

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISES DOS RESULTADOS

O Capítulo 4 apresenta e analisa os resultados obtidos com a revisão sistemática da literatura sobre *Design* de Armazéns. O Capítulo está organizado de acordo com os grupos estabelecidos no *framework* proposto no Capítulo 2, sendo eles: *Inputs*, Desenho e Implantação e *Outputs*. Inicialmente, será apresentada um *overview* das publicações examinadas.

Como forma de organizar a apresentação e ajudar nas referências das publicações que integram a revisão sistemática, os 68 artigos selecionados estão listados e numerados na Tabela 3. Para melhor detalhamento, no Apêndice 1 a Tabela 8 foi ampliada, constante a informação do título e periódico para cada artigo.

Tabela 3: Artigos selecionados para revisão.

Lista de Artigos Final		
1. Baker e Canessa (2009)	24. Daly e Cui (2003)	47. Melachrinoudis e Min (2007)
2. Gu et al. (2010)	25. Ventura e Rieksts (2009)	48. Hammami et al. (2008)
3. Gill (2009)	26. Ventura e Lee (2001)	49. Papageorgiou (2009)
4. de Koster et al. (2007)	27. Li e Wang (2008)	50. Miranda e Garrido (2009)
5. Gu et al. (2007)	28. Lee e Lee (2010)	51. Klose et al. (2005)
6. Parikh e Meller (2008)	29. Johnson et al. (2010)	52. Mishra et al. (2011)
7. Pohl et al. (2009)	30. Dasci e Verter (2001)	53. Strack e Pocket (2010)
8. Roodbergen e Vis (2009)	31. Bidhandi et al. (2009)	54. Pan e Shih (2008)
9. Hwang e Cho (2006)	32. Santoso et al. (2005)	55. Chen (2001)
10. Ho e Shi (2008)	33. Rodriguez et al. (2007)	56. Lai et al. (2002)
11. Gagliardi et al. (2008)	34. Amiri (2002)	57. Rubrico et al. (2011)
12. Parikh e Meller (2010)	35. Lerher et al. (2010)	58. Chen et al. (2011)
13. Werner e Wülfing (2010)	36. Le-Duc e Koston (2007)	59. Le-Anh et al. (2006)
14. Van Zelst et al. (2009)	37. Jayaraman e Ross (2003)	60. Yu e Koster (2009)
15. Amiri (2006)	38. Shiau e Lee (2010)	61. Chakravorty (2009)
16. Agatz et al. (2008)	39. Miranda e Garrido (2004)	62. Rouwenhorst et al. (2000)
17. Sohn et al. (2007)	40. Hwang (2004)	63. Malmborg e Al-Tassan (2000)
18. Li et al. (2011)	41. Van Utterbeeck et al. (2009)	64. Badri (1999)
19. Onut et al. (2008)	42. Vis e Roodbergen (2011)	65. van den Berg (1999)
20. Muppani e Adil (2008a)	43. Chen et al. (2005)	66. Naraharisetti et al. (2008)
21. Chan e Chan (2011)	44. Yang et al. (2011)	67. Beamon (1999)
22. Muppani e Adil (2008b)	45. Theys et al. (2010)	68. Liggett (2000)
23. Azzi et al. (2011)	46. Hsu et al. (2005)	

4.1. OVERVIEW DAS PUBLICAÇÕES

A revisão sistemática de literatura sobre *Design* de Armazéns realizada neste trabalho compreende o estudo de publicações entre os anos de 1999 a 2011. A distribuição do volume de artigos ao longo dos anos é apresentada na Figura 5.

Volume de Artigos Coletados Por Ano

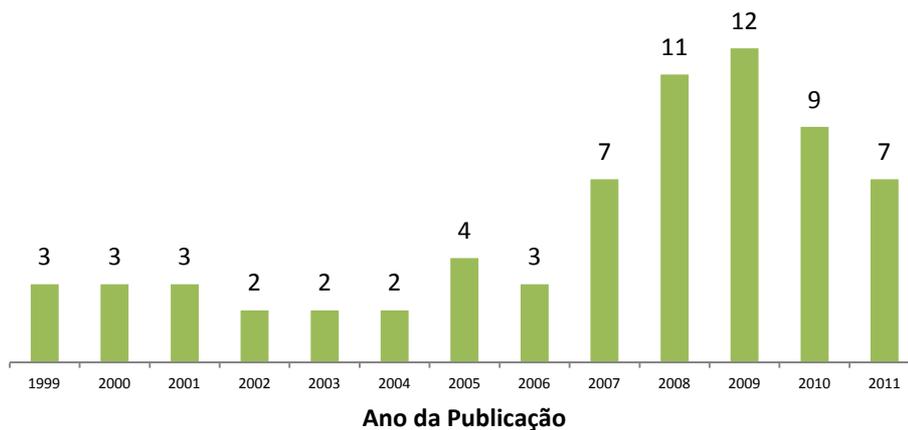


Figura 5: Volume de artigos coletados por ano sobre Design de Armazéns (1999 a 2011).

Conforme a Figura 5, o panorama das publicações coletadas mostra um patamar estável até 2006, com volume anual de 3 artigos. A partir de 2007, nota-se um salto neste quantitativo, com pico no ano de 2009, onde foram encontrados 12 artigos.

A Tabela 4 mostra a distribuição dos artigos por periódico, com grande destaque para o "*European Journal of Operational Research*", que publicou 38% do total analisado. A grande quantidade de artigos publicados por esse *journal* deve-se ao fato de que se trata de um *journal* voltado à pesquisa operacional e suporte à tomada de decisão, o que se assemelha à linha de pesquisa sobre *Design* de Armazéns. Soma-se a isso o fato de que o *journal* publica dez volumes ao ano, totalizando 130 no período da revisão de literatura, um valor bastante expressivo se comparado às demais publicações que em média veiculam 4 volumes ao ano.

Tabela 4: Distribuição dos artigos por periódico em publicação.

Periódicos	Referências conforme numeração da Tabela 1												
1. European Journal of Operational Research	[1]	[2]	[4]	[5]	[8]	[12]	[13]	[15]	[16]	[17]	[22]	[25]	[30]
	[31]	[32]	[34]	[35]	[36]	[37]	[45]	[47]	[51]	[53]	[59]	[60]	[62]
2. Computers & Industrial Engineering	[3]	[9]	[10]	[19]	[23]	[28]	[38]	[40]	[42]	[54]	[67]		
3. Int. J. Production Economics	[11]	[14]	[48]	[50]	[56]	[58]	[61]	[64]	[65]				
5. Transportation Research Part E	[6]	[7]	[33]	[39]	[41]								
6. Expert Systems with Applications	[18]	[21]	[43]	[44]	[52]								
7. Computers in Industry	[29]	[46]											
8. Computers and Chemical Engineering	[49]	[66]											
9. Omega	[20]												
10. Industrial Marketing Management	[24]												
11. Journal of Manufacturing Systems	[26]												
12. Systems Engineering — Theory & Practice	[27]												
13. Fuzzy Sets and Systems	[55]												
14. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing	[57]												
15. Applied Mathematical Modelling	[63]												
16. Automation in Construction	[68]												

De modo geral, o tema *Design* de Armazéns é muito abordado em revistas científicas que tratam dos seguintes assuntos: práticas de gerenciamento e performance, modelos de logística e operação, gerenciamento da cadeia de suprimentos e logística, suporte à tomada de decisão e engenharia.

A Tabela 5 apresenta a classificação dos 68 artigos analisados segundo o tipo de abordagem utilizada: teórico ou empírica. Os trabalhos teóricos são trabalhos que contribuem para a geração de novos conhecimentos, sem explicitarem uma aplicação prática. Somados, os trabalhos teóricos representam 45 artigos do total. Os trabalhos de natureza teórico-empíricos, ou seja, aqueles que apresentam novos conhecimentos e validam estes com dados reais, totalizam 20 artigos. E apenas três artigos aplicam diretamente uma determinada teoria já publicada para solução de problemas práticos.

Quanto à natureza das variáveis pesquisadas, os estudos foram classificados em quantitativo e qualitativo. A Tabela 5 também apresenta o resultado desta classificação. A maior fatia representa os estudos quantitativos, com 51 artigos. Este resultado se justifica pela necessidade de otimizar os armazéns, e o intensivo uso de modelos matemáticos para resolver esta demanda. Por outro lado, estudos com esse viés qualitativo somam 17 artigos dentro da amostra da revisão sistemática de literatura.

A maioria das publicações foram classificadas como teóricas e quantitativas, o que reforça a questão de que um grande volume de conhecimento vem sendo gerado sobre a otimização das questões que envolvem o *design* de

armazéns ao longo dos anos. No entanto evidencia que a área ainda não está consolidada e representa uma fronteira do saber.

Tabela 5: Classificação das publicações analisadas.

	Quantitativo	Qualitativo	Total (quantidade)
Teórico	[3]; [6]; [7]; [9]; [10]; [12]; [15]; [18]; [19]; [22]; [25]; [26]; [28]; [30]; [31]; [33]; [34]; [35]; [36]; [40]; [41]; [43]; [44]; [45]; [46]; [50]; [52]; [54]; [55]; [58]; [63]; [66]; [67]	[2]; [4]; [5]; [8]; [16]; [48]; [49]; [51]; [59]; [62]; [65]; [68]	45
Empírico	[11]; [21]	[29]	3
Teórico-empírico	[13]; [14]; [17]; [20]; [23]; [27]; [32]; [37]; [38]; [39]; [42]; [47]; [53]; [56]; [57]; [60]	[1]; [24]; [61]; [64]	20
Total (quantidade)	51	17	68

4.2. INPUTS

4.2.1. Características do Produto

A Tabela 6 enumera as características do produto, conforme mencionadas nas referências levantadas pela pesquisa. Nota-se que poucos trabalhos trataram o tema de forma direta.

Essas características se diferenciam em dois grupos, a saber: características físicas e comportamentais. As características físicas são aquelas visíveis que impactam na armazenagem e movimentação dos produtos, sendo elas: embalagens, fragilidade e peso. O outro grupo, mais utilizado pelos modelos e trabalhos da revisão, engloba características como: variedade de produto, ciclo de vida, composição das ordens e demanda do produto, conforme Tabela 6.

Tabela 6: Característica do produto que influenciam nas decisões de Design de Armazéns.

