatores (FRANZKE et al., 2017).

2.2.3. Políticas de roteirização

Embora alterar uma política de estocagem ou de separação proporcione maiores reduções no tempo de separação, a troca de políticas de roteirização também pode oferecer reduções (PETERSEN; AASE, 2004). A decisão da roteirização e sequenciamento nas operações de movimentação de um armazém determinam a melhor rota e a sequência de locações para a separação e ou estocagem de um dado conjunto de produtos, geralmente com o objetivo de minimização dos custos de manuseio ou minimizar as distâncias percorridas pelos separadores (PETERSEN; AASE, 2017).

Possíveis alternativas podem variar de simples heurísticas a algoritmos ótimos e podem ser classificados em: transversal, retorno, ponto médio, maior distância, composta e ótima (PETERSEN, 1999). Cada alternativa possui vantagens e desvantagens em relação ao tamanho da lista de separação, quantidade de corredores de cruzamento, velocidade do separador, tempo de coleta, facilidade de aplicação, etc.

2.3. Análise conjunta do layout e políticas de operações

A escolha da melhor combinação entre o tipo de layout e as políticas de controle operacionais dependerá das reais condições de operação do armazém e objetivos da empresa (GILS et al., 2018). Shqair, Altarazi e Al-shihabi (2014) relatam que as operações internas do armazém são naturalmente estocásticas, uma vez que pedidos possuem diferentes quantidades de linhas e diferentes itens por linha para se coletar. Além disso, pode-se citar o congestionamento entre separadores (HEATH; CIARALLO; HILL, 2013), o tempo entre chegada dos pedidos, a variação do volume de pedidos, bem como o tempo de coleta de cada item. Isto indica que a simulação é o método ideal para lidar com as avaliações de desempenho do armazém já na sua fase de projeto, podendo avaliar cenários com variações no perfil dos pedidos, crescimento da demanda, etc. (BAKER; CANESSA, 2009).

Estudos revelam a aplicação com sucesso da simulação para estudar o desempenho do armazém sob diferentes condições de projeto, abordando simultaneamente diferentes combinações das alternativas de duas ou mais decisões quanto a layout e políticas de controle operacionais. Todavia, a abordagem do congestionamento tem sido negligenciada pela maioria destes estudos. Este é um fator importante no desempenho das operações internas do armazém, principalmente naqueles layouts de corredores estreitos onde múltiplos separadores trabalham simultaneamente (ELBERT et al., 2017; FRANZKE et al., 2017).

A literatura de armazenagem sobre separação de pedidos considera principalmente minimizar o tempo ou a distância percorrida como o único objetivo. Por outro lado, o projeto do armazém demanda a avaliação de outros critérios/objetivos tais como custos totais (operacional e investimento), uso dos recursos (espaço, equipamentos e trabalhadores) e nível de serviço (KOSTER; LE-DUC; ROODBERGEN, 2007). Além disso, os gerentes de armazém, em uma cadeia de suprimentos, precisam ir além do desempenho unidimensional e considerar *trade-offs* entre diferentes critérios (CHEN et al., 2010) de modo a alinhar as medidas de eficiência do armazém com os requisitos do cliente, uma vez que iniciativas para melhorar um dos critérios anteriormente citados podem impactar negativamente outro critério

(CHACKELSON et al., 2013). Logo, o projeto do armazém pode ser caracterizado como um problema multicritérios com objetivos conflitantes (nível de serviço x custo, por exemplo) e muitas alternativas para análise e seleção (VIEIRA et al., 2017).

2. Metodologia

A metodologia compreende 7 etapas conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Metodologia		
Etapa	Objetivo	Métodos
1 - Entendimento do problema	Identificar o propósito (objetivo) do modelo MCDA e SP e o tomador de decisão	Nestas três etapas, foram realizadas entrevista com o tomador de decisão envolvido no problema. Estas etapas também tiveram suporte da literatura
2 - Identificação dos critérios e alternativas	Identificar os critérios relevantes para o problema de decisão (estrutura hierárquica de objetivos)	
3 - Identificação das principais incertezas	Identificar as principais incertezas da atividade de separação de pedidos do armazém	
4 - Desenvolvimento dos cenários	Identificar os cenários plausíveis pelos quais a atividade de separação de pedidos pode passar	Conforme Ram, Montibeller e Morton (2011)
5 - Desenvolvimento do Modelo de Simulação	Desenvolver um modelo de simulação para representar a atividade de separação de pedidos do armazém.	Conforme Law e Kelton (1991) por meio do <i>software</i> ARENA
6 - Aplicação do MCDA	Capturar a preferência do tomador de decisão em relação aos critérios	SMARTER por meio do <i>software</i> VISA
	Verificar como cada alternativa se desempenha frente aos critérios	Modelo SED por meio do <i>software</i> ARENA e SMARTER por meio do <i>software</i> VISA
7 - Identificação da alternativa mais robusta e fazer uma escolha	Calcular a robustez de cada alternativa	Conforme Ram, Montibeller e Morton (2011)

