

# **LOCALIZAÇÃO ESTRATÉGICA DE ESTACIONAMENTOS PARA MINIMIZAR O CONGESTIONAMENTO NA ÁREA CENTRAL**

*Flávia B. Mendes<sup>1</sup>, FECIV- UFU, [fbm\\_udimoc@yahoo.com.br](mailto:fbm_udimoc@yahoo.com.br)*

*Thaís Silva<sup>1</sup>, FECIV – UFU, [siahtsilva26@yahoo.com.br](mailto:siahtsilva26@yahoo.com.br)*

*Carlos A. Faria<sup>1</sup>, FECIV - UFU, [cafaria@ufu.br](mailto:cafaria@ufu.br)*

## **ABSTRACT**

The traffic problems are of general scope in several cities in the world, especially in central area, usually more congested. This work aims to simulate an operational alternative that provides improved flow of vehicles in the central area. It is proposed the elimination of parking lots regulated rotary (called “Blue Zone”) on the streets and main avenues in the downtown area and meeting this need with the implementation of parking garages/lots in buildings and / or underground garages in places near the central area. Identify the best location for such a development strategy includes facility location approach to logistics and optimization of the distance pathway. It can be pointed out urban politics for Land Use and Transportation, urban planning and needs applied to determine strategic locations for new enterprises considering the logistics. The strategic locations were selected considering Clustering and Facility Location approaches using software TransCAD. Reduction of “blue zones” allows increasing the capacity of lane and therefore, improving the performance in central area. This benefit can be measured through the simulation, using Traffic Software Integrated System, taking into account Traffic Engineering. That is the case of downtown in Uberlândia. Comparing the proposed and real scenario it could be reduced delay and waiting time, fuel consumption and greenhouse gas emissions. The results pointed the better scenario of the central area and also showed it is important to review the land use/transportation. It is necessary to adopt integrated politics to improve the performance of the routes due the increased flow vehicles and traffic problems. The relocation of parking lots is a current alternative which improves the vehicles flow and the mobility in downtown.

*Keywords: Relocation of Parking Lots, Traffic Management, Politics Land Use, Congestion.*

---

<sup>1</sup> Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil (FECIV), Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia. (M.G. Brasil). Av. João Naves de Ávila, 2121, Campus Santa Mônica. CEP: 38400-902 -Tel. 55 (34) 3239-4135 / Fax: 55(34) 3239-4159

## **RESUMO**

Os problemas no trânsito, em geral, estão presentes nas principais cidades, principalmente quanto se refere ao congestionamento na área central. Nas cidades brasileiras de porte médio, os estacionamentos rotativos (zona azul) ao longo do meio fio podem atrapalhar o fluxo de veículos nas vias principais devido às manobras. Os estacionamentos destinados ao comércio e serviços apresentam vagas exclusivas para os clientes, no entanto, na maioria dos casos em quantidades insuficientes. Em contrapartida, os estacionamentos particulares (garagens/lotês) quando localizados próximos um dos outros, contribuem para formação de longas filas deixando o trânsito lento, devido ao conflito entre os veículos que saem do estacionamento e os que estão circulando nas vias. Uma proposta de organizar e gerenciar os espaços de estacionamentos é por meio de planejamento, estabelecendo zonas restritas para estacionar e estabelecer programas básicos de operação, em destaque às políticas urbanas como a legislação de uso e ocupação do solo e planejamento urbano. Para identificar o melhor local para um empreendimento levam-se em conta algumas ferramentas de logística e otimização. Este trabalho apresenta como alternativa a localização de bolsões de estacionamento estrategicamente selecionados, com base nas ferramentas *Clustering e Facility Location* do *software TransCAD*. Com a eliminação dos espaços de estacionamentos rotativos ao longo do meio-fio, pode ser obtido aumento do número de faixas de tráfego, melhor desempenho operacional nas vias da área central. Este benefício será oportunamente mensurado/comprovado com a simulação pelo *Traffic Software Integrated System (TSIS)* num caso típico de uma cidade brasileira (Uberlândia/M.G.).