Características do Produto	Referências
1. Variedade de Produto	[8], [9], [19], [21]
2. Composição das ordens de pedidos	[9], [42], [60]
3. Ciclo de Vida do Produto	[8], [19]
4. Demanda do Produto	[8], [42]
5. Embalagens	[13]
6. Fragilidade	[19]
7. Peso	[19]

A característica mais referenciada, qual seja, a variedade de produtos, corresponde à quantidade de itens que serão armazenados e distribuídos via armazém. Assim, não constitui de fato uma característica apenas de uma SKU, mas uma visão mais geral das mercadorias. Quanto maior a variedade, mais flexível o armazém deve ser e mais complexo se torna o seu *design*. Por exemplo, um armazém em que a principal função é a separação de pedidos é uma classe especial de armazéns que geralmente lida com uma grande variedade de produtos ([9]).

É preciso também compreender as categorias das mercadorias, por exemplo, em um armazém para suprir redes varejistas existem diversas categorias de produtos, como: produtos de higiene pessoal, produto de limpeza, produtos alimentícios, produtos refrigerados, entre outros. E dentro de cada categoria uma infinidade de SKU's ([19]; [21]).

É preciso também prever o aumento dessa variedade ao longo do tempo ([8]), o que revela uma evolução do ciclo de vida de um produto. Uma forma de dimensionar essa característica é a taxa de rotatividade, que nada mais é que a velocidade de circulação dos produtos nas prateleiras ([19]).

A demanda é um importante dado que está relacionado à gestão da variedade do produto dentro do armazém. Esse dado exige o entendimento de como ela se comporta ao longo do ano, se há sazonalidade, tendências, correlação com demais itens, entre outros fatores, e ajuda a não ocorrerem retrabalhos referentes à implantação do armazém ([8]; [42]).

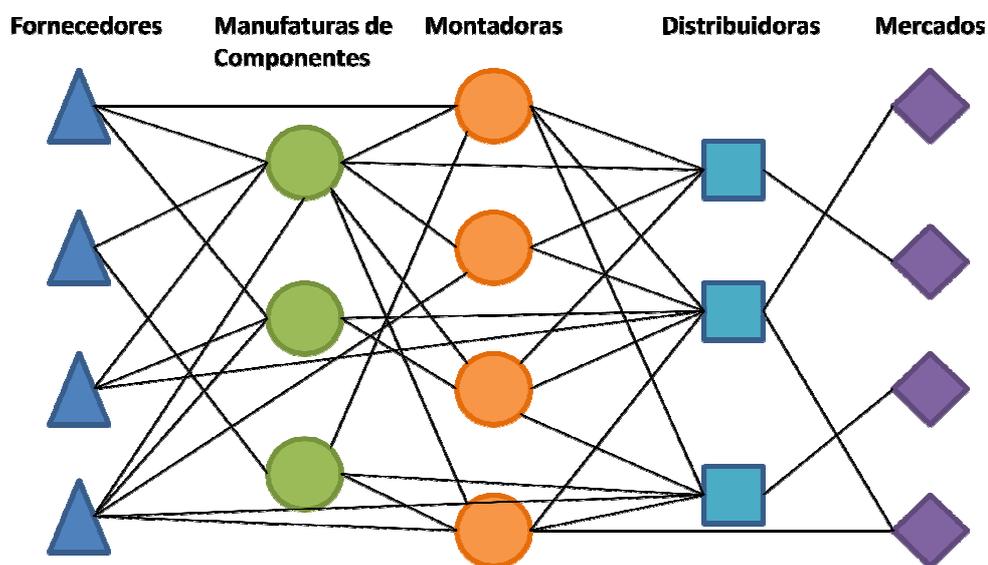
Produtos com pacotes pequenos representam problemas de planejamento muito complexos, visto que é necessário alocar recursos numerosos e manter as janelas de tempo muito estreitas para movimentar milhões de pacotes por dia ([13]). Um estudo analisado utiliza fragilidade e pesos, além da taxa de rotatividade, para classificar os produtos dentro do armazém e adequar os sistemas de estocagem e separação, usando a metodologia AHP (*Analytic Hierarchy Process*) ([19]).

A composição da ordem de um determinado pedido também precisa ser considerada em diversas decisões de *design* de armazém. De acordo com a função do armazém, a característica das ordens se diferencia. Por exemplo, geralmente em armazéns que atendem uma linha de produção, as ordens de pedidos

contemplam grandes quantidade de SKU's e o volume de pedidos é menor, no caso é necessário um sistema de estocagem eficiente ([60]). Já em centros de distribuição, as ordens contêm muitos produtos diferentes que, individualmente, não constituem uma unidade de carga completa, e o volume de pedido é maior, o que requer um arranjo diferenciado nas operações de separação, triagem e expedição ([9]); ([60]).

4.2.2. Design da Cadeia de Suprimentos

A cadeia de suprimentos é uma rede de fornecedores, fábricas, armazéns, e canais de distribuição organizados de forma a adquirir matérias-primas, converter estas matérias-primas em produtos acabados, e distribuir esses produtos aos clientes, através de uma gestão sincronizada do fluxo material e de informação a partir do ponto de fornecimento até o ponto de consumo ([19]; [31]; [49]; [37]). Uma cadeia de suprimentos típica está representada na Figura 6, onde os nós representam os fornecedores, fábricas, centros de distribuição, armazéns e clientes; e os arcos representam os fluxos entre os nós ([30]).



FONTE: Dasci *et al.*, 2001

Figura 6: Cadeia de suprimentos típica.

O sucesso do Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos depende do esforço, da cooperação e da coordenação de todas as instalações ao longo da mesma. Todo elo deve otimizar suas operações, para que os bens ou serviços possam ser prontamente e de forma confiável entregues aos seus clientes ao menor custo ([10]; [19]; [20]; [37]). A cadeia de suprimentos bem gerenciada

pode levar a uma melhor rentabilidade e utilização dos recursos, e também ajudar as empresas a alcançar vantagens competitivas sustentáveis ([37]; [44]).

É bastante comum hoje em dia fabricantes e varejistas, como *Proctor & Gamble* e *Wal-Mart*, unirem esforços para lidar eficientemente com o fluxo de produtos e coordenar estreitamente a produção e o sistema de gerenciamento da cadeia de suprimentos. Uma importante questão estratégica relacionada ao projeto e operação de uma rede de distribuição física em um sistema de cadeia de suprimentos é a determinação dos pontos de estocagem intermediários, ou armazéns ([15]).

As questões-chave na gestão da cadeia de suprimentos podem ser divididas em três categorias principais: concepção (infra-estrutura), o planejamento e controle da cadeia de suprimentos (gestão em tempo real) ([31]; [49]). Além disso, o fato de que a configuração da cadeia de suprimentos envolve o comprometimento de recursos substanciais de capital durante longos períodos de tempo faz com que o projeto da rede se torne uma questão extremamente importante ([32]).

De modo genérico, as decisões no nível estratégico envolvem decidir a configuração da rede, ou seja, o número, localização, capacidade e tecnologia das instalações ([30]; [31]; [32]; [48]; [49]; [66]). A configuração estratégica da cadeia de suprimentos é um fator chave que influencia na eficiência das operações táticas, e, portanto, tem um impacto duradouro sobre a empresa ([32]). E aqui está inserido o contexto de *design* de armazéns.

No nível tático, as decisões compreendem a atribuição de cada região de mercado para um ou mais locais, bem como seleção de fornecedores, canal de distribuição, modal de transporte (por exemplo, rodoviário, ferroviário, etc) ([31]; [32]; [48]; [49]). Ou seja, trata-se de decisões que impactam na conectividade de rede ([49]). Finalmente, decisões de produção relacionadas com o planejamento de produção e programação, gestão dos níveis de inventário e políticas de reabastecimento e também tamanho dos lotes de transferências de materiais são decisões operacionais, que são facilmente modificadas no curto prazo ([31]; [49]).

Assim, é reconhecido que um melhor desempenho da cadeia de suprimentos exige: concepção adequada das redes e de seus componentes; e alocação eficiente dos recursos disponíveis através da rede ([49]).

Os modelos mais simples sobre *design* da cadeia de suprimentos consideram a questão da capacidade, são multi produto; é uma rede com dois ou mais escalões, ou seja, plantas e clientes, e consideram a questão da distribuição de estoque e/ou distribuição dos produtos ao longo da cadeia ([15]; [30]; [31]; [37]; [41]). No entanto, essa estrutura não é abrangente a ponto de considerar a interação entre localização das instalações na rede e decisões de controle de inventário, bem como o impacto desta última na configuração da rede. O artigo [48] considera essa questão, motivado pelo risco de efeito chicote na cadeia de suprimentos.

Outro artigo que aborda o problema sob outro ponto de vista analisa as instalações de uma rede como ativos. As empresas se esforçam para maximizar os valores aos acionistas por meio do gerenciamento desses ativos através de uma variedade de decisões de negócios ([66]). O artigo aborda as seguintes decisões: desinvestimento, atualização tecnológica, contratos de fornecimento, empréstimos e geração de capital, enquanto inclui gestão de ativos e planejamento estratégico, tático, planejamento de capacidade, fatores financeiros, regulamentação, e produção-distribuição ([66]). O estudo conclui que ignorar essas decisões traz uma diminuição em 14% do lucro ([66]).

Os estudos qualitativos trazem a questão do *e-commerce* ([16]; [24]), *deslocalização* ([48]), otimização da cadeia suprimentos manufatureiras ([49]) e revisão do estado da arte de modelos sobre *design* de sistemas de distribuição ([51]).

O artigo [16] trata de uma revisão de literatura sobre *e-commerce* e oferece um panorama de modelos quantitativos de *e-fulfillment*, levantando os aspectos que diferem o *e-fulfillment* do gerenciamento da cadeia de suprimentos tradicionais. Já o artigo [24] faz uma pesquisa com os principais *stakeholders* do comércio eletrônico da China e conclui as fraquezas do país que devem ser combatidas para que o *e-commerce* seja bem sucedido.

Para maiores informações sobre os modelos encontrados na revisão de literatura sobre o tema, o Apêndice 2 apresenta as tabelas que descrevem os trabalhos quantitativos e qualitativos sobre *Design* da Cadeia de Suprimento.