Fonte: Dos autores

Nas etapas 1, 2 e 3, os critérios, as alternativas (Tabela 2) e as incertezas que ocorrem na atividade de separação de pedidos são levantados por meio de uma revisão da literatura para posterior validação com o TD conforme uma entrevista semiestruturada. Para a elaboração da estrutura hierárquica de objetivos seguiu-se as cinco propriedades elencadas por Keeney e Raiffa (1993): integralidade, operacionalidade, decomponível, ausência de redundância e tamanho mínimo.

Tabela 2 – Alternativas para validação		
Alternativas	Níveis	Descrição
Layout	2	(1) Vertical

Alternativas	Níveis	Descrição
		(2) Horizontal
Política de estocagem	4	(1) Aleatória (2) <i>Within-aisle</i> (3) <i>Across-aisle</i> (4) Diagonal
Política de separação	2	(1) Discreta (2) Por lote (FCFS)
Política de roteirização	2	(1) Transversal (2) Retorno

Fonte: Dos autores

Na etapa 4 são montados os cenários conforme análise morfológica proposta por Ram, Montibeller e Morton (2011). Na etapa 5, o modelo de simulação foi elaborado seguindo-se as sub etapas: formulação do problema; coleta de dados e construção do modelo conceitual; modelagem computacional; verificação e validação; projeto dos experimentos e análise dos dados de saída (LAW; KELTON, 1991). Para a modelagem computacional, utilizou-se o *software* ARENA®.

Já na etapa 6, para o levantamento dos pesos de cada critério, O TD que avalia os critérios conforme uma entrevista semiestruturada. Após, as preferências pelos critérios são convertidas em pesos ROC (*Rank Order Centroid*)(EDWARDS; BARRON, 1994). Em seguida, mede-se o desempenho de cada alternativa em cada cenário (RAM; MONTIBELLER; MORTON, 2011) por meio de funções de valores(GOODWIN; WRIGHT, 2004). Logo, é feita uma média ponderada dos desempenhos atribuídos a essa alternativa em cada critério, considerando os pesos de cada critério (GOODWIN; WRIGHT, 2001). Isso permite ver como uma alternativa se desempenha em todos os critérios juntos em cada cenário. O cálculo é feito conforme o método SMARTER (GOODWIN; WRIGHT, 2004) porém considerando cenários (RAM; MONTIBELLER; MORTON, 2011), com auxílio do *software* *Visual Interactive Sensitivity Analysis - V.I.S.A*®.

Por fim, na etapa 7, a análise de robustez procura uma alternativa que possua um desempenho estável entre todos os cenários e que esteja próxima do desempenho ideal (MONTIBELLER; GUMMER; TUMIDEI, 2006). Montibeller, Gummer e Tumidei (2006) relatam que uma maneira de avaliar a robustez das alternativas é calcular a distância, para cada cenário, entre o desempenho de uma dada alternativa e desempenho ideal (100). Os autores informam que quanto maior for esta distância, menos robusta será aquela alternativa para aquele cenário. Como medida geral da robustez, os autores sugerem adotar a robustez do cenário menos robusto (ou seja, o pior caso), chamando esta medida de *robustez entre cenários*, o qual é adotado neste trabalho para escolha da alternativa mais robusta.

4. Resultados

A metodologia proposta é exemplificada utilizando dados reais de um armazém atacadista de peças automotivas, com faturamento médio mensal de R\$ 4 milhões e 1.777 linhas separadas por dia. A área do armazém sob avaliação é de 420 m² e corresponde a área de armazenagem de itens de porte médio e pequeno, onde cada arranjo físico de layout resultaria em diferentes aproveitamentos da área quanto a capacidade de armazenagem. O perfil do TD considerou os critérios e as alternativas como validos para o problema de decisão em questão.

A Tabela 3 resume as incertezas e os níveis considerados, onde as distribuições empíricas foram obtidas por meio da coleta de dados para elaboração do modelo de simulação. Logo, por exemplo, o cenário MMM diz respeito a todos as incertezas em seu melhor nível.

