

METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE TERMINAIS LOGÍSTICOS INTEGRADOS

Leise Kelli de Oliveira – Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia - Universidade Federal de Minas Gerais – leise@etg.ufmg.br

Vagner de Assis Correia – Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia - Universidade Federal de Minas Gerais – vagner.ac@gmail.com

ABSTRACT

As urban activities require the supply of goods, there is an important field of research to reduce the flow of vehicles in these centres. There are several studies that show that the urban distribution is not efficiently organized, and there are several applications to reduce the traffic of heavy vehicles in large cities through the coordination and consolidation of freight transportation. Still, the goods distribution is an economic activity, involving many factors that determine the efficiency of the system. In this system, the logistics terminals are an important element for the distribution, mainly because it involves the last link in the supply chain. The main function of logistics terminal is to seek to integrate the elements of this network to minimize the costs associated with the urban distribution. The concepts of city logistics, urban logistics terminals are among one of the important solutions to reduce the number of delivery vehicles in urban areas, cargo consolidation and cost minimization. However, this concept is relatively new and needs to be investigated intensively in several areas, such as the functions, size, location and management. In this way, location problems and sizing problems are classified such as strategic decisions due to their significant impact over of supply chain performance. Accordingly, this paper presents a literature review of the evolution of traditional logistics terminal for integrated logistics terminal, and proposes a methodology for localization and sizing of these facilities, pointing out the main benefits of applying this methodology for urban logistics.

Keywords: City logistics, logistics terminal, methodology, sizing and location

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas do século passado observou-se uma considerável expansão de várias cadeias de suprimentos, como a automobilística, aparelhos eletrônicos, computadores, entre outras (Meixell e Gargeya, 2005). A globalização da economia, a liberação dos mercados e

o aumento do comércio eletrônico e da exigência dos consumidores influenciam diretamente a movimentação de cargas. Neste sentido, busca-se o aperfeiçoamento das operações logísticas com intuito de reduzir os custos ou aumentar o nível de serviço ao cliente. É internacionalmente reconhecida a importância da intermodalidade para a eficiência das operações logísticas e os benefícios que ela pode trazer sobre a redução dos custos de transporte (Zografos e Regan, 2004).

Crainic e Kim (2007) definem o transporte intermodal como “*o transporte de uma pessoa ou carga de uma origem para um destino com a sequência de pelo menos dois modos de transporte*”, a transferência de um modo para outro é realizada no terminal intermodal. An Caris *et al.* (2008) salientam que o transporte de carga intermodal tem recebido grande atenção em virtude do avanço dos problemas com congestionamento e a preocupação com o meio-ambiente e a segurança no tráfego. Além disto, o reconhecimento da importância estratégica da velocidade e da agilidade na cadeia de suprimentos está forçando as empresas a reconsiderar os serviços logísticos tradicionais. Como consequência, An Caris *et al.* (2008) relatam o crescente interesse em pesquisas envolvendo os problemas de transporte de cargas intermodais.

Vale mencionar que os sistemas de transportes possuem uma significativa complexidade envolvendo pessoas e recursos materiais com diversos relacionamentos e *trade-offs* entre várias decisões e políticas de gestão que afetam diferentes componentes (Crainic e Laporte, 1997). Neste sentido, Crainic e Laporte (1997) classificam estas políticas em níveis de planejamento estratégico, tático e operacional. O planejamento em nível estratégico refere-se às decisões que envolvem a alta gestão organizacional implicando em grandes investimentos em um longo horizonte de tempo. Os principais exemplos de ações neste nível reportam-se ao desenho de uma rede de distribuição de produtos e sua evolução, localização das instalações essenciais, definição do nível de serviço e preços, etc. O planejamento tático objetiva assegurar, em um horizonte médio de tempo, uma alocação eficiente e racional dos recursos existentes com intuito de aumentar a desempenho de todo o sistema. Decisões táticas incluem a escolha de rotas de entregas, o tipo de serviço da operação, as regras gerais para a operação de cada terminal e alocação de trabalho entre terminais, etc. Já o planejamento operacional é realizado pela gestão local em um ambiente altamente dinâmico onde o fator tempo e uma detalhada operação de veículos, instalações e atividades são fundamentais. Crainic e Laporte (1997) exemplificam a aplicação de modelos envolvendo problemas existentes em cada nível de planejamento.

An Caris *et al.* (2008) seguem o modelo adotado por Crainic e Laporte (1997), conforme apresentado anteriormente, para abordar os problemas concernentes ao transporte intermodal de cargas. Neste sentido, os autores ilustram diversas pesquisas científicas realizadas na literatura recente envolvendo o planejamento estratégico, tático e operacional. Vale salientar que An Caris *et al.* (2008) acrescentam em sua pesquisa os problemas com aplicações integradas que abordam os três níveis de planejamento citados por Crainic e Laporte (1997). Nestes tipos de problema mesclam-se múltiplos níveis de decisão que são classificados por An Caris *et al.* (2008) em quatro operadores principais, a saber: transporte, terminal, rede e intermodal. Os operadores de transporte organizam o planejamento e o agendamento de veículos entre terminais, embarcadores e recebedores. Já os operadores de terminal administram as operações de transbordo entre os diferentes modais de

transporte. Os operadores de rede são responsáveis pelo planejamento da infra-estrutura e organização das ferrovias, embarcações, etc. Finalmente, os operadores intermodais podem ser considerados como os usuários da infra-estrutura intermodal, dos serviços e da seleção da rota mais apropriada para transferência em toda a rede intermodal (An Caris *et al.*, 2008). É importante destacar que Crainic e Laporte (1997) e An Caris *et al.* (2008) classificam os problemas de localização e dimensionamento de terminais em uma perspectiva estratégica na cadeia de suprimentos. Este fato demonstra o significativo impacto das decisões envolvendo estes problemas no desempenho de toda a rede de abastecimento. No entanto, vale frisar que não é vasta a literatura sobre o dimensionamento de sistemas para transporte de carga. Alguns problemas são geralmente dirigidos para a avaliação de alternativas usando modelos de rede para as atividades de transporte táticas e operacionais. Geralmente, os modelos propostos se referem a formulações de localização discretas para a solução de problemas de localização de terminais de consolidação de cargas (Crainic e Kim, 2007). A seguir será apresentada a fundamentação teórica que deu suporte à elaboração desta pesquisa, além da descrição da metodologia proposta para o dimensionamento e localização de terminais logísticos e, por último, as considerações e recomendações para trabalhos futuros.