4.2.2.1. Localização

A localização de instalações é uma decisão integrante do escopo do *Design* da Cadeia de Suprimentos. O problema clássico de localização de armazém é determinar o número e a localização dos armazéns a um custo mínimo, sem violar a restrição de capacidade. Um objetivo freqüente quando se resolve um problema de localização do armazém é determinar o custo total do projeto de tal forma que toda a demanda dos clientes por diferentes famílias de produtos sejam satisfeitas dentro das restrições aceitáveis. O desafio reside em selecionar o melhor local para os armazéns e estudar o padrão de distribuição para satisfazer a demanda do cliente por um determinado conjunto de produtos ([37]; [39]).

A fim de otimizar o processo de distribuição, os armazéns são localizados nos pontos onde a carga, que chega a partir de muitas origens, é reorganizada (separação de pedidos) e enviada para um destino intermediário ou final, ocorrendo ou não a estocagem. O objetivo desta configuração é a redução de custos, a economia de escala a ser alcançada através do transporte de grandes quantidades de cargas entre centros, de tal maneira que não haja necessidade de fazer viagens longas com pequenas cargas ([15]; [33]), bem como acomodar a variabilidade causada por fatores como a sazonalidade do produto e / ou lotes de produção e transporte ([5]), manter altos níveis de serviço ao cliente ([6]) e proporcionar flexibilidade à cadeia para responder às mudanças no mercado ([15]).

Essa família de problemas tipicamente assume uma função linear de custo e é considerado que a demanda dos clientes segue um padrão determinístico ([39]; [40]; [51]). A maioria destes estudos utiliza métodos como centro de gravidade, conjunto de problemas de cobertura (*Set Covering Problem*) e p-mediana ([40]).

Estudos qualitativos consideram fatores como: custo de investimento, possibilidade de expansão, recurso humano, infraestrutura disponível (abastecimento de água, fonte de alimentação de energia, infraestrutura de comunicação, entre outras), trânsito, transporte de mercadorias, técnicas de construção e proximidade do mercado demandante ([18]; [55]; [64]).

Para mais informações sobre os artigos encontrados sobre o tema, ver Apêndice 3.

4.2.3. Fatores Financeiros

Dentro das considerações econômico-financeiras é preciso dimensionar dois principais custos: custos operacionais e o investimento no ativo imobilizado ([2]; [62]). Dentro dos custos operacionais, encontra-se o custo de manuseio de materiais (equipamentos e sistemas), o custo de armazenagem, o custo de manutenção da instalação, mão de obra, já para o investimento é considerado o custo de construção, compra do terreno ou aluguel ([2]; [6]). Os custos de investimento de armazém são determinados principalmente pelo número de recursos e são muitas vezes tratadas como uma restrição ([62]).

A Tabela 7 elenca os custos considerados dentro do escopo de *design* de armazéns. Os trabalhos encontrados consideram o fator custo como objetivo, restrição ou indicador de performance. Nota-se a prevalência do custos operacionais frente à questão de investimento e não foram encontrados artigos que tratam da questão da depreciação.

Tabela 7: Custos considerados nos trabalhos analisados.

Custos Considerados	Referências
1. Manuseio e Movimentação de Materiais	[6]; [9]; [12]; [14]; [19]; [56]
2. Sistemas de Armazenagem	[6]; [20]; [22]; [53]
3. Mão de Obra	[6]; [12]; [19]
4. Espaço	[12]; [20]; [22]

Ainda foram encontrados artigos que não tratam de custo e investimento de forma direta, mas que visualizam o fator financeiro como decisivo nos modelos propostos. Por exemplo, o artigo [3] traz um modelo de otimização de docas, em que os custos de instalação ou os custos operacionais de funcionamento das docas não foram explicitamente modelados, mas os desvios reduzidos com o modelo contribuem para a minimização destes custos.

É o caso também do artigo [11], cujos autores propõem um modelo de melhoria no processo de separação de pedido, motivado pelo aumento de orçamento. O artigo trata de um estudo de caso em um CD de alto rendimento que lida com mais de 12 milhões de ordens de pedido por ano. Esta empresa adotou um programa chamado “2% de melhoria”, com o objetivo de aumentar a produtividade de cada departamento em 2% ao ano. O orçamento do departamento de armazenagem para o próximo ano é calculado juntamente com o orçamento atual para a produtividade do armazém, medida como a saída do

armazém anual em quilogramas. Se a produtividade não aumenta, o orçamento anual é reduzido em 2%. Se a produtividade aumentar, o orçamento para o próximo ano também é aumentado pela diferença entre a produtividade alcançada e a meta de 2%, por exemplo. Assim, um aumento de 3% na produtividade resultaria em um aumento do orçamento de 1%.

4.2.4. Fatores Operacionais

A Tabela 8 mostra os fatores operacionais considerados nos artigos dentro do escopo de *design* de armazéns.

Tabela 8: Fatores operacionais considerados nos modelos.

Fatores Operacionais	Referências
1. Distância percorrida	[7]; [10]; [12]; [13]; [19]; [20]; [21]; [22]; [45]; [46]; [56]; [60]
2. Taxa de processamento	[3]; [6]; [9]; [14]; [25]; [36]; [42]; [43]; [54]; [63]; [67]
3. Capacidade de Armazenagem	[19]; [20]; [22]; [42]; [43]; [53]; [54]
4. Tempo de viagem	[9]; [21]; [23]; [35]
5. Capacidade do caminhão	[3]
6. Disponibilidade das docas	[3]
7. Tempo de carga dos caminhões	[3]
8. Tempo de reposição dos itens	[58]

Os critérios mais utilizados nos trabalhos que compõem esta revisão são: taxa de processamento (*throughput*) e distância percorrida. Muitos autores entendem que a taxa de processamento dos pedidos está diretamente relacionada com a distância percorrida pelo separador e tempo gasto por ele ([7]; [10]; [12]; [13]; [19]; [20]; [21]; [22]; [42]; [45]; [46]; [54]; [56]; [60]).

A prevalência destes fatores frente aos demais mostra que tendências recentes na fabricação e distribuição fizeram com que o projeto de *design* contemplasse critérios de desempenho mais complexos. Na indústria, há um movimento para tamanhos menores de lotes, customização de produtos e as reduções de tempo de ciclo ([4]). Na área de distribuição, a fim de servir os clientes, as empresas tendem a aceitar pedidos atrasados, proporcionando entregas rápidas e dentro de janelas de tempo estreitas (assim o tempo disponível para a separação de pedidos é menor) ([4]), o que necessita sistemas de separação mais ágeis e eficientes.

Muitos armazéns menores estão sendo substituídos por grandes e poucos armazéns para realizar economias de escala. Nesses grandes armazéns, o volume

de separação de pedido diário é grande e a janela de tempo disponível, curta. Para ser mais ágil para os clientes, muitas empresas adotam a estratégia de adiamento da entrega do pedido, levando a várias atividades que adicionam valor ao produto (como montagem de *kits*, rotulagem do produto ou ordem, embalagem personalizada ou paletização) ocorrerem no centro de distribuição e que devem ser agendadas e integradas ao processo de separação de pedidos. ([4]; [5]; [21]; [38]; [65]).

Os critérios de desempenho podem ser tratados como objetivos ou uma restrição de *design*. Ao formular um critério como uma restrição, é necessário pré-determinar um valor-alvo, que deverá ser alcançado. Além destas restrições relativas aos valores de critério alvo, um número de limitações técnicas ou física são formulados ([62]).

4.3. DESENHO E IMPLANTAÇÃO

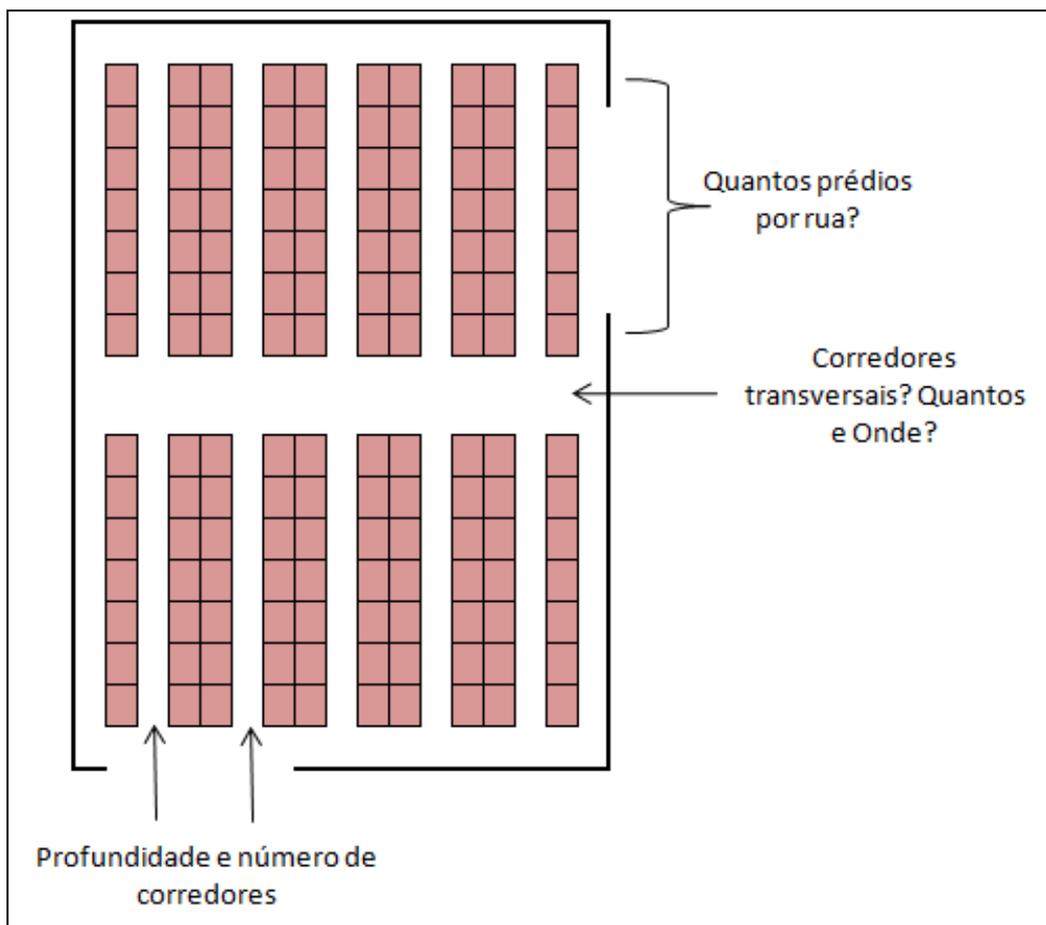
4.3.1. Layout

As escolhas sobre *layout* afetam, tanto negativamente como positivamente, a performance do armazém nos seguintes aspectos: custos de construção e manutenção, custo de movimentação de material, capacidade de estocagem (habilidade de acomodar as cargas que chegam), utilização do espaço e utilização dos equipamentos ([02]).