Tabela 3 – Incertezas e cenários

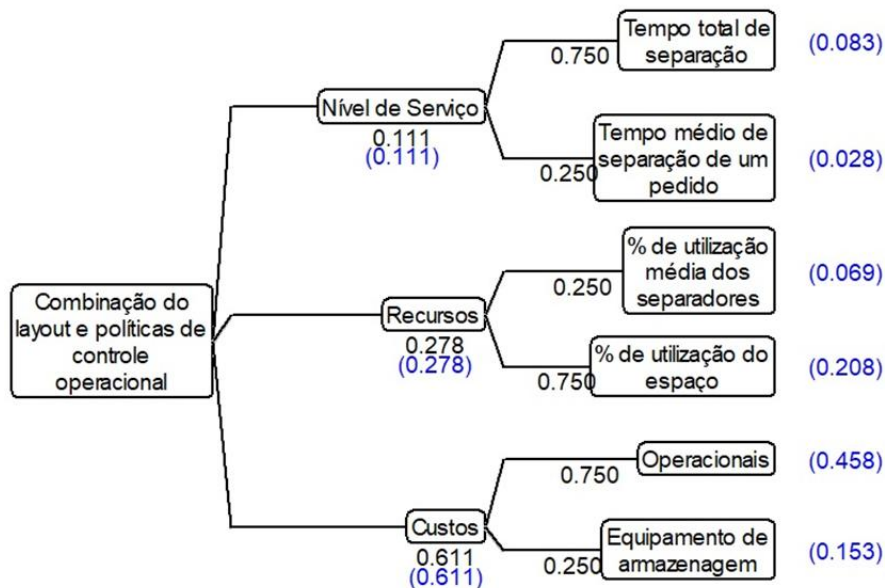
Incerteza	TLS (unidades)	TEC dos pedidos (minutos)	Demanda
Melhor	Distribuição Empírica	1,2 constante	Projeto (valores do TEC dos pedidos)
Pior	1+Distribuição Empírica	Distribuições de probabilidade teórica	Aumento de 20%

Fonte: Dos autores

O modelo de simulação foi executado por um período de 30 dias para cada alternativa em cada cenário. Em cada experimento foram considerados fixos: a quantidade e a taxa de disponibilidade dos separadores, o período do turno de separação, o tempo de coleta de uma linha (distribuição empírica) e a velocidade de caminhada.

A execução da etapa 6 seguiu os procedimentos explicados na metodologia quanto a hierarquização dos critérios conforme as preferências do tomador de decisão (Figura 1), a avaliação de cada alternativa para cada critério em função das preferências do tomador de decisão por meio das funções de valores, e a avaliação geral de cada alternativa frente a todos os critérios e cenários (Tabela 4).

Figura 1 – Estrutura hierárquica de objetivos e critérios



Fonte: Dos autores

Tabela 4 – Desempenho de cada alternativa em cada cenário

Desempenho geral das alternativas								
Alternativas	Cenários							
	MMM	PMM	MPM	MMP	PPP	MPP	PMP	PPM
1111	73	73	73	91	91	91	92	73
1112	72	73	75	91	91	89	92	72
1121	72	72	71	90	90	88	91	75
1122	72	72	73	90	90	90	91	73
1211	73	75	73	93	82	91	83	73
1212	73	75	71	92	79	90	79	71
1221	72	73	73	91	89	90	92	72
1222	72	73	72	91	88	91	88	74
1311	72	73	73	90	91	90	91	75
1312	72	72	72	90	91	90	91	70
1321	72	72	72	90	91	90	91	72
1322	71	72	71	90	90	89	90	71
1411	73	73	72	91	91	89	92	72
1412	72	73	72	90	91	91	91	73
1421	72	72	72	90	89	90	91	72
1422	72	72	74	90	90	90	91	72
2111	77	78	54	95	80	76	96	54
2112	77	79	54	96	79	70	96	55
2121	76	78	56	95	77	72	96	56
2122	76	78	56	95	80	72	96	53
2211	78	80	53	93	77	68	81	51
2212	78	79	57	93	75	72	78	54
2221	76	79	54	93	81	70	93	53
2222	76	75	55	92	78	72	93	54
2311	77	79	56	95	78	73	97	55
2312	76	78	52	95	81	70	96	55
2321	76	78	54	95	77	72	96	50
2322	76	77	56	94	79	72	95	53
2411	77	79	57	96	79	71	94	53
2412	77	78	53	95	82	72	96	51
2421	76	78	54	95	79	70	96	56
2422	76	77	53	95	80	70	96	56

Fonte: Dos autores

Devido à grande quantidade de alternativas, foi feita uma codificação para tornar mais simples a identificação. Por meio da Tabela 1, por exemplo, a alternativa com índice “1111” refere-se ao *layout* vertical, política de estocagem aleatória, política de separação discreta e política de roteirização transversal.