REFERENCIAL TEÓRICO

Localização de Instalações

A decisão sobre o local mais apropriado para se instalar um terminal logístico integrado constitui-se num aspecto fundamental na concepção da estratégia competitiva de uma cadeia de suprimentos. Neste sentido, pode-se centralizar com intuito de obter economias de escala ou descentralizar para se tornar mais responsiva, diminuindo a distância entre os pontos de suprimento e consumo (Chopra e Meindl, 2003).

A escolha entre centralizar e descentralizar influencia o comportamento dos custos totais logísticos e do nível de serviço (Chopra e Meindl, 2003). Assim, é essencial analisar os *trade-offs* que envolvem esta decisão estratégica, merecendo destaque o impacto da variação do nível de serviço ao cliente nos custos de estoque, transportes e instalações. Em relação aos custos de estoque, verifica-se que ele aumenta à medida que o número de instalações se amplia em virtude do efeito da desagregação do estoque de segurança. No tocante aos custos de transporte, observa-se que, de uma maneira geral, ele diminui com a ampliação do número de instalações devido à diminuição da distância entre os pontos de consumo e de suprimento. No que se refere aos custos de instalações, nota-se que ele é acentuado com o acréscimo de instalações uma vez que aumenta-se os custos fixos (aluguel, construção, etc) e variáveis (produção, operação de depósito, etc). Avaliando os custos logísticos totais, Chopra e Meindl (2003) salientam que estes custos diminuem em um primeiro momento e depois aumentam. Desta forma, é fundamental a busca de um equilíbrio entre os custos logísticos totais e o nível de serviço ao cliente, uma vez que o foco de uma empresa deve ser em maximizar seus lucros e não simplesmente em determinar o custo mínimo de uma operação. Neste sentido, analisando a literatura, observa-se que os problemas de localização de instalações se configuram como importantes ferramentas para

a determinação de um número ótimo de instalações tendo em vista o *trade-off* entre custos e nível de serviço ao cliente.

Daskin (2008) menciona que os modelos de localização de instalações possuem uma aplicação bem diversificada, incluindo a localização de: bases de serviços médicos emergenciais, corpo de bombeiros, escolas, hospitais, armazéns, pontos para a eliminação de resíduos, entre outros. É importante salientar que os modelos de localização podem ser subdivididos utilizando vários critérios, Daskin (2008) baseia-se no espaço em que os problemas são modelados. Desta forma, o autor identifica quatro grupos de modelos, a saber: analíticos, contínuos, redes e discretos. Estes modelos se diferenciam pela forma com que a demanda é distribuída sobre uma área de serviço e o modo como as instalações podem ser localizadas dentro desta área.

Segundo Daskin (2008), nos modelos discretos a demanda geralmente origina-se nos nós do grafo e as instalações são restringidas por um conjunto finito de locais candidatos. Nestes modelos a utilização de uma distância métrica é opcional. A distância ou os custos entre qualquer par de nós pode ser arbitraria, desde que seja seguida alguma regra, por exemplo: Euclidiana, Manhattan, redes, ou distância no grande círculo. Daskin (2008) classifica os modelos de localização discreta baseados em cobertura (cobertura de conjuntos, máxima cobertura, p-centro), mediana (p-mediana e não-capacitados) e outros (p-dispersão).

Os modelos baseados em cobertura são fundamentados no modo em que a demanda será atendida, partindo da determinação de um nível de serviço ao cliente (distância ou tempo máximos de atendimento) (Daskin, 2008). Sahin e Süral (2007) salientam que nos modelos de cobertura a demanda não é, necessariamente, satisfeita pela instalação mais próxima. No entanto, ela deve ser satisfeita por pelo menos uma instalação dentro de um intervalo (distância ou tempo) limite.

No tocante aos modelos de baseados em mediana, Daskin (2008) menciona que eles minimizam a distância média entre um nó de demanda e a instalação que lhe é atribuída. Este tipo de modelo é tipicamente usado na localização de centros de distribuição de mercadorias.

Em relação aos outros tipos de modelos de localização de instalações, Daskin (2008) destaca o método p-dispersão que visa maximizar a distância mínima entre qualquer par de instalações com intuito de minimizar a concorrência entre as instalações. A localização de pontos de franquias e de varejistas de uma rede pode ser exemplificada como um tipo de problema abordado por este método. Aboolian *et al.* (2006) desenvolveram um modelo para otimizar simultaneamente a localização e o desenho de um dado conjunto de instalações dado uma restrição orçamentária e a competição com instalações pré-existentes. Zhang e Rushton (2008) propuseram um modelo para selecionar locais em sistemas competitivos de serviços. Os autores realizaram um estudo de caso para a localização de agências bancárias, considerando a competição entre os estabelecimentos existentes, a acessibilidade aos clientes, a qualidade do serviço e restrições orçamentárias.

É importante mencionar que os modelos apresentados possuem algumas limitações. Daskin (2008) relata que os modelos de cobertura de conjuntos podem determinar um número muito grande instalações tornando a rede inviável economicamente. Isto porque busca-se atender a demanda de todos os clientes sem ponderar pelo potencial de cada um. Além

disto, neste tipo de modelagem podem existir várias soluções ótimas para o mesmo tipo de problema. Já os problemas de p-mediana ignoram a variação nos custos de localização de instalações em diferentes locais. Apesar das limitações, o autor salienta que estes modelos se configuram como importantes ferramentas para avaliar o *trade-off* entre os diferentes objetivos, isto é, minimizar a distância média ou maximizar a distância/tempo máximo entre clientes e instalações. Além disto, oferecem boas soluções para os problemas de localização de instalações. A seguir serão apresentadas algumas aplicações de modelos envolvendo a localização de terminais intermodais de carga.