*Palavras Chave: Realocação de Estacionamentos, Gerenciamento de Tráfego, Lei de Uso e Ocupação do Solo, Congestionamento.*

## **INTRODUÇÃO**

A mobilidade é um fator essencial para todas as atividades urbanas e pode influenciar os indivíduos, as atividades comerciais e interferir principalmente nas regiões centrais de uma cidade. As condições de mobilidade são afetadas diretamente pelo espaço urbano, em função das características do uso e ocupação do solo, infra-estrutura do sistema viário, qualidade dos serviços do transporte público e custo dos investimentos.

O centro comercial das cidades brasileiras caracteriza-se como a principal área de consumo e é importante para o desenvolvimento social e econômico da cidade. Concentram-se diversas atividades comerciais e serviços, há permissão de estacionamento rotativo ao longo do meio fio em vias principais. Os estacionamentos destinados ao comércio e serviços apresentam vagas exclusivas para os clientes, no entanto, na maioria dos casos em quantidades insuficientes. Em contrapartida, os estacionamentos particulares (garagens) quando localizados próximos contribuem para formação de longas filas deixando o trânsito

*Localização Estratégica de Estacionamentos para Minimizar o  
Congestionamento na Área Central*

*MENDES, Flávia B.; SILVA, Thaís; FARIA, Carlos A.*

lento, devido ao conflito entre os veículos que saem do estacionamento e os que estão circulando nas vias.

Os principais comércios e serviços atraem grande número de viagens causando impactos na malha viária, como acidentes, congestionamentos, poluição atmosférica e sonora e, sobretudo, insuficiência de vagas para estacionamentos, dentre outros. Devido ao grande fluxo de veículos em horários de pico, os principais comércios e serviços não suprem à necessidade de vagas em seus pátios de estacionamento.

O crescimento das cidades, a mobilidade urbana e ocupação do solo estão intensamente vinculados entre si. Os problemas relacionados à implantação de empreendimentos geradores de viagens somam-se ao crescimento desordenado das cidades; à falta de um processo integrado de planejamento urbano e de transportes. O aumento do congestionamento em cidades brasileiras é decorrente do crescimento desproporcional do uso de veículos em relação à estrutura viária existente e de um gerenciamento de tráfego mais eficaz. Com a aquisição do automóvel, o número de viagens aumenta, e conseqüentemente aumenta o tempo de viagem. Isso dificulta a acessibilidade ao destino dentro de um tempo limite, havendo, portanto atrasos na prestação de serviços e ocorrência de acidentes. Em áreas urbanas densas, inviabiliza o serviço de ônibus eficaz.

Desta forma, as estratégias adotadas independentemente da região ou país, não são suficientes para um horizonte de longo prazo, quando o assunto é transporte. Constantemente, se faz necessário buscar planejamento e medidas de redução da circulação de veículos. Neste aspecto, é importante avaliar, periodicamente, o espaço urbano de forma a planejar e estabelecer medidas preventivas a fim de reduzir o número de veículos em áreas densas. Isso permite contribuir para a fluidez da mobilidade urbana e a sustentabilidade.

Paiva (2008) afirma que a construção de grandes áreas de estacionamento e edifícios garagem na área central é uma técnica muito utilizada em diversas cidades do mundo. Com intuito de reduzir o déficit no número de vagas e oferecer condições adequadas aos usuários para o estacionamento de veículos fora das vias, contribuindo para a fluidez do tráfego. Neste sentido, percebe-se a necessidade de encontrar a localização ótima para os estabelecimentos, conforme sua natureza e com base em conhecimentos estratégicos.

O estacionamento é um importante elemento no planejamento de transportes nas cidades, pois a sua localização interfere no trânsito e na mobilidade de pessoas. Isto pode implicar em aumento da oferta de estacionamento, causando significativos efeitos diretos e indiretos na demanda de viagens e no desempenho do sistema de transporte.