O cálculo da alternativa mais robusta foi feito conforme o indicador robustez entre cenários (MONTIBELLER; GUMMER; TUMIDEI, 2006). Um resumo da robustez entre cenários encontra-se na Tabela 5, onde as alternativas são classificadas por sua robustez em ordem crescente.

Tabela 5 – Resumo da robustez entre cenários

Robustez entre cenários	Alternativas	Total
27	1111 1211	2
28	1112 1122 1221 1222 1311 1321 1411 1412 1421 1422	10
29	1121 1212 1322	3
30	1312	1
44	2121	1
45	2311	1
46	2111 2112 2212 2222 2421	5
47	2122 2221 2322 2411 2422	5
48	2312	1
49	2211 2412	2
50	2321	1

Fonte: Dos autores

É possível observar que duas alternativas possuem a melhor robustez entre cenários (27 pontos), ou seja, se desempenham melhor entre os cenários propostos que as demais alternativas. Ambas alternativas utilizam *layout* vertical (índice 1), política de separação discreta (índice 1) e política de roteirização transversal (índice 1). Todavia, diferem quanto a política de estocagem que é aleatória na primeira alternativa (índice 1) e por classes do tipo *within aisle* na segunda alternativa (índice 2). Logo, somente diferem quanto a uma decisão de nível tático e de difícil alteração, já que mudar a política de estocagem demanda uma grande movimentação de materiais dentro do armazém e isto pode afetar seu desempenho. Trabalhos anteriores têm baseado a escolha das políticas de controle operacionais e *layout* somente em um critério. Por exemplo, uma escolha baseada somente em um hipotético critério “distância percorrida”, objetivando a menor distância (GILS et al., 2017; PETERSEN, 2000, 2002; PETERSEN; AASE, 2017; PETERSEN; SCHMENNER, 1999; ROODBERGEN; VIS; TAYLOR, 2015; SHQAIR; ALTARAZI; AL-SHIHABI, 2014), induziria o TD à alternativa “1221” (Tabela A1 - Anexo), que tem 28 pontos como desempenho no indicador robustez entre cenários. Embora esta última alternativa tenha um desempenho próximo das melhores, a escolha baseada somente na menor distância percorrida não abordaria a problemática do congestionamento. Embora ocorra um *trade-off* entre os subcritérios “custo do equipamento de armazenagem” e “% de utilização do espaço”, as alternativas que contam com o *layout* horizontal não obtiveram um desempenho satisfatório quanto ao indicador analisado (≥ 44 pontos), evidenciando a superioridade do *layout* vertical sob as condições analisadas, ou seja, os cenários avaliados, os critérios utilizados, as preferências do TD e o banco de dados do concessionário utilizado. Todavia, utilizando somente o critério tempo de ciclo do item e outras condições diferentes da utilizadas nesta dissertação, Altarazi e Ammouri (2018) identificaram a superioridade do *layout* horizontal frente a outros arranjos de *layout*.

5. Conclusão

Conclui-se que a metodologia proposta se mostrou adequada para a avaliação, classificação e seleção de alternativas de *layout* e alternativas das políticas de controle operacionais, considerando o *trade-off* entre os objetivos da empresa e o comportamento estocástico das operações do armazém.

Outros trabalhos propuseram uma metodologia de avaliação, classificação e seleção de políticas de controle operacionais e *layout* simultaneamente. Todavia, Chen et al. (2010) e Roodbergen, Vis e Taylor (2015) não consideraram diferentes políticas de separação. Também não consideraram alternativas de arranjo físico do *layout*, mas sim quantidade de

corredores. Ainda, não consideram a temática do congestionamento com múltiplos separadores. Todavia, os primeiros autores utilizam a combinação do método MCDA e simulação de Monte Carlo, provando a eficiência da combinação destes métodos. Embora, a técnica SMARTER tenha se mostrado aplicável, pode não ser adequada para problemas com poucos critérios. Neste caso, como trabalhos futuros, a técnica de *Swing Weight* será aplicada e o desempenho será avaliado. A adoção de SP permitiu ao TD incorporar as incertezas plausíveis que cercam o problema e assim poder avaliar as alternativas em diferentes cenários de modo a selecionar a mais robusta. Já a técnica SED mostrou-se adequada para o auxílio na avaliação dos critérios de natureza dinâmica. No entanto, entende-se como limitação do trabalho a não avaliação de outras alternativas de *layout* e políticas operacionais, bem como a abordagem de outros processos de movimentação interna (recebimento, estocagem e despacho).