Bergqvist e Tornberg (2008) salientam que a escolha da localização de um terminal intermodal é uma decisão que acarreta implicações não apenas para a cadeia de abastecimento, mas para toda a população residente nas mediações desta instalação. A cadeia de abastecimento necessita estimar o tráfego e incorporar os custos de cada localidade em potencial como forma de auxiliar na decisão de investimento. Já o poder público demanda de instrumentos e ferramentas para analisar o efeito do terminal intermodal sobre o meio ambiente que também permite uma comparação entre locais candidatos com intuito de assegurar a sustentabilidade e a competitividade em longo-prazo. Bergqvist e Tornberg (2008) desenvolveram um modelo que permite a avaliação comparativa de um conjunto possível de locais candidatos tendo em vista o fluxo de materiais e os dados relacionados à infra-estrutura. Cada local candidato foi avaliado de acordo com: custos, baseando-se na distância entre origem destino; impactos ambientais, isto é, barulho e emissão de poluentes; e qualidade, seguindo o tempo de transporte dos fluxos de materiais em todo sistema de distribuição.

Farahani *et al.* (2008) desenvolveram um algoritmo utilizando técnicas de programação dinâmica para a localização de uma instalação com múltiplas oportunidades de realocação com intuito de minimizar o custo total de localização e realocação. O modelo desenvolvido assume um conjunto pré-definido de tempos de realocação e que todo ponto na rede é um local candidato para instalação de um terminal. Desta forma, o problema trata de escolher o melhor tempo de realocação para minimizar o custo total.

Sirikijpanichkul *et al.* (2007) instituíram um modelo integrado para a avaliação de decisão de localização de terminal intermodal rodo-ferroviário. O modelo é baseado em uma análise multi-objetivo que visa satisfazer o interesse de cada agente envolvido no processo de localização do terminal, a saber: operadores ou donos do terminal, prestadores da infraestrutura da rede de transporte, usuários do terminal e a comunidade. O processo de escolha inicia-se com uma análise da localização potencial dos terminais por meio de um modelo baseado em cobertura de conjunto. Após a determinação dos locais candidatos é realizada uma análise de cenário variando o número, capacidade e localização padrão de cada terminal proposto. Desta forma, busca-se remover locais candidatos seguindo critérios como a capacidade de acomodar um aumento de demanda. Em seguida, os locais candidatos são analisados por cada *stakeholder* e um modelo de avaliação multi-objetivo é utilizado com intuito de determinar uma solução satisfatória para cada agente. O processo é repetido interativamente até uma solução final ser alcançada.

Dimensionamento de terminais

Laporte e Cricanic (1997) e An Caris *et al.* (2008) consideram que o dimensionamento de terminais é parte fundamental do problema de planejamento estratégico em uma cadeia de suprimentos. As decisões em relação ao dimensionamento incluem o tipo e a quantidade de equipamento utilizado, o tipo e a capacidade de carga armazenada na instalação, o modo em que as operações são realizadas no terminal e como o equipamento é usado, e o *layout* do terminal. Modelos de simulação têm sido desenvolvidos por vários pesquisadores com intuito de buscar soluções para o dimensionamento de terminais logísticos (An Caris *et al.*, 2008). A seguir serão apresentados alguns estudos envolvendo os problemas de dimensionamento de terminais.

Vis (2006) apresenta um modelo de simulação para a escolha do tipo de material armazenado e a recuperação de containers para terminais marítimos. Vis (2006) compara o uso de equipamentos manuais e automáticos tendo como medida de desempenho o tempo total de viagem requerido por cada um. Desta forma, é realizada uma análise de sensibilidade com os dados obtidos com a simulação com intuito de verificar a melhor composição de equipamentos de acordo com o tipo de material armazenado.

Solak *et al.* (2009) desenvolveram um algoritmo para a determinação da capacidade ótima para cada área de um terminal aeroportuário. Os autores realizaram simulações com base em modelos de filas para estimar o nível de capacidade necessária para a realização de uma operação mais eficiente. Considerou-se o nível de serviço como o tempo total gasto por um passageiro em todo o sistema e este foi utilizado como critério na definição do dimensionamento do terminal.

Kozan (2006) apresentou um modelo de simulação analítico com intuito de verificar atrasos de veículos tendo em vista diferentes configurações de serviço. Os resultados das simulações são utilizados para determinar o melhor *trade-off* entre o custo dos atrasos dos veículos e a variação do nível de serviço desejado. Kozan (2006) ressalta que o nível de serviço ao cliente em um terminal intermodal depende, principalmente, da eficiência nas operações de carga e descarga de veículos sem atrasos.

Bassan (2007) desenvolveu uma metodologia para examinar a qualidade das operações e a rentabilidade de potenciais melhorias em terminais portuários. Neste sentido, o autor usou técnicas de simulação para entender o comportamento do terminal portuário e estimar medidas de desempenho.

Taniguchi *et al.* (1999) descreveram um modelo matemático para determinar o tamanho e a localização ótima de terminais logísticos públicos considerando as condições de tráfego da rede de transportes. Foram utilizadas técnicas de programação não linear e teoria de filas para a determinação da melhor solução. O modelo desenvolvido possui as seguintes características: determinação da localização ótima dos terminais logísticos a partir de nós candidatos especificados discretamente dentro da rede rodoviária; consideração dos *trade-offs* entre custos de transportes e custos das instalações; os planejadores podem determinar a localização e o tamanho ideal do terminal logístico, mas não podem controlar a distribuição e a atribuição do tráfego de veículos; a distribuição de produtos é determinada pelos pares de centróides de cada linha de veículos de coleta e entrega, neste sentido, cada veículo tenta minimizar seus custos pela escolha do terminal logístico de acordo com os nós candidatos.

A IMPORTÂNCIA DOS TERMINAIS LOGÍSTICOS

Os terminais se apresentam em muitas formas e tamanhos e podem ser especializados em modos de transportes e produtos específicos ou podem oferecer um completo conjunto de serviços. As operações realizadas em um terminal incluem o carregamento e descarregamento de veículos, triagem e consolidação de cargas e veículos, composição e decomposição de comboios, e alocação de veículos para os serviços (Cranic e Kim, 2007).