Os artigos [04] e [19] consideram que projeto de *layout* diz respeito a dois sub-problemas: a implantação da instalação contendo o sistema e o *layout* dentro de cada sistema. O primeiro problema diz respeito à decisão de onde localizar os vários departamentos (recebimento, separação, armazenagem, triagem e expedição etc.) e a configuração geral da instalação. Muitas vezes, a decisão é realizada levando em conta a relação das atividades entre os departamentos ([4]). O segundo sub-problema, que também pode ser chamado de projeto de *layout* interno ou problema de configuração de corredor, diz respeito à determinação do número de blocos, número, comprimento e largura dos corredores em cada bloco, e a orientação destes corredores ([4]; [19]). O objetivo comum é encontrar um esquema de melhoria do armazém em relação ao *layout* que se encaixa em um determinado conjunto de restrições e exigências ([4]). Além desses problemas, há muitos fatores qualitativos para analisar, como a segurança e estética ([01]).

De acordo com o artigo [02], o problema de *layout* ainda pode-se dividir em três tipos:

- Padrão de Posicionamento dos Unificadores de Carga: altura da pilha (considerando as especificidades de cada SKU), o ângulo de pálete no que diz respeito ao corredor, profundidade da rua (*trade-off* entre utilização do espaço e facilidade das operações de estocagem e reposição, considerando tamanho do lote de chegada e padrão de reposição) e número de ruas, corredores transversais e prédios por rua são exemplos de decisões. Ver Figura 7.
- *Layout* Geral: arranjo físico entre os departamentos, quantidade e localização das docas, orientação dos corredores, comprimento e largura dos corredores e número de corredores são aspectos que devem ser definidos neste caso;
- Sistemas Automatizados: configuração do AS/RS (*Automated Storage and Retrieval System*), dimensão do *racks* de estocagem, desenho das guias de caminho AGV (*Automated Guided Vehicle*), definição do número de guias, entre outros.



Fonte: Gu *et al.* (2010)

Figura 7: Exemplos de decisões sobre o Padrão de posicionamento dos unificadores de carga na área de estocagem.

A Tabela 9 apresenta quais foram os artigos que trataram sobre a questão de *layout* e qual foi o problema abordado, de acordo com a divisão proposta pelo artigo [2]. Nota-se que o problema mais abordado foi a questão do *layout* geral do armazém, mais especificamente sobre a quantidade, comprimento e largura dos corredores. Para maiores informações a respeito dos trabalhos encontrados sobre *Layout* de Armazéns, ver Apêndice 4.

Tabela 9: Lista das Publicações sobre layout e os problemas abordados.

#	Problema de <i>layout</i> abordado
[7]	• Padrão de posicionamento dos páletes (localização de corredores transversais)
[9]	• <i>Layout</i> geral do armazém (quantidade, comprimento e largura dos corredores)
[12]	• <i>Layout</i> geral do armazém (quantidade, comprimento e largura dos corredores)
[13]	• <i>Layout</i> geral do armazém (arranjo dos departamentos)
[19]	• Padrão de posicionamento dos páletes (configuração da prateleira) • <i>Layout</i> geral do armazém (localização das docas)
[25]	• Sistemas Automatizados (posicionamento de equipamentos de movimentação de materiais)
[26]	• Sistemas Automatizados (guia de caminhos para AGV)
[35]	• Sistemas Automatizados (Configuração do AS/RS)
[42]	• <i>Layout</i> geral do armazém (quantidade, comprimento e largura dos corredores)
[56]	• <i>Layout</i> geral do armazém (localização dos departamentos, quantidade de células)
[59]	• Sistemas Automatizados (Configuração do AS/RS)
[63]	• <i>Layout</i> geral do armazém (localização dos departamentos, quantidade de unidades de estocagem)

4.3.2. Estratégia de Operação

Um ponto importante do *Design* de Armazéns são as estratégias de operação que, uma vez selecionadas, têm efeitos importantes sobre o sistema global e não são susceptíveis de alteração frequentes. Exemplos de tais estratégias são a decisão entre o armazenamento randomizado e dedicado, ou a decisão de usar zonas de separação de pedido ([2]). Duas estratégias de operação principais são apresentadas: a estratégia de estocagem e a estratégia de separação de pedidos. Além destas, serão apresentadas as decisões necessárias para a configuração da estratégia de recebimento/expedição e *cross docking*. A Figura 8 traz um resumo das decisões que serão apresentadas nas próximas sub-seções.

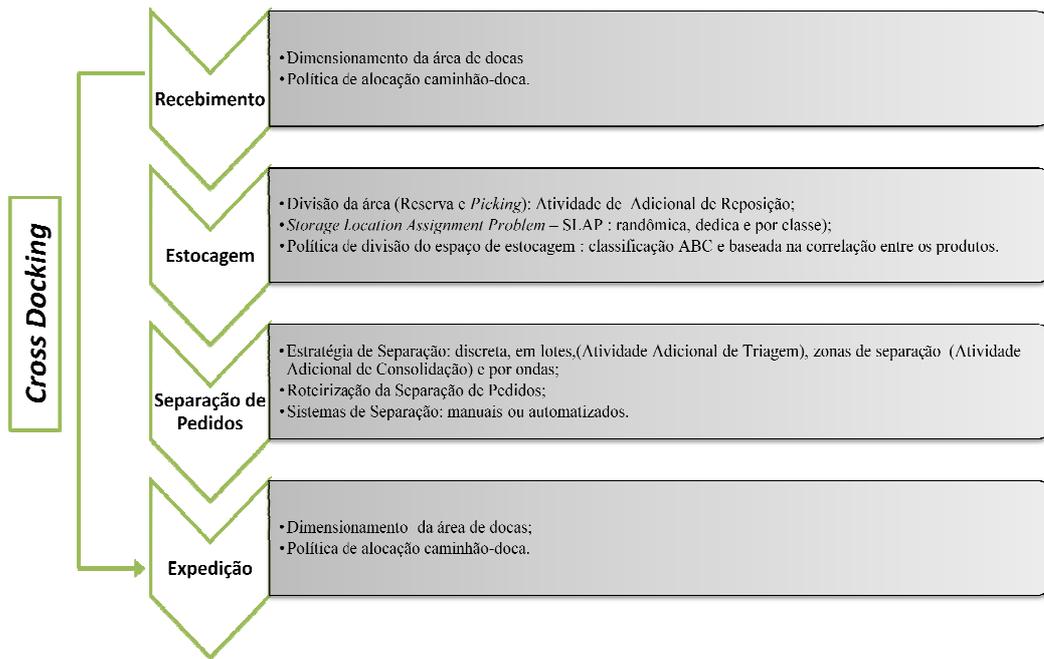


Figura 8: Atividades realizadas em um armazém.

4.3.2.1. Recebimento e Expedição

O processo de recebimento é o primeiro processo numa instalação de armazenagem. Produtos chegam por caminhão ou transporte interno (no caso de um armazém de produção) ([5]). Nesta etapa, os produtos podem ser conferidos, transformados (por exemplo, se os unificadores de carga para uso interno são diferentes dos unificadores de recebimento, as cargas devem ser remontadas), controle de qualidade aleatórios são realizados, e a mercadoria aguarda a movimentação para o próximo processo ([5]; [19]; [62]; [65]). Nesse momento uma etiqueta é presa à carga, por exemplo, um código de barras ou uma etiqueta magnética para identificação ([65]). Na área de expedição, as ordens são conferidas, classificadas, embaladas e carregadas em caminhões, trens ou qualquer outro meio de escoamento, constituindo a última fase ([5]; [19]; [62]).

Os problemas que surgem no nível tático, e que devem ser tratados simultaneamente, incluem determinação das dimensões das áreas das docas, tanto de recebimento, como de expedição ([62]).

Já no nível operacional, a decisão que se faz necessária é a alocação de caminhão-doca. No processo de recebimento, uma política de atribuição determina a alocação de caminhões com as cargas a serem recebidas, às docas. Já

no processo de expedição, as encomendas prontas para o envio e os caminhões são atribuídos às docas por uma política de atribuição de docas ([62]).

Para armazéns de *cross-docking*, bens recebidos são enviados diretamente das docas de recebimento para as docas de expedição (ver seção 4.3.2.4). Para armazéns tradicionais que mantêm estoque, as mercadorias recebidas são estocadas e posteriormente separadas e enviadas através de docas de expedição. Nesse caso, as operações de recebimento e expedição são mais complexas de administrar uma vez que são acopladas com a estocagem e função de separação da ordem. Por exemplo, a programação de caminhões de transporte pode depender da forma como as ordens são agrupadas e atribuídas a separação por ondas ou outras estratégias de separação, que serão apresentadas na seção 4.3.2.3 ([5]).

Das publicações analisadas, apenas o artigo [3] traz um modelo sobre o assunto. O trabalho utiliza uma abordagem conjunta *fuzzy* para atender aos requisitos de alocação das docas de uma instalação, em que a taxa de processamento, capacidade dos caminhões, disponibilidade da doca e tempo de carregamento tem um certo grau de imprecisão ou vagueza envolvidos. Um índice de desempenho da doca foi introduzido para verificar a adequação das docas para suportar um certo nível de atividade de carga. Um experimento de simulação foi projetado e o modelo foi simulado para testar a validade dos resultados.