REFERÊNCIAS

- ALTARAZI, S. A.; AMMOURI, M. M. Concurrent manual-order-picking warehouse design: a simulation-based design of experiments approach. **International Journal of Production Research**, v. 7543, n. January, p. 1–19, 2018.
- BAKER, P.; CANESSA, M. Warehouse design: A structured approach. **European Journal of Operational Research**, v. 193, n. 2, p. 425–436, 2009.
- CHACKELSON, C. et al. Evaluating order picking performance trade-offs by configuring main operating strategies in a retail distributor: A Design of Experiments approach. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 20, p. 6097–6109, 2013.
- CHEN, C. M. et al. A flexible evaluative framework for order picking systems. **Production and Operations Management**, v. 19, n. 1, p. 70–82, 2010.
- EDWARDS, W.; BARRON, F. H. Smarts and smarter: Improved simple methods for multiattribute utility measurement. **Organizational Behavior and Human Decision Processes**, v. 60, n. 3, p. 306–325, 1994.
- ELBERT, R. M. et al. The effects of human behavior on the efficiency of routing policies in order picking: The case of route deviations. **Computers and Industrial Engineering**, v. 111, p. 537–551, 2017.
- FRANZKE, T. et al. An investigation of the effects of storage assignment and picker routing on the occurrence of picker blocking in manual picker-to-parts warehouses. **International Journal of Logistics Management**, v. 28, n. 3, p. 841–863, 2017.
- GILS, T. VAN et al. Designing efficient order picking systems by combining planning problems: State-of-the-art classification and review. **European Journal of Operational Research**, v. 267, n. 1, p. 1–15, 2017.
- GILS, T. VAN et al. Increasing order picking efficiency by integrating storage, batching, zone picking, and routing policy decisions. **International Journal of Production Economics**, v. 197, n. November 2017, p. 243–261, 2018.
- GOODWIN, P.; WRIGHT, G. Enhancing Strategy Evaluation in Scenario Planning: a Role for Decision Analysis. **Journal of management studies**, v. 38, n. 1, p. 1–16, 2001.
- GOODWIN, P.; WRIGHT, G. **Decision Analysis for Management Judgment**. Chichester: Wiley, 2004.
- HEATH, B. L.; CIARALLO, F. W.; HILL, R. R. An agent-based modeling approach to analyze the impact of warehouse congestion on cost and performance. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 67, n. 1–4, p. 563–574, 2013.
- KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. **Decisions with multiple objectives—preferences and value tradeoffs**.

Cambridge & New York: Cambridge University Press, 1993.

KOSTER, R. DE; LE-DUC, T.; 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.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation modeling and analysis**. New York: McGraw-Hill, 1991. v. 2

MONTIBELLER, G.; GUMMER, H.; TUMIDEI, D. Combining scenario planning and multi- criteria decision analysis in practice. **Journal of Multi- Criteria Decision Analysis**, v. 14, n. 1–3, p. 5–20, 2006.

PETERSEN, C. G. The impact of routing and storage policies on warehouse efficiency. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 19, n. 10, p. 1053–1064, 1999.

PETERSEN, C. G. An Evaluation of Order Picking Policies for Mail Order Companies. **Production and Operations Management**, v. 9, n. 4, p. 319–335, 2000.

PETERSEN, C. G. Considerations in order picking zone configuration. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 22, n. 7–8, p. 793–805, 2002.

PETERSEN, C. G.; AASE, G. A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking. **International Journal of Production Economics**, v. 92, n. 1, p. 11–19, 2004.

PETERSEN, C. G.; AASE, G. R. Improving Order Picking Efficiency with the Use of Cross Aisles and Storage Policies. **Open Journal of Business and Management**, v. 05, n. 01, p. 95–104, 2017.

PETERSEN, C. G.; SCHMENNER, R. W. An evaluation of routing and volume-based storage policies in an order picking operation. **Decision Sciences**, v. 30, n. 2, p. 481–501, 1999.

RAM, C.; MONTIBELLER, G.; MORTON, A. Extending the use of scenario planning and MCDA for the evaluation of strategic options. **Journal of the Operational Research Society**, v. 62, n. 5, p. 817–829, 2011.