Nathanail (2007) salienta que os terminais logísticos são considerados nós chave ao longo de um corredor de transporte na medida em que são responsáveis pela transferência de um modo de transporte para outro dando suporte à pelo menos dois modais. O objetivo principal de um terminal logístico integrado é dar suporte ao transporte intermodal de carga e ao mesmo tempo buscar a minimização do custo total de transporte, a eliminação do congestionamento de tráfego, e a redução da poluição e deterioração ambiental. Neste sentido, Zanni e Bristow (2010) revelaram que experimentos em várias cidades européias têm alcançado uma redução na emissão de dióxido de carbono (CO₂) na ordem de 60% em áreas urbanas congestionadas após a implantação de terminais logísticos.

Os terminais logísticos podem ser classificados em quatro grandes categorias que se relacionam aos modos de transportes, seus principais objetivos, localização, rede de transportes, e seus *stakeholders*. Estas categorias são: terminais urbanos, parque industrial e logístico, áreas logísticas especiais e centros de cargas (Nathanail, 2007).

Segundo Browne *et al.* (2005) o uso de um centro de consolidação urbano de cargas pode resultar em substanciais benefícios para o transporte, entre estes podem ser citados:

- Redução no número de viagens dos veículos de carga. Segundo Zanni e Bristow (2010) esta economia pode chegar a 25% do tráfego de veículos de carga;
- Redução da distância percorrida pelos veículos;
- Aumento da produtividade do veículo e do motorista;
- Diminuição do número de veículos na região de influência do terminal logístico urbano;
- Oportunidade para aumento de receita em virtude de cargas de retorno.

Embora a idéia de terminais logísticos seja uma alternativa para o aumento da eficiência na distribuição urbana por reunir em um mesmo lugar várias companhias de transporte, são vários os problemas que podem surgir desta cooperação. Segundo BESTUFS (2003), os principais problemas são:

- Falta de interesse econômico;
- Falta de cooperação devido a competição existente no setor;
- Relutância para renunciar ao controle sobre a comercialização e a cadeia de transporte, principalmente a responsabilidade para com a mercadoria transportada;
- Menor contato direto entre os embarcadores e as companhias de entrega;
- Muitas companhias atribuem mais prioridade para o serviço ao cliente e vantagens competitivas, do que para a redução dos custos de transporte.

Rotter (2004) apresenta o conceito de *mega hub* como um terminal rodo ferroviário que visa ofertar serviços de transporte ferroviário a áreas com potencial de agregação de cargas reduzido. Neste sentido, combina-se a flexibilidade de múltiplos grupos de serviços do modal ferroviário com a boa relação custo e qualidade possibilitada por estes equipamentos.

No *mega hub* as cargas são transferidas dos caminhões e grandes comboios de vagões para comboios menores que atenderão as áreas que não apresentam demanda para a consolidação de um relevante montante de entregas, tipicamente, cidades médias.

Song e Panayides (2007) relatam a cerca da importância da integração portuária na cadeia de suprimentos em que os portos recebem cargas de navios para serem distribuídas por meio dos modais ferroviário, aquaviário e rodoviário e também recebem cargas destes modais para carregamento dos navios e, conseqüente, entrega para o destino final. A coordenação e a interconectividade entre os vários pontos da rede e os modais utilizados são fundamentais neste sistema logístico.

No Brasil alguns pesquisadores têm discutido a respeito do conceito de Plataforma Logística como pode ser visto nos trabalhos de Bacovis (2007), Braga (2008), Duarte (2004), Dubke (2004) e Rosa (2004) como forma de possibilitar a oferta de serviços logísticos integrados na cadeia de abastecimento. Duarte (2004) ressalta que plataformas logísticas são pontos ou áreas de ligação das cadeias de transporte e logística nas quais concentram atividades e funções técnicas de valor agregado que pode resultar na redução de custos em toda cadeia de abastecimento. Apesar da importância estratégica das plataformas logísticas observa-se que existem poucas iniciativas concretas de aplicação deste conceito em virtude da infraestrutura disponível e de problemas institucionais entre Estados e União que dificultam a integração modal.

METODOLOGIA PROPOSTA

Os problemas de congestionamento estão se tornando cada vez piores nos centros urbanos, parte devido ao aumento do fluxo de caminhões, que causa conseqüente aumento dos custos de transportes. Este aumento é atribuído ao fato de que pequenas cargas de mercadorias são transportadas com uma freqüência maior para reduzir os custos de estoques e satisfazer as necessidades dos clientes. Os veículos de carga são os maiores geradores de problemas ambientais provenientes do tráfego, como ruído, poluição do ar e vibração. Segundo Taniguchi *et al.* (1999), o conceito de terminal logístico integrado não tem a intenção de restringir as atividades econômicas das empresas privadas no mercado competitivo, mas motivá-las a resolver os problemas sociais citados acima através de um sistema logístico mais eficiente para as empresas e para a sociedade.

Esta metodologia tem como objetivo integrar trabalhos desenvolvidos isoladamente por pesquisadores em um único fluxo, numa metodologia integrada que se preocupe tanto com a localização do terminal para que este produza mínimos impactos para a sociedade, como para uma operação interna adequada, que suporte o fluxo de mercadorias movimentadas diariamente no terminal.

Neste sentido, a metodologia proposta neste artigo contempla quatro fases distintas, como mostra a Figura 1. Em seguida, encontra-se o detalhamento de cada uma das fases.