Em decorrência do aumento de veículos nas cidades ao longo dos anos e da preocupação com os problemas de mobilidade na área central das cidades brasileiras, propõe-se neste trabalho, avaliar os impactos operacionais da retirada dos estacionamentos rotativos ao longo do meio fio em avenidas e ruas principais no centro da cidade e realocar em locais escolhidos estrategicamente. A idéia da retirada das faixas de estacionamento foi realizada

*Localização Estratégica de Estacionamentos para Minimizar o  
Congestionamento na Área Central*

*MENDES, Flávia B.; SILVA, Thaís; FARIA, Carlos A.*

com a intenção de diminuir o congestionamento em horário de pico, reduzindo também o tempo de deslocamento dos motoristas pelas vias principais do centro da cidade.

Para isso, a metodologia se baseia numa modelagem computacional onde se compara dois cenários: um representando a situação atual do centro e o outro cenário com a proposta de eliminação de vagas de estacionamento ao longo do meio fio.

Encontrar, portanto, a melhor localização de forma a fornecer um alto nível de serviço, minimizando os custos de operação é uma tarefa desafiadora principalmente quando os interesses do empreendedor, da sociedade e dos indivíduos são levados em consideração. Neste contexto, os problemas de localização envolvem escolher o melhor local para novas instalações (*new facilities*) dentro de um conjunto de locais candidatos. Isso implica considerar tanto um conjunto de clientes e suas respectivas demandas, quanto um conjunto de locais que se elege como candidatos potenciais e suas ofertas.

## **LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES**

O estudo da teoria da localização iniciou-se formalmente em 1909 quando Alfred Weber considerou o modo para posicionar um estabelecimento qualquer para minimizar a distância entre ele e diversos clientes. (OWEN e DASKIN, 1998). A teoria de localização ganhou novo interesse em 1964 com uma publicação de Hakimi que procurou localizar centros de informações em uma rede de comunicação e estação de polícia para um sistema de auto-estrada. Para fazer isso, Hakimi considerou o problema de localizar uma ou mais *facilities* em uma *network* para minimizar a distância total entre os clientes e sua *facility* mais próxima ou para minimizar tal distância máxima.

Um problema de localização pode ser caracterizado por um problema que envolve logística. Logística é a ciência cujo objetivo é fazer com que bens e serviços cheguem a menor tempo a seu destino e estejam em locais estratégicos de forma a minimizar os custos, maximizando a eficiência e melhorando o nível do serviço (NOVAES, 2007).

Segundo Ballou (2006), a localização de instalações é quase sempre determinada por um fator fundamental. No entanto, há casos em que a localização de serviços e a facilidade de acesso ao local podem revelar-se como o principal fator usado para determinar-se a escolha da melhor localização. Podem existir diversos outros elementos influenciadores na tomada de decisão, tais como a proximidade da concorrência, perfil do cliente, padrões de circulação dos clientes (rotas com maior probabilidade de serem usadas pelos clientes), disponibilidade de vagas de estacionamento, proximidade de rotas de transporte público e outros.

As decisões que buscam a localização do ponto de vista estratégico envolvem basicamente a determinação do número, do local específico e do tamanho das instalações a serem adotadas. No caso da localização de estacionamentos, do ponto de vista do planejamento urbano, pode ser considerados fatores tais como áreas próximas ao centro ou a avenidas principais e locais de fácil acesso aos demais pontos comerciais.

## **Localização de Estacionamentos**

Acredita-se que os estacionamentos são fundamentais para o bom desempenho do trânsito, entretanto, quando mal projetados e operados contribuem para o agravamento dos congestionamentos. A permissão de estacionar na maioria das vias da área central causa uma situação de congestionamento constante devido a uma elevada demanda por estacionamento.

De acordo com Wright e Ashford (1998), algumas áreas de estacionamento podem impedir seriamente o fluxo do tráfego e causar conflitos entre veículos estacionados e em movimento, principalmente em vias principais. Geralmente, os locais potenciais de estacionamento são maiores em áreas onde as atividades comerciais ou de serviços estão agrupadas. Assim, existem pelo menos duas categorias de estacionamento que podem interferir no trânsito da cidade:

1. Os estacionamentos ao longo das vias públicas (livres e rotativos caracterizados como 'Zona Azul');
2. Os estacionamentos fora da via pública (comerciais e particulares com serviço rotativo).