ROODBERGEN, K. J.; VIS, I. F. A.; TAYLOR, G. D. Simultaneous determination of warehouse layout and control policies. **International Journal of Production Research**, v. 53, n. 11, p. 3306–3326, 2015.

ROUWENHORST, B. et al. Warehouse design and control: Framework and literature review. **European Journal of Operational Research**, v. 122, n. 3, p. 515–533, 2000.

SHQAIR, M.; ALTARAZI, S.; AL-SHIHABI, S. A statistical study employing agent-based modeling to estimate the effects of different warehouse parameters on the distance traveled in warehouses. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 49, p. 122–135, 2014.

VIEIRA, J. G. V. et al. An AHP-based framework for logistics operations in distribution centres. **International Journal of Production Economics**, v. 187, n. June 2016, p. 246–259, 2017.

ANEXO

Tabela A1 – Distância total percorrida

Distância total percorrida (metros)									
Alternativas	Cenários								Média
	MMM	PMM	MPM	MMP	PPP	MPP	PMP	PPM	
1111	1.045.988	1.225.332	1.050.083	1.049.114	1.229.916	1.046.836	1.237.014	1.228.741	1.139.128
1112	1.084.807	1.281.271	1.088.573	1.080.633	1.289.620	1.081.731	1.282.032	1.284.013	1.184.085
1121	796.748	893.310	798.020	795.378	894.668	795.623	897.519	898.619	846.236
1122	854.906	969.736	855.595	856.690	970.298	856.307	967.383	971.044	912.745
1211	656.920	752.324	649.510	652.321	745.385	650.340	746.783	750.885	700.559
1212	699.712	812.883	704.334	696.647	810.647	697.511	811.972	810.851	755.570
1221	478.817	533.930	480.220	475.278	534.021	474.816	528.058	531.175	504.539
1222	537.995	608.112	535.524	535.972	599.949	535.799	611.062	598.286	570.337
1311	1.016.169	1.178.704	1.010.596	1.004.851	1.177.433	1.012.774	1.168.645	1.182.666	1.093.980
1312	778.173	912.306	776.397	782.126	916.551	786.226	911.510	910.322	846.701
1321	773.675	872.712	777.248	777.801	872.233	777.103	877.377	872.423	825.072
1322	591.232	670.280	592.632	596.552	671.375	597.556	670.639	668.044	632.289
1411	860.355	1.001.051	860.724	856.996	1.002.337	865.392	1.001.016	998.060	930.741
1412	704.115	829.066	699.642	699.323	824.503	699.722	829.489	826.635	764.062
1421	659.875	747.657	663.882	663.802	747.643	661.567	742.803	747.413	704.330
1422	554.231	626.328	554.270	554.551	624.888	554.615	631.020	630.405	591.289
2111	998.043	1.158.223	999.795	999.192	1.160.323	999.259	1.160.092	1.162.641	1.079.696
2112	1.041.052	1.211.383	1.035.030	1.035.541	1.212.567	1.031.451	1.209.600	1.212.642	1.123.658
2121	751.775	846.470	755.360	751.642	846.957	752.485	848.681	848.489	800.232
2122	814.706	933.055	815.864	816.826	931.878	811.451	930.779	934.698	873.657
2211	687.491	801.392	686.151	681.654	804.920	687.901	802.861	805.359	744.716
2212	713.612	838.540	713.873	685.874	839.400	683.805	836.872	837.261	768.655
2221	508.388	571.700	510.534	511.250	567.609	510.655	567.204	567.638	539.372
2222	553.005	621.770	553.213	549.607	625.198	554.385	621.500	624.023	587.838
2311	877.044	1.033.530	869.037	871.440	1.038.483	875.594	1.038.782	1.035.235	954.893
2312	652.922	744.172	651.112	653.246	747.108	650.618	743.233	744.542	698.369
2321	691.444	785.287	691.486	688.452	783.380	688.120	784.810	785.719	737.337
2322	485.341	547.449	482.480	485.590	546.778	484.987	547.199	544.443	515.533
2411	730.409	872.354	725.533	724.392	875.182	723.714	874.342	873.936	799.983
2412	612.401	716.480	610.364	609.342	716.508	606.649	720.885	713.357	663.248
2421	589.428	666.206	587.976	589.988	668.116	590.515	666.668	665.591	628.061
2422	492.643	559.937	490.331	488.110	560.991	489.452	561.217	665.591	538.534

Fonte: Dos autores