4.3.2.2. Estocagem

Os produtos precisam ser colocados em locais de estocagem antes que eles possam ser escolhidos para completar os pedidos dos clientes. O problema de alocação de estocagem (ou *Storage Location Assignment Problem* - SLAP) é a escolha da regra (as) que será utilizada para atribuir os produtos aos locais de estocagem ([4]; [11]; [53]; [62]). Antes de tal decisão, é preciso escolher se na estocagem os produtos serão alocados em posições diferentes ([5]; [11]; [62]; [65]). Assim, a área destinada à estocagem pode ser dividida em duas partes, a saber:

- Área de reserva: os produtos são estocados na forma mais econômica, por exemplo em pátetes completos ([5]; [11]; [19]; [53]; [62]; [65]).
- Área de *picking*: os produtos são alocados de forma a facilitar o trabalho dos separadores de pedidos, geralmente são estocados em

pequenas quantidades e em módulos de fácil acesso ([5]; [11]; [19]; [53]; [62]; [65]). O tamanho dessa área é sempre menor do que a área de reserva, seguindo o princípio de quanto menor o espaço a ser percorrido, menor o tempo médio de viagem dos separadores ([53]).

A área de reserva e de *picking* podem ser áreas distintas dentro do armazém ou podem estar localizados na mesma estrutura porta pálete. Neste último caso, os níveis mais baixos representam a área de *picking*, os níveis mais elevados representam a área de reserva. Em algumas instalações a área de reserva é, mais uma vez, subdividida em duas áreas separadas: uma para separação de pedidos e outra para reabastecimento ([65]).

Diante dessa configuração, frequentemente é preciso repor os produtos da área de reserva para a de *picking*, e esse processo adicional é chamado de reposição ([11]; [62]). Um dos *trade-offs* a ser considerado sobre esta fase é equilibrar os esforços de reposição adicional com os esforços de poupar o trabalho dos separadores. Para alguns itens é vantajoso armazenar somente na área da reserva quando a demanda é frequentemente alta. Além disso, as reposições geralmente são feitas em horários em que não há atividade de separação, o que restringe ainda mais a realização desta tarefa ([62]).

Sobre o problema de localização dos produtos ou *Storage Location Assignment Problem* - SLAP, a maneira mais usual é dividir os produtos em classes, a fim de reduzir o custo de manuseio de materiais e melhorar a utilização do espaço ([4]; [5]). Para isso, existem diversas regras. Se o número de classes é igual a um, a estocagem é do tipo randômica (ou aleatória). Se o número de classes é igual ao número de produtos, tem-se a Estocagem Dedicada. Já no caso do número de classes variar de dois até $N - 1$ (sendo N igual a quantidade de produtos), é chamado de estocagem baseada em algum critério ([4]). Tais regras são melhores explicadas a seguir:

- Estocagem randômica ou aleatória: a decisão de onde localizar o produto que chega ao depósito sob a responsabilidade do operador, desta forma o item pode ser colocado em qualquer posição disponível no momento. A vantagem desta regra é o alto grau de utilização do espaço. Por outro lado, as desvantagens são o aumento das distâncias percorridas pelos separadores e a necessidade de um sistema de

informação com o máximo de acurácia ([5]; [7]; [8]; [11]; [19]; [20]; [21]; [22]; [56]; [62]; [65]);

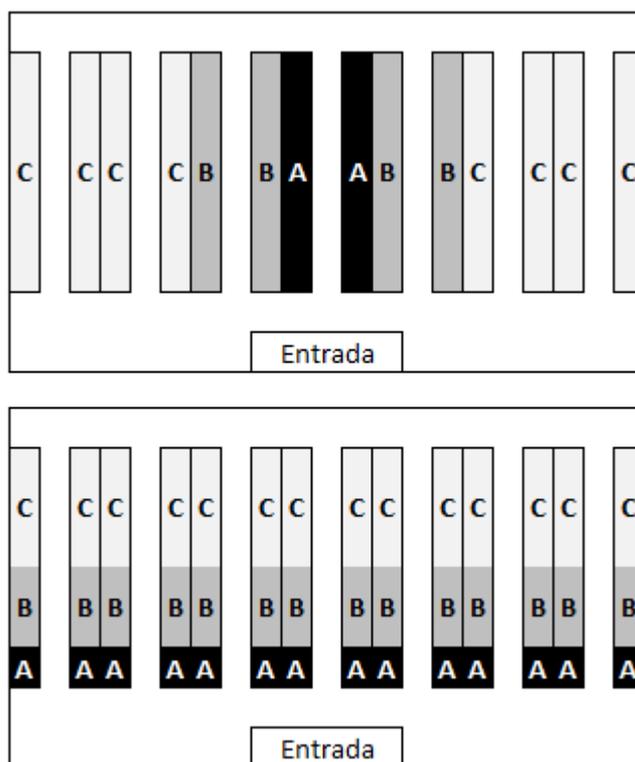
- Estocagem dedicada: as posições de estocagem são fixas, ou seja, só podem ser ocupadas por um determinado produto. A desvantagem é que o espaço fica inutilizado caso o produto esteja fora de estoque. Outro problema é a necessidade de uma grande quantidade de espaço para estocar o máximo nível de inventário. Uma vantagem é que os separadores se familiarizam com a localização de cada produto, o que torna a separação mais rápida. A estocagem dedicada também se torna interessante para produtos com pesos diferentes. Os mais pesados devem ser colocados nas posições mais baixas, e os mais leves nas posições mais altas ([5]; [8]; [11]; [19]; [20]; [21]; [22]; [56]; [62]; [65]);
- Estocagem por classe: neste caso os produtos são posicionados de acordo com o algum critério pré-estabelecido, como: popularidade, máximo inventário e giro de estoque. Neste último caso, os produtos com taxas mais elevadas são colocados em locais de fácil acesso, geralmente mais perto da saída. Um índice que norteia a disposição dos itens no *layout* de forma ótima e que segue essa perspectiva é o índice cúbico por pedido (COI), criado por Heskett (1963). O índice é a relação entre a capacidade volumétrica necessária para armazenar o item e o número médio de pedidos diários do mesmo. A estratégia consiste em localizar os produtos com COI mais baixo o mais próximo possível do ponto de expedição. A desvantagem dessa regra é que as taxas de demanda podem variar constantemente, assim, a cada mudança uma nova ordenação na arrumação do armazém deve ser feita. Também é de suma importância ter um sistema de informação atualizado ([5]; [8]; [11]; [19]; [20]; [21]; [22]; [54]; [56]; [58]; [62]; [63]).

É necessário deixar claro que a escolha de uma regra não anula a utilização de outra ([56]. Por exemplo, a estocagem dedicada pode ser aplicada na área de *picking* e a randômica, na área de reserva. Desta forma, as desvantagens da estocagem dedicada são amenizadas, uma vez que é aplicado em uma pequena

área. Outro exemplo de combinação das regras é a utilização conjunta de estocagem dedicada, baseada no giro de estoque.

Além da decisão de onde localizar os produtos, é preciso deliberar a política de divisão do espaço de estocagem, que pode ser:

- Baseada na classificação ABC: O conceito combina alguns dos métodos mencionados anteriormente. No controle de estoque, uma forma clássica para dividir os itens em classes com base na popularidade é o método de Pareto. A idéia é agrupar os produtos de tal forma que a classe mais rápida representa apenas de 20% dos produtos armazenados, mas contribui para cerca de 85% do valor movimentado (essa proporção pode variar). Então, a cada classe é atribuída uma área exclusiva e dentro dessa área a regra de estocagem é o tipo randômica. Desta forma, os mais rápidos são chamados itens classe A. A próxima categoria mais rápida é chamada de B, e assim por diante. Muitas vezes o número de classes é restrita a três, embora em alguns casos a inclusão de mais classes pode gerar ganhos adicionais em relação ao tempo de movimentação de materias. As classes serão dispostas ao longo do corredores de estocagem de diferentes maneiras, a Figura 9 mostra as duas maneiras mais usuais ([4]; [8]; [19]; [62]; [65])
- Baseada na categoria do produto: as atribuições discutidas até aqui sobre armazenagem não levaram em consideração a relação entre produtos. Por exemplo, os clientes tendem a encomendar um determinado produto em conjunto com outro. Neste caso, pode ser interessante localizar esses dois produtos próximos uns dos outros. Assim, tem-se o agrupamento de produtos em famílias, em que os produtos similares estão localizados na mesma região da área de estocagem. Claramente, o agrupamento de produtos pode ser combinado com algumas das políticas de armazenamento mencionadas anteriormente. Por exemplo, é possível usar a classificação ABC nos itens relacionados a uma família. No entanto, a decisão em que classe localizar os produtos depende de uma combinação das propriedades de todos os produtos do grupo ([4]; [62]).



FONTE: de Koster (2007)

Figura 9: Duas formas mais comuns de implementar a estocagem baseada na classificação ABC.

A Tabela 10 traz os modelos encontrados na revisão de literatura e como eles abordam as decisões sobre estocagem. Para mais informações a respeito dos modelos, ver Apêndice 5.

Tabela 10: Modelos sobre estocagem.

#	Questão abordada sobre estocagem
[7]	• Estratégia de reposição dos itens da área de reserva para a área de <i>picking</i> .
[11]	• SLAP: Estocagem por classe (Critérios considerados COI e quantidade demandada) • Estratégia de reposição dos itens da área de reserva para a área de <i>picking</i> .
[19]	• Política de divisão do espaço de estocagem: Classificação ABC
[20]	• Política de divisão do espaço de estocagem: Criação de algoritmo que considera custo de separação e custo de espaço, sem comprometer restrições de pedidos.
[21]	• Política de divisão do espaço de estocagem: Classificação ABC • SLAP: Estocagem Randômica, Estocagem horizontal por classe (critério considerado COI) e Estocagem vertical por classe (critério considerado COI)
[22]	• SLAP: Estocagem Dedicada e Estocagem por classe (Critérios considerados COI, com 1, 2 e 3 classes)
[53]	• SLAP: Estocagem Randômica e Estocagem Dedicada • Estratégia de reposição dos itens da área de reserva para a área de <i>picking</i> .
[54]	• SLAP: Estocagem por classe (Critérios considerados COI)
[58]	• Estratégia de reposição dos itens da área de reserva para a área de <i>picking</i> .

4.3.2.3. Separação de pedido

Quando as ordens de pedidos são recebidas dos clientes, os produtos solicitados devem ser recolhidos na quantidade, no tempo exigido e em boas condições ([4]; [11]; [21]; [54]; [62]; [65]). Por ser uma atividade de uso intensivo do fator humano e crítica no que diz respeito a atingir altos níveis de acurácia, a separação de pedidos (ou *picking*) ainda é uma atividade com grandes oportunidades de melhorias operacionais e de redução de custo ([19]; [21]; [36]; [38]; [43]; [46]; [53]; [60]). Vários problemas a respeito desta etapa da armazenagem merecem bastante atenção.