Os locais de estacionamentos livres são aqueles dispostos ao longo do meio fio e podem estar afastados da área central e próximo a regiões residenciais onde há baixa demanda. Esse tipo de estacionamento não tem custo ou tarifa para sua utilização, porém são menos convenientes por ocorrerem paradas mais demoradas.

Os estacionamentos regulamentados públicos (Zona Azul, carga/descarga) são fiscalizados pelo órgão público municipal da cidade. Têm como objetivo proporcionar alta rotatividade atendendo um maior número de motoristas com paradas curtas, limitando o tempo de permanência do veículo na vaga. As vagas estão dispostas em locais específicos da área central. São distribuídos ao longo do meio fio, conforme Figura 1.

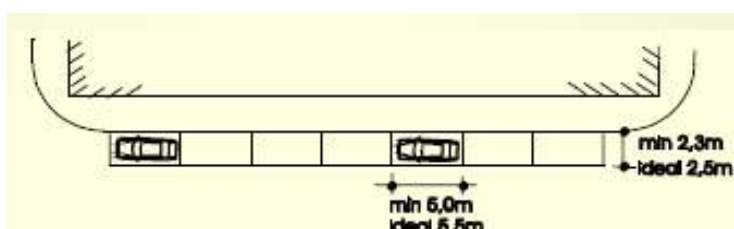


Figura 1 – Posição espacial do estacionamento de vias públicas ao longo do meio fio.

Os estacionamentos localizados fora da via estão dispostos em lotes e garagens próprias, conforme a finalidade. Classifica-se em estacionamentos comerciais gratuitos com vagas exclusivas para clientes ou para funcionários e estacionamentos particulares. Os estacionamentos comerciais gratuitos fazem parte das lojas comerciais, hospitais, hotéis,

*Localização Estratégica de Estacionamentos para Minimizar o  
Congestionamento na Área Central*

MENDES, Flávia B.; SILVA, Thaís; FARIA, Carlos A.

supermercados, agências bancárias, edifícios comerciais que dispõe de vagas internas e externas restritas para clientes.

Os estacionamentos particulares ou privativos apresentam vagas de estacionamento mais convenientes para determinado local. Eles são usados para atender outras instalações nas proximidades com picos diferentes. Esses estacionamentos estão localizados em áreas centrais da cidade, havendo maior rotatividade e procura. Esses estacionamentos são lotes ou garagens que dispõem de um serviço rotativo cobrando uma tarifa horária, mensal ou diária. As principais características de cada tipo de estacionamento estão apresentadas na Tabela I.

Tabela I – Tipos de Estacionamentos.

Livre	Rotativo (via pública)	Rotativo (fora da via pública)	
		Exclusivo para Clientes	Imóvel Particular
- Ausência de taxas	- Cobrança de taxas	- Ausência de taxas	- Cobrança de taxas
- Pequena demanda	- Alta demanda	- Vagas cativas	- Alta demanda
- Longa duração	- Curta duração	-	-
- Baixa fluidez	- Regiões densas	-	- Regiões densas
- Baixa rotatividade	- Alta rotatividade	- Alta rotatividade	- Alta rotatividade
Ex: locais comuns ao longo das vias	Ex: zona azul.	Ex: de lojas, bancos, hotéis.	Ex: garagens de estacionamentos

Em suma, a localização dos estacionamentos, em geral, é de fundamental importância para a mobilidade urbana das áreas comerciais. O crescimento dos polos de atração de viagens nessas regiões proporciona, muitas vezes, a saturação dos serviços de estacionamento e alta rotatividade na área regulamentada (Zona Azul), principalmente nas primeiras semanas do mês.