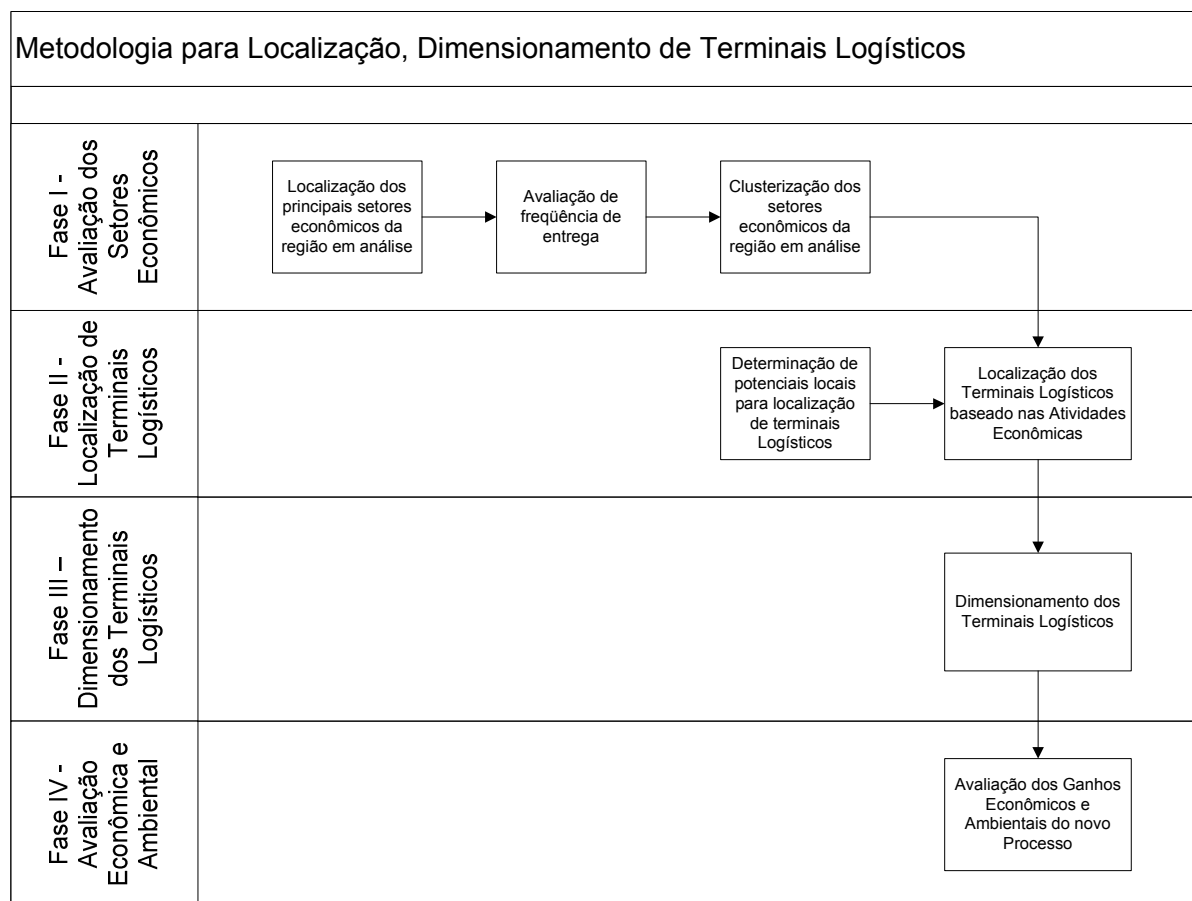


Figura 1 – Fluxograma da Metodologia Proposta

Fase I: Avaliação de Setores Econômicos

A fase I consiste em diagnosticar a atual situação da distribuição de mercadorias, identificando os principais setores econômicos desta região, área de atuação, frequência de entrega, tipo de produto, dentre outros fatores.

Estas informações são importantes para se determinar a clusterização dos setores econômicos e, identificar as principais regiões de entrega, bem como a frequência e o tipo de produto entregue.

Fase II: Localização dos Terminais Logísticos Integrados

Na fase II, conhecendo-se os potenciais pontos disponíveis para a localização dos terminais logísticos, faz-se uso da consolidada teoria de localização para determinar a melhor posição, avaliando o *trade-off* entre nível de serviço e custo de distribuição. Isto é importante para que pontos mais distantes da rede não sejam penalizados com um custo de entrega elevado, dada a localização do terminal logístico.

Para tanto, considere a Figura 3. Existem N pontos de produção de mercadorias e M pontos de pontos de consumo. Cada ponto é representado pela coordenada cartesiana (x_i, y_i) (Figura 3). O problema consiste em determinar as coordenadas do depósito (x_D, y_D) , de modo a otimizar uma função pré-definida.

O caso mais comum é considerar o custo global de transporte como função objetivo a minimizar.

Seja O_i ($i = 1, 2, \dots, N$) o fluxo gerado no ponto de produção i e destinado ao depósito. Seja D_j o fluxo consumido no ponto j ($j = 1, 2, \dots, M$), proveniente do depósito ou armazém. Admitindo equilíbrio entre entradas e saídas, deve-se observar:

Equação 1

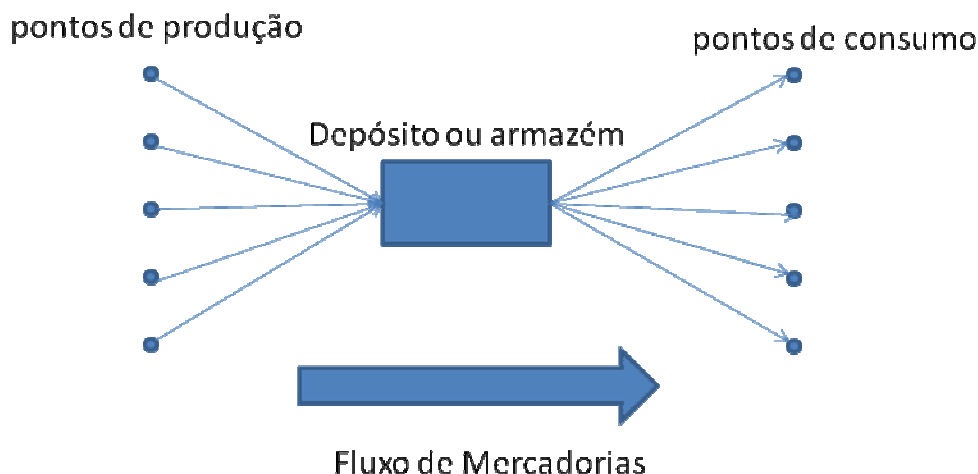


Figura 2 – Localização dos pontos de produção e de consumo

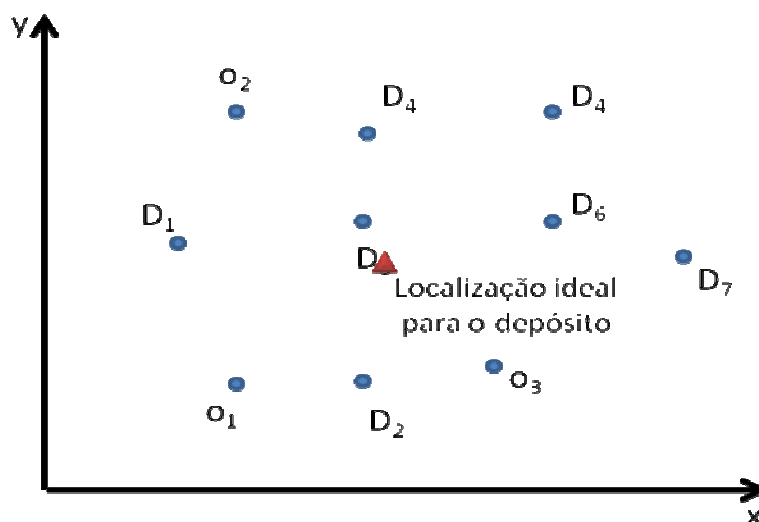


Figura 3 – Localização dos pontos de produção e de consumo

Eventualmente, poderá ocorrer, no período de tempo considerado, um excesso de produção, ou seja, $\sum_i O_i = \sum_j D_j$

Seja C_i o custo unitário de transporte, em \$/ton-km, entre o ponto de produção i e o depósito. Seja C_j o custo unitário de transporte entre o depósito e o destino j . O custo total de transporte global do sistema, para representação euclidiana, é dado por:

$$C_T = \sum_{i=1}^N C_i O_i \sqrt{(x_D - x_i)^2 + (y_D - y_i)^2} + \sum_{j=1}^N C_j O_j \sqrt{(x_D - x_j)^2 + (y_D - y_j)^2}$$

O processo para determinação do par (x_D, y_D) que torna mínimo o custo global de transporte C_T é semelhante ao método usado para encontrar o ponto central do sistema. Basta considerar os produtos $C_i O_i$ e $C_j O_j$ como os pesos P_i adotados naquela formulação.

Derivando a função custo em relação a (x_D, y_D) , respectivamente, e igualando a zero, vem:

$$\frac{\partial C_T}{\partial x_D} = \sum_{i=1}^N C_i O_i (x_D - x_i) \frac{1}{\sqrt{(x_D - x_i)^2 + (y_D - y_i)^2}} + \sum_{j=1}^N C_j O_j (x_D - x_j) \frac{1}{\sqrt{(x_D - x_j)^2 + (y_D - y_j)^2}} = 0$$

$$\frac{\partial C_T}{\partial y_D} = \sum_{i=1}^N C_i O_i (y_D - y_i) \frac{1}{\sqrt{(x_D - x_i)^2 + (y_D - y_i)^2}} + \sum_{j=1}^N C_j O_j (y_D - y_j) \frac{1}{\sqrt{(x_D - x_j)^2 + (y_D - y_j)^2}} = 0$$

Para resolver o sistema de duas equações e duas incógnitas acima, partimos de uma primeira aproximação para as coordenadas do depósito, dada por:

$$x_D^0 = \frac{\sum_{i=1}^N C_i O_i x_i + \sum_{j=1}^N C_j O_j x_j}{\sum_{i=1}^N C_i O_i + \sum_{j=1}^N C_j O_j}$$

e

$$y_D^0 = \frac{\sum_{i=1}^N C_i O_i y_i + \sum_{j=1}^N C_j O_j y_j}{\sum_{i=1}^N C_i O_i + \sum_{j=1}^N C_j O_j}$$

Adotando provisoriamente essas coordenadas, podemos calcular as distâncias euclidianas dos diversos pontos ao depósito:

$$DE_i^0 = \sqrt{(x_D^0 - x_i)^2 + (y_D^0 - y_i)^2}$$

e

$$DE_j^0 = \sqrt{(x_D^0 - x_j)^2 + (y_D^0 - y_j)^2}$$

As equações acima fornecem uma nova estimativa para (x_D, y_D) . De maneira geral, o cálculo da iteração de ordem l , de (x_D, y_D) é feito através das relações:

$$x_D^{(l)} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{C_i O_i x_i}{DE_i^{l-1}} + \sum_{j=1}^N \frac{C_j O_j x_j}{DE_j^{l-1}}}{\sum_{i=1}^N \frac{C_i O_i}{DE_i^{l-1}} + \sum_{j=1}^N \frac{C_j O_j}{DE_j^{l-1}}}$$

e

$$y_D^{(l)} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{C_i O_i y_i}{DE_i^{l-1}} + \sum_{j=1}^N \frac{C_j O_j y_j}{DE_j^{l-1}}}{\sum_{i=1}^N \frac{C_i O_i}{DE_i^{l-1}} + \sum_{j=1}^N \frac{C_j O_j}{DE_j^{l-1}}}$$

Para testar a convergência pode-se considerar as diferenças relativas entre os valores das coordenadas do depósito, em iterações sucessivas (Novaes, 1989). O processo termina quando tais diferenças forem menores do que a precisão desejada:

$$\frac{|x_D^{(i)} - x_D^{(i-1)}|}{x_D^{(i-1)}} \leq \varepsilon \quad \text{e} \quad \frac{|y_D^{(i)} - y_D^{(i-1)}|}{y_D^{(i-1)}} \leq \varepsilon$$

Fase III: Dimensionamento dos Terminais Logísticos

Conhecendo-se a localização e a região de influência do Terminal Logístico, nesta fase realiza-se o seu dimensionamento.

Para o dimensionamento, existem vários caminhos. Modelos de regressão têm sido utilizados para determinar o tamanho do terminal logístico integrado em áreas urbanas, pois podem representar a relação entre o tamanho da facilidade e a quantidade de mercadorias da companhia, embora eles não representem os impactos globais no sistema logístico urbano, especialmente as condições de tráfego. Para isto, o comportamento dos veículos de carga dentro e fora dos terminais logísticos integrados precisa estar incorporado no modelo para determinar seu tamanho ideal.

Taniguchi *et al.* (2001) propõe um modelo para determinar o tamanho ótimo de um terminal logístico integrado utilizando teoria de fila. O foco deste modelo é otimizar o número de baias para carga e descarga de mercadorias. O número de baias influencia o comportamento dos caminhões em outros locais do terminal, bem como as condições de tráfego fora do terminal.