Primeiramente, é preciso definir qual a estratégia de separação a ser aplicada na operação, para isso existem quatro conceitos: *picking* discreto, separação em lotes, zonas de separação e ondas de separação ([2]; [5];). Há uma série de fatores que precisam ser considerados para determinar quais dos conceitos serão usados, por exemplo a variedade de produtos, o tamanho das ordens, o equipamento de separação e o tamanho da unidade de carga ou recipiente em que as ordens estão sendo recolhidas. Essas estratégias são explicadas individualmente a seguir:

- *Picking* discreto: o separador leva uma ordem de pedido e viaja pelo armazém inteiro até que toda a ordem seja recolhida. O separador pode exercer a sua função para os itens localizados em todo o armazém ou apenas para sua zona particular (ver a estratégia zona de separação a seguir) ([4]; [6]; [62]);
- Separação em lotes: Se a escolha for pela separação em lotes de pedidos agrupa-se mais de um pedido e estes são separados em uma única passagem pelo estoque, reduzindo o tempo de trabalho. Existem basicamente dois critérios para separar as ordens em lotes: a proximidade entre as posições dos itens e janelas de tempo. Em lotes de acordo com janela de tempo, as ordens que chegam durante o mesmo intervalo de tempo (de comprimento fixo ou variável) são agrupadas em um lote. É necessário ter uma atividade de triagem, que é a reordenação de pedidos para a expedição. E esta atividade adicional também exige a determinação de uma política, que pode ser: separar e sortir (seqüencialmente) ou sortir enquanto separa (ou seja,

simultaneamente) ([4]; [6]; [8]; [10]; [20]; [36]; [43]; [46]; [54]; [60]; [62]);

- Zonas de separação: A estratégia de zoneamento se refere à divisão da área de separação em zonas as quais serão alocados diferentes separadores. Após a recepção do pedido do cliente, o Sistema de Gerenciamento de Armazéns (*Warehouse Management System* - WMS) examinará cada linha do pedido e identifica em que zona está localizado o item. O WMS, então, gera ordens de serviço para cada zona. A operação pode ser feita de forma sequenciada (a atividade começa na primeira zona e uma vez terminada começa o trabalho na segunda, e assim sucessivamente) ou em paralelo (todas as zonas são operadas ao mesmo tempo). Optando-se pelo último caso, é necessário uma atividade adicional que é a consolidação das ordens, para que os pedidos sejam expedidos completos. Esta estratégia é apropriada quando uma única ordem seria muito grande para apenas um separador e os produtos devem ser separados rapidamente. Também é utilizado onde há zonas diferentes de produtos, por exemplo, onde os produtos são separados no sistema de estocagem ou devem ficar separados fisicamente por razões de segurança ou temperatura, por exemplo. O grande ganho dessa estratégia é reduzir a fadiga do trabalhador, minimizar os congestionamentos nas ruas do armazém e maximizar a taxa de processamento, já que os separadores se familiarizam com a localização de cada produto em sua área. A principal desvantagem do zoneamento é a adição de uma atividade, a consolidação. É necessário também atentar para que a carga de trabalho entre as zonas esteja equilibrada, evitando sobrecargas e ociosidades ([4]; [6]; [10]; [19]; [20]; [43]; [60]; [62]; [65]);
- Separação em ondas: Os pedidos podem ser liberados em ondas (por exemplo, por hora ou a cada manhã e tarde), a fim de controlar o fluxo de mercadorias em termos de reposição, separação, embalagem, empacotamento e expedição. O período das ondas é determinado pelo horário de saída do veículo de transporte, de modo que as ordens são liberadas com tempo suficiente para atender a essa programação. Assim as ordens não podem ser liberadas ao mesmo tempo para cada

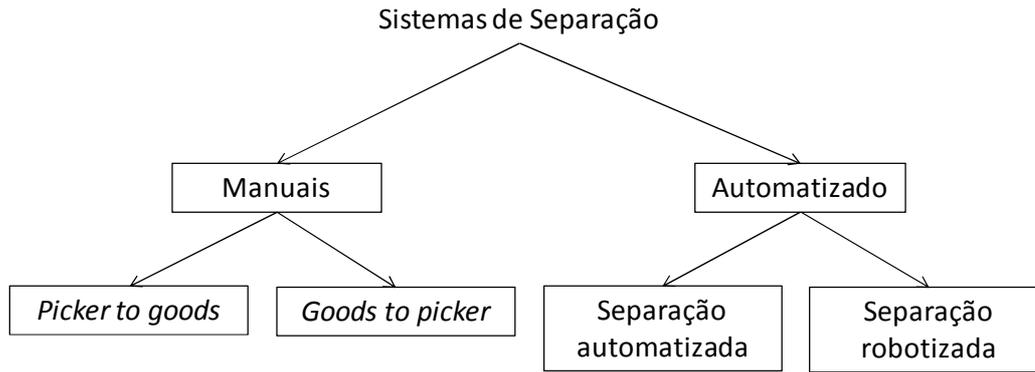
zona. Já que algumas zonas podem exigir um tempo maior para separação ([6]).

Como já descrito, quanto as estratégias de separação em lotes e em zonas são aplicadas é necessário a adição dos processos de triagem e consolidação, respectivamente, para reunir as mercadorias a serem expedidas de acordo com as exigências do cliente ([4]; [62]; [65]).

O processo de roteirização ou sequenciamento da movimentação dos separadores dentro do armazém também é um meio de otimização da atividade. O objetivo é sequenciar a apanha dos itens da lista de seleção, seja nos processos discretos, por lote ou zona (quando a zona for de dimensão relevante) ([5]; [11]; [19]; [20]; [21]; [36]; [42]; [43]; [45]; [54]; [62]). O problema de roteirização do separadores é um caso especial do Problema do Caixeiro Viajante, dado que um mesmo nó deve ser evitar de ser visitado mais de uma vez ([4]; [5]; [45]).

Além dessas atividades, outra atividade complementar à fase de separação é a adição de valor ao serviço e embalagem ([57]). Os itens recolhidos precisam ser embalados para expedição, a menos que os produtos sejam separados diretamente em recipientes de expedição (por exemplo, diretamente em *rolltainers* ou em caixas de papelão) ([57]). Por exemplo, as mercadorias podem ser passadas para uma estação de embalagem onde são acondicionadas em uma caixa. Esse processo também pode envolver a produção final de atividades postergadas, tais como montagem de *kits* e rotulagem ([57]).

Outra decisão importante nos sistemas de separação de pedidos é a escolha dos equipamentos de separação de pedidos, existindo desde carrinhos simples que podem ser empurrado pelos próprios sepadores até sistemas automatizados. O sistema de separação de pedidos pode ser classificado em três categorias principais: *picker to goods*, *goods to picker* e sistemas automatizados ([4]; [38]; [65]). Pode acontecer de múltiplos sistemas de separação empregados dentro de um único armazém. A Figura 10 traz um esquema de classificação dos sistemas de separação de pedidos.



FONTE: de Koster *et al.*(2007)

Figura 10: Classificação dos sistemas de separação.

O primeiro sistema apresentado é o *picker to goods*. Neste, o separador deve ir até o endereço do item a ser separado com o propósito de recolhê-lo. Tal como acontece em todas as categorias, considerações devem ser feitas sobre o sistema de estocagem, sobre o equipamento de movimentação e sobre o módulo de acondicionamento dos itens separados (exemplo: pátete de madeira ou *Rolltainers*) ([4]; [11]; [38]; [43]; [54]).

A organização e o planejamento do processo de separação de pedidos no sistema *picker to goods* deve responder as seguintes perguntas:

- As ordens serão separadas em ondas? Em caso afirmativo, quantas ondas de quanto tempo?
- O armazém será dividido em zonas? Se assim for, vão ser usadas zonas sequencialmente ou simultaneamente?
- As ordens serão separadas em lotes ou individualmente? Se eles são agrupadas em lotes, elas serão sortidas ao separar ou após a separação? ([2]).

Muitas vezes é ineficiente o separador percorrer toda a área de separação para apanhar uma pequena gama de produtos. Assim, foram concebidos os sistemas *goods to picker*, em que as mercadorias são trazidas para o separador e não o contrário. É um sistema normalmente controlado por computador, para que os SKUs corretos sejam apresentados para o separador na seqüência necessária. Exemplos: carrosseis horizontais e verticais, *miniloads* e sistemas *pallet-to-picker* ([4]; [11]; [14]; [38]; [43]; [65]).

Os sistemas de *picking* descritos até agora exigem uma pessoa para pegar os itens individuais que compõem uma ordem. No entanto, existem sistemas automatizados de *picking* disponíveis apropriados para determinadas aplicações. Sistemas automatizados e robotizados de separação são usados apenas em casos especiais, por exemplo, manuseio de mercadorias com alto valor agregado, ou itens pequenos e delicados ([4]; [38]; [45]; [65]), ver Seção 4.3.3.

A Tabela 11 traz os modelos encontrados na revisão de literatura e como eles abordam as decisões sobre separação de pedidos discutidas acima. Para mais informações a respeito dos modelos, ver Apêndice 6.

Tabela 11: Modelos sobre separação de pedido.

#	Questão abordada sobre separação de pedidos
[6]	<ul style="list-style-type: none"> • Estratégia de separação: Por Lote e Em Zonas • Sistemas de sortimento
[10]	<ul style="list-style-type: none"> • Estratégia de separação: Por Lote. • Roteirização da separação de pedidos.
[11]	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de separação de pedidos: <i>picker-to-belt</i>. • Roteirização da separação de pedidos.
[12]	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de separação de pedidos: <i>picker-to-parts</i>. • Roteirização da separação de pedidos
[21]	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de separação de pedidos: <i>picker-to-parts</i>. • Roteirização da separação de pedidos
[36]	<ul style="list-style-type: none"> • Estratégia de separação: por lote. • Roteirização da separação de pedidos. • Sistema de separação de pedidos: <i>picker-to-part</i>.
[38]	<ul style="list-style-type: none"> • Estratégia de separação: por lote. • Sistema de separação de pedidos: <i>picker-to-parts</i>. • Roteirização da separação de pedidos
[43]	<ul style="list-style-type: none"> • Estratégia de separação: por lote. • Roteirização da separação de pedidos
[45]	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de separação de pedidos: <i>picker-to-parts</i>. • Roteirização da separação de pedidos
[46]	<ul style="list-style-type: none"> • Estratégia de separação: por lote.
[52]	<ul style="list-style-type: none"> • Roteirização da separação de pedidos
[54]	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de separação de pedidos: <i>picker-to-light</i>.
[57]	<ul style="list-style-type: none"> • Estratégia de separação: por lote. • Roteirização da separação de pedidos
[60]	<ul style="list-style-type: none"> • Estratégia de separação: Por Lote e Em Zonas. • Roteirização da separação de pedidos. • Sistema de separação de pedidos: <i>picker-to-parts</i>.
[63]	<ul style="list-style-type: none"> • Estratégia de separação: por lote. • Sistema de separação de pedidos: automatizado.