### **Localização de Empreendimentos Comerciais**

Outros estabelecimentos com potencialidade de criar impactos no sistema viário devido ao seu poder de atração de viagens, são os comércios e serviços na região central da cidade. Destacam-se agências bancárias, escolas, terminais de transporte coletivo urbano, *shopping*, correios, casas lotéricas, lojas atacadistas, casas de eletrodomésticos e eletrônicos, Hospitais e outros. Essas construções têm a característica de concentrar em espaços restritos, um contingente de atividades produzindo viagens que refletem necessidades de infra-estrutura viária e sistemas de transportes.

Portugal e Goldner (2003) citam que em 1997, o Código de Trânsito Brasileiro no art. 93 define que nenhum projeto de edificação pode se transformar em polo atrativo de trânsito sem que no projeto, constem áreas para estacionamento. A demanda gerada por um empreendimento é fundamental para dimensionar suas instalações, definir as necessidades

*Localização Estratégica de Estacionamentos para Minimizar o  
Congestionamento na Área Central*

MENDES, Flávia B.; SILVA, Thaís; FARIA, Carlos A.

de espaço viário e de áreas de estacionamento. A localização de polos de geração de tráfego deve contemplar as diretrizes e as exigências do plano diretor, hierarquização viária e impactos associados, bem como a legislação de uso e ocupação do solo.

Geralmente, na área central da cidade há uma grande concentração de empreendimentos atraindo os cidadãos a compras, serviços e trabalho. E alguns desses polos de atração de viagem disponibilizam vagas de estacionamento exclusivas para seus clientes, podendo ser considerado um investimento de atratividade e *marketing*. Alguns serviços demandam maior tempo que os outros, neste caso os estacionamentos de imóveis particulares é o mais adequado. Nem todos apresentam um número suficiente de vagas, tornando as vagas ociosas ou insuficientes. Os empreendimentos localizados no centro comercial da cidade que não dispõem de vagas de estacionamento contribuem para um crescimento espontâneo progressivo de estabelecimentos particulares com serviços de estacionamento rotativo.

Estabelecer uma localização ótima que atenda a demanda é uma ferramenta importante para o desenvolvimento do centro comercial de uma cidade. Neste aspecto, se faz necessário conhecer algumas estratégias de localização. Existem muitos problemas de localização que abordam técnicas de otimização e programação matemática.

## **PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO**

Desde 1960, o estudo da teoria da localização desenvolveu-se e os problemas de localização de instalações passaram a ser uma área de crescente interesse para planejadores. Alguns grupos de pesquisadores do assunto promovem eventos anuais para discutir problemas de localização, como o *EURO Working Group on Locational Analysis (EWGLA)* e o *Section on Location Analysis (SOLA)*.

Owen e Daskin (1998) apresentam uma revisão de literatura sobre os problemas de localização envolvendo o planejamento estratégico para instalações físicas de empreendimentos no setor urbano. Destacam os modelos estocásticos: *Probabilistic models*, *Scenario planning models*; modelos estáticos determinísticos de localização: *Median problems*, *Covering problems*, *Center problems*; e modelos dinâmicos de localização de instalação: *Dynamic single*, *Dynamic multiple*, *Alternative dynamic approaches*.

As formulações estocásticas são uma tentativa de capturar a incerteza nos parâmetros de entrada do problema, tais como previsão de demanda ou valores de distância. Estas formulações estocásticas são divididas em duas classes: a que considera explicitamente a distribuição de probabilidade associadas aos parâmetros incertos (*Probabilistic models*), e a que capta a incerteza através de planejamento de cenários (*Scenario planning model*).

Os modelos estáticos determinísticos envolvem a localização de uma instalação e a distância dessa instalação até os clientes. Podem ser representadas por situações em que se queiram minimizar as distâncias percorridas entre as instalações e as demandas (*Median problems*); minimizar o custo de uma instalação de tal modo que o nível de cobertura especificado seja obtido, isto é, exige que todos os pontos de demanda sejam cobertos, não

*Localização Estratégica de Estacionamentos para Minimizar o  
Congestionamento na Área Central*

MENDES, Flávia B.; SILVA, Thaís; FARIA, Carlos A.

importando o tamanho da população, quão distante estejam os nós uns dos outros na rede ou quão pequena seja a necessidade de serviços (*Covering problems*); determinar um número mínimo de instalações necessário para cobrir toda a demanda usando uma distância de cobertura especificada, ou seja, minimizar a máxima distância entre nós de demanda e instalação mais próxima (*Center problems*).