Outra maneira que apresenta resultados muito promissores é a simulação das operações de um terminal logístico. Estudos ainda não divulgados indicam o aumento de produtividade de até 30%, redução de custos de até 40% e redução dos tempos de espera de veículos para operação de carga/descarga em até 80%.

Um modelo de simulação permite determinar qual o modelo operacional que atende à movimentação de mercadorias, dimensionamento de recursos, plataformas de embarque e desembarque. Além disto, pode-se verificar se a infraestrutura é fator determinante de gargalos logísticos, bem como, observar se as políticas de coleta/picking/embarque de mercadorias é a mais adequada para o volume de movimentação previsto.

Ainda, nesta fase, é importante garantir um projeto com mínimo impacto ambiental, desta forma, sugere-se a utilização de veículos menos poluentes para a distribuição das mercadorias nos centros urbanos. Contudo, no Brasil, a fabricação deste tipo de veículo está prevista apenas para 2012.

Fase IV: Avaliação Econômica e Ambiental

Na avaliação econômica e ambiental, pretende-se estimar os ganhos com o novo processo, através da consolidação de mercadorias e redução do número de veículos nas cidades.

Atualmente, ainda encontra-se desatualizado os estudos referentes à avaliação econômica e ambiental da distribuição de mercadorias. Para tanto, a avaliação ambiental consistirá na

análise da quantidade de poluentes emitidos por cada um dos sistemas analisados. Segundo Vasconcelos e Lima (1998), os coeficientes de emissão de poluentes por veículos automotores variam muito em função das condições dos combustíveis e dos veículos. Esta análise se concentrará na emissão dos três principais poluentes nocivos à saúde: monóxido de carbono, hidrocarbonetos e óxido de nitrogênio, apresentados no Quadro 7.4, que relaciona a quantidade de poluentes por tipo de veículo (Ibama, 2006).

Tabela 1: Taxa de Emissão de Poluentes (g/km) por Tipo de Veículo Considerado no Estudo (Fonte: Ibama, 2006).

Tipo de Poluente	Veículo Leve Comercial até 1700 kg (g/km)	Veículo Leve Comercial maior que 1700 kg (g/km)
Monóxido de Carbono	2,00	2,70
Hidrocarboneto	0,60	1,00
Óxido de Nitrogênio	0,30	0,50

Foram definidas equações que relacionam as emissões de monóxido de carbono, hidrocarbonetos e óxido de nitrogênio com a velocidade, utilizando-se as estimativas da CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) para o veículo médio da cidade de São Paulo (CETESB, 1994). No caso de veículos movidos à gasolina, são definidas as seguintes equações para a emissão de poluentes. Seja V , a variável velocidade (km/h):

Equação 2: $\text{Monóxido de Carbono (g/km)} = -4,51 + \frac{727}{V} + 1,34 \cdot 10^{-3} V^2$.

Equação 3: $\text{Hidrocarboneto (g/km)} = -0,28 + \frac{62,48}{V}$.

Equação 4: $\text{Óxido de Nitrogênio (g/km)} = 1,03 + 7,477 \cdot 10^{-5} V^2$.

Segundo Vasconcelos e Lima (1998), a monetarização da poluição ambiental é bastante complexa, pois, além de demandar estudos relativos aos reflexos da poluição sobre o ser humano (que variam de acordo com o clima, altitude, dispersão, regime de ventos, relevo, etc.), também apresenta uma mescla de efeitos das várias fontes de poluição.

Dentre esses efeitos, pode-se citar o do monóxido de carbono, que provoca tonturas, dores de cabeça, sono, redução dos reflexos e perda da noção de tempo. Trata-se de um dos principais responsáveis por acidentes de tráfego em áreas de grande concentração, aumentando o estado de morbidez das pessoas idosas. Os hidrocarbonetos são irritantes para olhos, nariz, pele e parte superior do sistema respiratório; também reduzem a visibilidade, provocando acidentes. O óxido de nitrogênio provoca irritação e contração das vias respiratórias diminuindo a resistência orgânica às infecções e participa do desenvolvimento do enfisema pulmonar.

Segundo Vasconcelos e Lima (1998), não existem estudos específicos sobre a monetarização da poluição para as condições brasileiras. Desta forma, os valores adotados neste trabalho são sugeridos pelos mesmos autores, sendo baseados em custos americanos e europeus, aproximando-se para a realidade brasileira através da renda per-capita. Os valores adotados, segundo Vasconcelos e Lima (1998), são:

Equação 5: Monóxido de Carbono = R\$ 0,19/kg
Equação 6: Hidrocarbonetos = R\$ 1,14/kg
Equação 7: Óxido de Nitrogênio = R\$ 1,12/kg

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta metodologia foi desenvolvida buscando integrar as diversas teorias já existentes e consolidadas na literatura em uma única forma de analisar um terminal logístico urbano.

Sabe-se da importância destes terminais, contudo, existe a necessidade de uma localização correta e eficiência operacional interna para que a operação de distribuição de mercadorias não sofra as consequências provocadas pela má localização e mau dimensionamento de um terminal logístico, tais como mercadorias avariadas ou entregues fora da janela de tempo estipulada pelo cliente.

Muitos autores apontam nos estudos que muitas iniciativas desta natureza não obtêm sucesso por deixar de avaliar o aspecto do transportador, bem como considerar a possibilidade de nem todos estarem dispostos a trabalharem no esquema de cooperação. Neste sentido, faz-se necessário uma consciência global dos ganhos para a sociedade deste tipo de iniciativa para reduzir os congestionamentos, a melhoria operacional das empresas e, conseqüentemente, o aumento da produtividade.