4.3.2.4. *Cross Docking*

O *cross docking* é o processo de transferência direta da área de recebimento para a área de expedição, sem que a mercadoria seja estocada, mas que envolve muitas vezes a atividade adicional de triagem. Os carregamentos de recebimento para *cross docking* precisam ter sua chegada agendada com antecedência. E muitas vezes os veículos que levarão as mercadorias expedidas podem ser compostos de bens oriundos de *cross docking* e bens estocados. Portanto, um grande grau de coordenação é necessário para garantir que a operação possa ocorrer sem problemas ([42]; [44]; [65]).

O *cross docking* é uma estratégia de operação que reduz custo e melhora a eficiência do armazém através da redução da movimentação de materiais *inbound* ([37]). Uma redução muito grande de tempo de espera no armazém - de semanas ou dias para apenas algumas horas - pode ser obtida se as cargas dos caminhões que chegam são encaminhados para expedição com (quase) nenhum armazenamento ([42]).

Os candidatos óbvios para *cross docking* são os produtos que já foram encomendados pelo cliente final e para os quais o transporte do fabricante para o armazém tenha sido iniciado. Outros candidatos para *cross docking* de sucesso são produtos com prazos de entrega curtos, produtos com alta demanda e produtos com demanda altamente previsível ([42]).

Uma instalação de *cross docking* tipicamente consiste de uma série de docas, onde os caminhões podem carregar ou descarregar. Cada carga que chega e não pode ser diretamente transportada para o outro caminhão é armazenada numa área de reserva. Esta área consiste de uma área aberta em que as cargas podem ser armazenadas no chão. Às vezes, as cargas podem ser armazenadas em cima umas das outras, ou prateleiras podem ser utilizadas. Em qualquer caso, as cargas devem ser facilmente acessíveis, porque o tempo antes da partida é curto ([37]; [42]).

Apenas um trabalho apresentou um modelo que trata diretamente sobre *cross docking*, consistindo em uma metodologia de projeto dinâmico para selecionar as políticas de controle e determinar regras de *layout* para as instalações de *cross-docking*. Um estudo de caso é apresentado no centro de *cross docking* da "Royal Horticultural Company Lemkes" na Holanda como a base para

uma análise comparativa dos procedimentos apresentados. Foi concluído que, mediante a aplicação de metodologia proposta, uma economia de 16% pode ser obtida na distância percorrida total ([42]).

4.3.3. Dimensionamento de recursos

Recursos, como mão de obra e equipamentos, são fatores importantes no planejamento de um sistema de apoio logístico, como é o caso de instalações de armazenagem ([17]; [62]). Atividades de movimentação de materiais desempenham um papel importante nos aspectos operacionais. Essas atividades, além de representarem uma parte importante dos custos logísticos, reduzem a velocidade de movimentação do produto e afetam o tempo para entregar o produto aos clientes. Um transporte interno bem desenhado pode reduzir significativamente os custos operacionais associados a essas atividades ([3]).

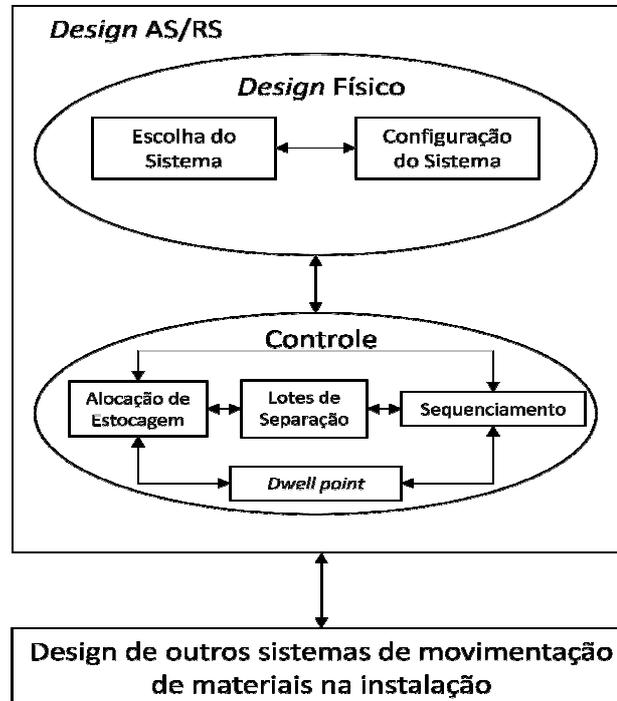
O problema de seleção de equipamentos de movimentação aborda o nível de automação a ser empregado no armazém e quais sistemas de armazenamento e manuseio de material devem ser empregados. Estas decisões, obviamente, são de natureza estratégica na medida em que afetam quase todas as outras decisões, bem como o investimento e o desempenho geral ([2]). Exemplos de sistemas automatizados são os sistemas de estocagem automática e sistema de reposição (AS / RS); *picking by voice* e sistemas de triagem.

Um AS / RS é um sistema de armazenamento, em que uma máquina executa atividades de manuseio de material, em caminhos fixos nos corredores dentro dos *racks* de armazenamento, sem a interferência de um operador, portanto, é totalmente automatizado. Normalmente, um AS / RS é feito pelos seguintes componentes: suportes de estocagem (SR), estocagem e recuperação de máquinas (S / R máquinas), entrada / saída (I / O) e transportadores locais ([8]; [23]; [35]; [61]; [65]).

Sobre o *design* de sistemas AS/RS's, o artigo [8] traz um framework (ver Figura 11), onde é explicado que AS/RS é apenas um sistema que pode ser encontrado em armazéns, e a sua performance é influenciada por decisões de outros sistemas e quais são as decisões dentro do escopo do AS/RS.

O uso de AS / RS tem várias vantagens sobre os sistemas não automatizados. Exemplos são a economia em custos trabalhistas e de espaço,

maior confiabilidade, melhor utilização do espaço e taxas de erro reduzidas. Aparentes desvantagens são os custos de investimento elevados (cerca de US\$ 634.000 por um único corredor AS / RS), menos flexibilidade e maiores investimentos em sistemas de controle (cerca de US \$ 103.000) ([8]; [25]; [35]).



FONTE: Roodbergen *et al.* (2009)

Figura 11: Design de um sistema AS/RS.

Outro ponto importante a ser considerado a respeito de recursos de movimentação interna é o congestionamento. Congestionamento em qualquer sistema de transporte impede os veículos de viajar livremente na rede de transporte. Assim, num sistema congestionado, os veículos podem viajar a velocidades reduzidas ou podem ser bloqueados. Geralmente, o congestionamento surge quando a procura de transporte se aproxima da capacidade ou um material de componente do sistema de manipulação (por exemplo, um veículo de manuseamento de materiais) bloqueia um segmento da rede. Fontes específicas de congestionamento do sistema incluem: o número de veículos em uma zona particular pode ser limitada, fazendo com que um grande número de veículos ocupem uma área de fluxo reduzida; veículos parados na *pick-up* podem bloquear o caminho de guia; intersecções; avarias de veículos e dois ou mais veículos competindo para utilizar o mesmo segmento ([54]; [67]).

A aplicação de sistemas automatizados envolve os fatores de ordem técnica e fatores humanos. Para isso é preciso saber como estes dois fatores interagem ao longo do tempo, quais são os problemas encontrados, qual é o tipo de necessidades de treinamento a serem fornecidas aos trabalhadores para prepará-los para a mudança. Em suma, é preciso uma compreensão de como os fatores humanos e tecnológicos interagem, e as etapas que passam antes de começar a executar em um nível ideal ([61]).

No Apêndice 7 encontra-se mais informações sobre os artigos da revisão que trataram sobre o tema, tanto do aspecto técnico, como pessoal.

4.3.4. Tecnologia da Informação e Controle

A implementação generalizada de novas tecnologias da informação (TI), tais como códigos de barras, a identificadores por rádio frequência (RFID), e sistemas de WMS, oferecem novas oportunidades para melhorar as operações do armazém. Estas oportunidades incluem, mas não estão limitadas a: controle em tempo real de funcionamento do armazém, comunicação fácil com as outras partes da cadeia de suprimentos e altos níveis de automação ([5]). A implantação dessas tecnologias são vistas como estratégicas e com um horizonte de planejamento de vários anos ([31]).

O cenário de conhecimento do conteúdo das mercadorias que chegam e são expedidas está se tornando cada vez mais comum através da aplicação de tecnologias de informação avançadas, tais como identificação por rádio frequência (RFID), GPS, intercâmbio eletrônico de dados (EDI) e navegação avançada avisos (*Advanced Shipping Notices* - ASN) ([5]; [24]; [31]; [37]; [65]; [66]). Com a melhoria na tecnologia da informação, torna-se possível desenvolver ferramentas que podem ajudar os gestores a lidar com questões de armazenagem e estoque com mais eficiência ([53]).

A principal tecnologia a respeito das atividade de armazenagem é o WMS. Existem inúmeros sistemas de WMS disponíveis no mercado, que basicamente ajudam o gerente de armazém a manter o controle dos produtos, encomendas, espaço, equipamentos e recursos humanos em um armazém, e estabelecer regras / algoritmos para atribuição de local de estocagem, lotes de separação, roteirização da separação, apoiar sistemas *just-in-time* de fornecedores e clientes, facilitar o

processo de logística reversa, *cross docking*, triagem, entre outros ([2]; [6]; [11]; [17]; [38]). É um banco de dados de aplicação orientada, que é usado para melhorar a eficiência do armazém, orientando os cortes para manter o inventário no nível exato e o registro das operações de armazém ([38]).