Os problemas de mediana são relevantes para projetos de serviços logísticos e distribuição de cargas. Os problemas de cobertura são tipicamente associados à localização de instalações públicas, tais como centros de saúde, agências de correio, bibliotecas e escolas. Os problemas de Centro são usualmente aplicados para empreendimentos de natureza emergencial e que serve com exclusividade uma comunidade, como o caso de hospitais, estações de bombeiros e estações de ambulância.

Entretanto, uma desvantagem dos modelos determinísticos é que eles partem da hipótese que os servidores estão disponíveis quando solicitados, o que nem sempre é razoável em aplicações práticas. O congestionamento em serviços de atendimento de emergência pode causar a indisponibilidade de um servidor, mesmo que esteja localizado a menos de uma distância padrão, motivando o desenvolvimento de modelos de localização estocásticos probabilísticos (*Probabilistic models*).

Nas formulações dinâmicas, o tempo está envolvido na localização de uma instalação (ou instalações). Os cenários são criados com base em algoritmos e métodos para contemplar tanto as condições reais da demanda quanto a localização espacial dos estabelecimentos num período de tempo. Destacam-se os modelos *Alternative dynamic approaches* no qual a localização dinâmica multiobjetivo se refere ao problema de localização em um horizonte de planejamento nos quais múltiplos objetivos devem ser considerados.

Por outro lado, a abordagem de problemas de localização de instalações tem sido proposta também por meio de ferramentas computacionais, principalmente quando a base de dados georreferenciados se encontra disponível. Uma importante ferramenta de auxílio a decisão espacial que merece destaque é o Sistema de Informações Geográficas (SIG). Relaciona informações espaciais a bancos de dados na forma de textos, tabelas e mapas temáticos constituindo uma poderosa ferramenta de análise e planejamento espacial.

Os dados são representados sob a forma de pontos (nós), linhas (arcos ou *link*) no qual esse conjunto de nós e arcos denotam matematicamente como grafos. Algumas vantagens na utilização do SIG para resolver problemas de localização é a capacidade de integrar informações relacionadas com a posição geográfica e analisá-las. Alguns exemplos de aplicação em setores públicos e privados são citados:

3. Localização de escolas públicas em áreas urbanas, com avaliação da atual localização e uma proposta de realocação utilizando uma ferramenta SIG (Pizzolato *et al.*, 2004);
4. Localização de terminais logísticos (Carrara, 2007);



*Localização Estratégica de Estacionamentos para Minimizar o Congestionamento na Área Central*

MENDES, Flávia B.; SILVA, Thaís; FARIA, Carlos A.

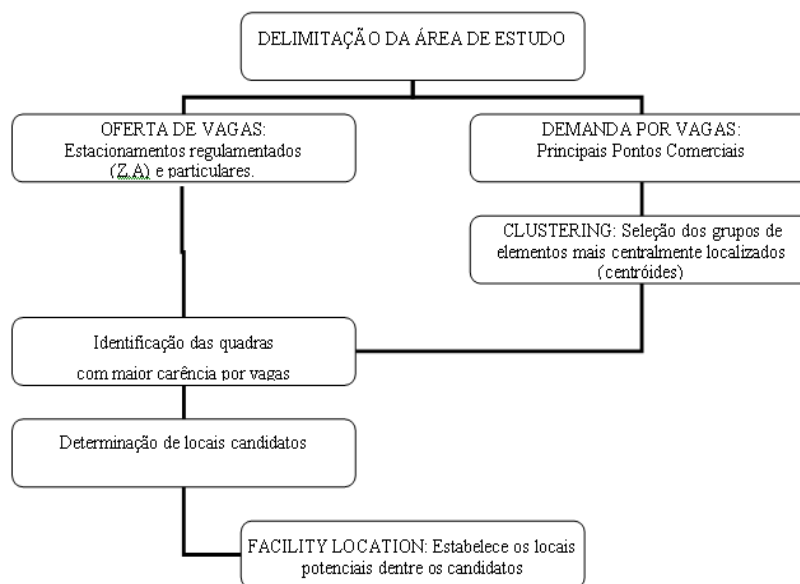
5. Localização de Usinas Termoelétricas (UTES), aplicando técnicas de análise multicritério no processo de decisão (Zambon *et al*, 2005);
6. Rosário *et al.*, 2002 apud Capri e Steiner (2006) propuseram uma metodologia para a distribuição espacial de Unidades de Saúde 24 Horas, com o objetivo de minimizar a distância média de deslocamento dos usuários, desde suas residências até a unidade mais próxima.
7. Localização do serviço de corpo de bombeiro, postos de polícia, pontos de ônibus, fabricas, centros de distribuição, lojas de franquias, entre outras.