No Brasil, estudos e iniciativas desta natureza ainda são incipientes, sendo apresentados como casos isolados. Faz-se então necessária a ampliação desta gama de estudos para que práticas como esta se tornem concretas na realidade brasileira e proporcionem os ganhos almejados por planejadores e pela sociedade como um todo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e a Pró-Reitoria de Graduação da UFMG pelos auxílios concedidos à pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aboolian, R., Berman, O., & Krass, D. (2007). Competitive facility location and design problem. *European Journal of Operational Research*, pp. 40-62.
- An Caris, Macharis, C., Janssens, G. K. (2008). Planning problems in intermodal freight transport: accomplishments and prospects. *Transportation Planning and Technology*, Vol. 38, No. 3, pp. 277-302.
- Bacovis, M. M. C. (2007). Estudo comparativo das plataformas logísticas européias x brasileiras, como forma de identificar um modelo que atenda as empresas do PIM. //

- Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica*, João Pessoa-PB, pp. 1-10.
- Bassan, S. (2007). Evaluating seaport operation and capacity analysis – preliminary methodology. *Marit. Pol. MGMT*, Vol. 34, No. 1, pp. 3-19.
- Bergqvist, R., Tornberg, J. (2008). Evaluating locations for intermodal transport terminals. *Transportation Planning and Technology*, Vol. 31, No. 4, pp. 465-485.
- BESTUFS (2003) Best Practice Handbook Year 3.
- Braga, V. (2008). Logística, planejamento territorial dos transportes e o projeto dos Centros Logísticos Integração no Estado de São Paulo. *E-premissas Revista de Estudos Estratégicos*, No. 3, pp. 1-25.
- Browne, M., Sweet, M., Woodburn, A., Allen, J. (2005). Urban freight consolidation centres. *Final Report*, University of Westminster and Department for Transport (Dft), London
- CETESB (1994) Relatório das Condições Ambientais em São Paulo. São Paulo.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2003). *Gerenciamento da cadeia de suprimentos - Estratégia, planejamento e operação*. São Paulo: Pearson Prentice Hall.
- Crainic, T. G., Laporte, G. (1997). Planning models for freight transportation. *European Journal of Operational Research*, pp. 409-438.
- Crainic, T. G., Kim, K. H. (2007). Intermodal Transportation. *Handbook in OR & MS*, Vol.14, Chapter 8.
- Daskin, M. S. (2008). What you should know about location modeling. *Wiley InterScience*.
- Drezner, Z.; Hamacher, H.W. (2002) Facility Location: Application and Theory. Springer.
- Duarte, P. C. (2004). Prioridades estratégicas competitivas para o desenvolvimento de uma logística. *RIRL2004 – Congresso Internacional de Pesquisa em Logística*, pp. 1-10.
- Dubke, A. F., Ferreira, F. R. N, Pizzolato, N. D. (2004). Plataforma Logístico: características e tendências para o Brasil. *XXIV ENEGEP*, pp. 1-8.
- Farahani, R. Z., Drezner, Z., Asgari, N. (2009). Single facility location and relocation problem with time dependent weights and discrete planning horizon. *Ann Oper Res*, Vol. 167, pp. 353-368.
- Ibama (2006) *PROCONVE: Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores e Motocicletas*. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/proconve/login.php>. Acesso em 11/08/2006.
- Kozan, E. (2006). Optimum capacity for intermodal container terminals. *Transportation Planning and Technology*, Vol. 29, No. 6, pp. 471-482.
- Meixell, M. J., Gargeya, V. B. (2005). Global supply chain design: a literature review and critique. *Transportation Research Part E*, Vol. 41, pp. 531-550.
- Nathanail, E. (2007). Developing an integrated logistics terminal network in the CADSES. *Transportation Studies Review*, Vol. 14, pp. 125-146.
- Novaes, A. N. G. (1989) *Sistemas Logísticos: Transporte, Armazenagem e Distribuição Física de Produtos*. Editora Edgard Blücher Ltda.
- Rosa, P. D. (2004). Plataforma Logístico-Cooperativa: integração horizontal das cadeias de abastecimento. *XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, pp. 1147-1157.

- Rotter, H. (2004). New operating concepts for intermodal transport: the mega hub in Hanover/Lehrte in Germany. *Transportation Planning and Technology*, Vol. 27, No. 5, pp. 347-365.
- Sahin, G., Süral, H. (2007). A review of hierarchical facility location models. *Computers & Operations Research* 34, pp. 2310-2331.
- Solak, S., Clarke, J. P. B., Johnson, E. L. (2009). Airport terminal capacity planning. *Transportation Research Part B* 43, pp. 659-676.
- Song, D. W., Panayides, P. M. (2007). Global supply chain and port/terminal: integration and competitiveness. *International Conference on Logistics, Shipping and Port Management*, pp. 1-14.
- Sirikijpanichkul, A., Koen, V. D., Ferreira, L., Zofia, L. (2007). Optimizing the location of intermodal freight hubs: an overview of the agent based modelling approach. *J Transp Sys Eng & IT*, Vol. 7, pp. 71-81.
- Taniguchi, E., Noritake, M., Yamada, T., Izumitani, T. (1999). Optimal size and location planning of the public logistics terminals. *Transportation Research Part E*, Vol. 35, pp. 207-222.
- Taniguchi, E.; Thompson, R.G., Yamada, T.; Duin, R. (2001) *City Logistics: Network Modelling and Intelligent Transport Systems*, Pergamon
- Vasconcelos, E. A.; Lima, I. M. O. (1998) *Redução das Deseconomias Urbanas pela Melhoria do Transporte Público*. IPEA/ANTP. Brasília. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/pub/td/td_586.pdf Acesso em 05 de ago de 2006.
- Vis, I. F. A. (2006). A comparative analysis of storage and retrieval equipment at a container terminal. *Int. J. Production Economics*, Vol. 103, pp. 680-693.
- Yamada, T.; Taniguchi, E.; Itoh, Y. (2001) Co-operative vehicle routing model with optimal location of logistics terminal, In: *City Logistics II*, (E. Taniguchi; R.G Thompson)
- Zanni, A. M., Bristow, A. L. (2010). Emissions of CO₂ from road freight transport in London: trends and policies for long run reductions. *Energy Policy*, No. 38, pp. 1774-1786.
- Zhang, L., & Rushton, G. (2008). Optimizing the size and locations of facilities in competitive multi-site service systems. *Computers & Operations Research*, pp. 327-338.
- Zografos, K. G., Regan, A. C. (2004). Current challenges for intermodal freight transport and logistics in Europe and the United States. *Transportation Research Record*, pp. 70-78.