O artigo [34] fala sobre tecnologia integrada de servidores entre clientes e fornecedores. Esta tecnologia foi desenvolvida baseada na observação de que os dados dentro de uma organização são geralmente distribuídos de acordo com a distribuição da própria organização, de modo lógico (em departamentos, grupos de trabalho etc), e muito também fisicamente (em fábricas, armazéns, lojas etc.). Cada unidade dentro da organização tende a manter os dados que são relevantes para suas operações. Assim, a tecnologia apresentada oferece as pontes necessárias para ligar estas unidades. Isto é, oferece a vantagem de manter os dados localmente onde mais logicamente pertencem, enquanto ao mesmo tempo os dados podem ser acessados remotamente, quando necessário ([34]).

Em sistemas automatizados de movimentação de materiais *inbound*, as tecnologias têm papel imprescindível. É o que mostra o artigo [59] que traz uma revisão de literatura sobre sistemas de veículos guiados automaticamente (AVG). Segundo os autores, o sistema de agendamento veículo decide quando, onde e como deve agir um veículo para realizar tarefas, incluindo as rotas que deve tomar. Se todas as tarefas são conhecidas antes do período de planejamento, o problema de programação pode ser resolvido *offline*. No entanto, na prática, a informação exata sobre postos de trabalho (tarefas) é geralmente conhecido, em um momento muito tarde. Isso faz com que a programação *offline* seja quase impossível. Portanto, os sistemas *online* de escalonamento ou despacho são necessários para controlar veículos. Os dados de entrada para o problema de programação incluem uma matriz de distância de todos os locais de chegada, dados de carga (locais liberados, janelas de tempo), dados do veículo (tipo, capacidade, velocidade etc) e alguns dados opcionais (por exemplo, política de estacionamento) ([59]).

Modelos e trabalho tratando diretamente do tema estão relacionado no Apêndice 8.

4.3.5. Indicadores de desempenho e monitoração

Modelos analíticos de desempenho se dividem em duas categorias principais: modelos que se concentram em um único sistema de armazenamento, e modelos integrados que abordam vários sistemas de armazenamento ou critérios ([2]). Modelos integrados combinam análise tempo de viagem e os critérios de qualidade de serviço com outras medidas de desempenho, por exemplo, capacidade de armazenamento, custo de construção e custo operacional ([2]).

Avaliando os requisitos de capacidade deve-se considerar a sazonalidade, a política de armazenamento, e as características da ordem de pedido, porque esses três fatores interagem de forma a afetar a eficiência de armazenamento viável, ou seja, a fração de capacidade de armazenamento, que pode realmente ser utilizada de forma eficaz ([2]; [62]). Armazéns com maior eficiência têm, em média, uma menor sazonalidade. Em virtude dos recursos não serem completamente flexíveis, alta sazonalidade vai causar alguns efeitos negativos inevitáveis sobre o desempenho ([29]).

O artigo [17] propõe um modelo de WLI (*Warehouse Logistics Index*) no contexto da Força Área da Coréia (ROKAF - *Republic of Korea Air Force*) que considera a melhoria da capacidade logística dentro dos seguintes aspectos: gerenciamento de material, suporte para operações, gerenciamento da instalação, gerenciamento da mão de obra, gerenciamento da qualidade e sistemas de informação. Para cada aspecto um conjunto de variáveis mesuráveis foram definidas. Cada armazém da ROKAF foi avaliado e melhorias foram propostas, visando a modernização dos armazéns.

A métrica de avaliação de desempenho mais comum em *design* de armazéns é a distância percorrida internamente ([4]). Dois tipos de distância são amplamente utilizados na literatura sobre separação de pedidos: a distância média percorrida de *picking* (ou comprimento médio) e a distância total do percurso ([4]; [8]; [10]; [19]; [54]).

Segundo [54], essa métrica é eficaz se for considerado apenas um separador em operação. Para os autores, se mais de um separador trabalhar na mesma área e ao mesmo tempo, a medida de desempenho mais eficaz é o nível de congestionamento. O fator de congestionamento é medido pelo tempo em que o veículo fica bloqueado ([67]). O tempo de bloqueio é definido como o tempo total

durante o qual os veículos são incapazes de se mover devido à interferência ou obstrução por outros veículos ([67]).

Da distância percorrida é derivada outra métrica bastante usual, o tempo de processamento de pedido. Esta medida de desempenho é frequentemente usada em problemas de armazém especialmente no problema de separação de pedidos. O tempo total de processamento de um pedido é dado pela soma do tempo de viagem de separação e parada para acessar o SKU ([9]; [25]; [58]; [59]). Quanto mais rápido a ordem pode ser separada, mais cedo estará pronta para o embarque e maior o nível de serviço que o armazém pode proporcionar ([60]; [61]). A diferença entre distância e tempo de viagem está na velocidade de movimentação, tanto vertical, como horizontal, indicando que nem sempre são métricas que apresentam a mesma proporção ([21]).

Sob o ponto de vista operacional, métricas de desempenho relacionadas à estocagem e separação da ordem são mais comuns, dado que essas duas operações têm o maior impacto sobre o desempenho operacional do armazém geral, incluindo a capacidade de armazenamento, a utilização do espaço e eficiência na separação de pedidos ([5]). Em muitas situações práticas, objetivos diferentes, tais como o atraso, ou o tempo de ciclo do pedido, também são importantes como a medida de desempenho ([5]; [22]).

Outra métrica de desempenho da operação de separação é a densidade média de separação de pedidos, que é definida como a média da variedade de itens em um pedido do cliente, que afeta o desempenho da separação, calculado por: número de itens em uma ordem de cliente dividido pelo número total de itens no armazém. Por exemplo, existem 24 itens em um pedido do cliente, enquanto o número total de itens é de 120, a densidade de seleção é de $24 / 120 = 20\%$ ([21]).

Outros critérios de desempenho são: uso do espaço; uso de equipamentos; utilização de mão de obra, acessibilidade a todos os itens; acurácia na montagem dos pedidos, tempo de espera para estocagem, horas de trabalho, tempo de espera para processar um lote inteiro de separação, número de atraso, ou uma combinação destes ([4]; [6]; [8]; [17]; [21]; [29]; [36]; [38]; [52]; [58]; [59]).

O uso de combinação de fatores e seleção de indicadores de desempenho, tais como o tempo para recuperação e distância da viagem, o desempenho de cada combinação de fatores pode ser diferente. O melhor desempenho em termos de tempo de separação da ordem pode resultar em distância mais longa de viagem.

Por exemplo, os resultados do artigo [21] mostram que o armazenamento horizontal ABC com base na classe tem um desempenho oposto sob indicadores de desempenho diferentes.

Uma forma de avaliar o desempenho do armazém de forma sistemática é a metodologia de *benchmarking*, que consiste no processo de avaliar sistematicamente o desempenho de um armazém, identificando ineficiências e propondo melhorias. Análise Envoltória de Dados (DEA) é considerada como uma ferramenta adequada para esta tarefa por causa de sua capacidade de capturar simultaneamente todas as entradas relevantes (recursos) e saídas (performances), para construir a fronteira de melhor desempenho, e revela as deficiências relativas de ineficiente armazéns ([2]; [29]). Na presente revisão não foram encontrados artigos que se utilizassem da metodologia de *benchmarking* para avaliar a performance de um armazém.

4.4. OUTPUTS

Com a implantação ou *redesign* de um armazém pretende-se maximizar o nível de serviço sujeito a restrições de recursos ou, de forma dual, minimizar os custos de *design* sujeito a restrições de atendimento ao nível de serviço ([4]; [11]; [15]; [62]).

O nível de serviço é composto por uma variedade de métricas de desempenho, tais como taxa de processamento dos pedidos, média e variação do tempo de entrega, a integridade e precisão da ordem. Quanto mais rápido uma ordem pode ser montada, mais cedo ela estará disponível para envio ao cliente ([11]). Além disso, tempos de separação de ordens curtos implicam numa elevada flexibilidade em lidar com alterações de última hora das encomendas ([4]; [11]; [41]; [53]).

Há uma pressão enorme para, simultaneamente, aumentar a taxa de processamento e diminuir os custos operacionais de armazéns ([20]; [23]). Segundo [49], a qualidade da eficiência e eficácia das redes derivadas de fornecimento, e neste contexto estão inseridos os armazéns, pode ser avaliada através do equilíbrio entre índices financeiros e métricas de desempenho operacional. Dentre as medidas com base no fluxo financeiro, os exemplos são: minimização de custos, maximização de vendas, maximização do lucro,

minimização investimento em estoques e retorno sobre o investimento. Por outro lado, dentre as medidas com base na resposta ao cliente, destacam-se: maximização da taxa de processamento do pedido; minimização de atraso do produto; e minimização do tempo de resposta.

Um meio de melhorar a taxa de processamento é usando o armazenamento automático e sistemas de recuperação (AS/RS) ([20]; [23]). Todavia estes sistemas requerem um investimento muito elevado, principalmente devido ao seu elevado nível de automação. Para reduzir os investimentos iniciais e aumentar o desempenho do AS / RS, várias soluções estruturais têm sido desenvolvidas, como a *double deep racks*, para maior capacidade, ou sistemas com guias que podem mudar de corredor ([23]).

Apenas quatro modelos analisados na revisão apresentaram a abordagem de minimização de custos e atendimentos ao requisitos de taxa de processamento da ordem de pedido ([6]; [9]; [12]; [19]). Outro fatores do nível de serviço, como média e variação do tempo de entrega, a integridade e precisão da ordem, não foram contemplados em nenhum modelo.

No artigo [6] a função objetivo compreende minimizar os custos de separação de pedido, considerando mão de obra, equipamentos e sistemas de triagem, atendendo aos requisitos de taxa de processamento das ordens, considerando fatores como bloqueio de separadores e desbalanceamento da força de trabalho, que podem comprometer o atendimento ao nível de serviço. O artigo [12] adiciona o custo de espaço de estocagem à função objetivo. Já os artigos [9] e [19] objetivam minimizar o custo de movimentação de materiais, restritos à questão de atendimento à taxa de processamento do pedido ([9]) e atendimento à demanda esperada ([19]).