Neste estudo está direcionado à categoria dos problemas estático determinístico, em que a localização das instalações dá uma idéia do modelo de  $P$ -mediana, em que pressupõe que o motorista prefere estacionar mais próximo do destino, ou seja, na localização ótima dos estacionamentos que minimizem a distância destino-estacionamento. Para isso, utiliza-se o método de otimização heurística através da ferramenta *Facility Location* do software TransCAD.

## PROCEDIMENTOS E MODELAGEM COMPUTACIONAL

A partir da delimitação da área em estudo, localiza-se e quantifica-se a oferta de vagas nos estacionamentos existentes e a necessidade de vagas nos principais comércios e serviços. Verificam-se os estabelecimentos comerciais e de serviços se atendem a legislação de Uso e Ocupação do Solo, onde se exige um número mínimo de vagas de estacionamento.

Para o problema de localização de estacionamento se faz necessário localizar  $p$  locais potenciais candidatos de forma que o software TransCAD auxilie na escolha do melhor local dentre os candidatos, por meio da ferramenta *Facility Location*. O fluxograma a seguir, apresenta as etapas para se estimar os locais potenciais candidatos.



*Localização Estratégica de Estacionamentos para Minimizar o  
Congestionamento na Área Central*

MENDES, Flávia B.; SILVA, Thaís; FARIA, Carlos A.

O procedimento *Clustering* seleciona grupos de pontos comerciais contendo os nós de pontos comerciais que estão mais centralmente localizados em cada grupo, caracterizado por 'centróide' (*cluster seeds*). (CALIPER, 1998). Este procedimento foi usado para posicionar espacialmente os locais candidatos (através da análise espacial dos grupos formados). Em seguida, identificam-se as quadras com maior carência de vagas, através da legislação de uso e ocupação do solo da cidade em estudo. Com os parâmetros de carência de vagas, a referência dos centróides e atribuindo a distância entre local candidato e ponto comercial seja menor que 500 metros, posicionam-se  $p$  locais candidatos de estacionamento, tomando o cuidado de serem no entorno da área central.

O método *Clustering* do TransCAD é uma heurística interativa onde seleciona grupos num *layer* e o procedimento é interrompido quando o número máximo de iterações é alcançado atingindo-se assim a solução ótima. O algoritmo é uma heurística gulosa (*greedy heuristic*) iniciando com um conjunto aleatório de *seeds*. Mulvey e Crowder (1979 *apud* Klose e Drexl, 2005) citam que o modelo de análise de *clustering* é caracterizado como um problema de  $P$ -mediana.

O procedimento *Facility Location* resolve diferentes tipos de problemas de localização de instalações, onde a meta é localizar uma ou mais instalações. Esta ferramenta inclui a possibilidade de abertura e fechamento de instalações, buscando a melhor localização de uma série de instalações para o atendimento de uma série de clientes, visando minimizar os custos de deslocamentos.

Por fim, simulou-se no *Traffic Software Integrated System* (TSIS) o fluxo de veículos na área delimitada, criando dois cenários; o real e o proposto. Em seguida, verificam-se os benefícios desses novos locais de estacionamento encontrados (*new facilities*). O *software* apresenta um pacote integrado para modelagem de rede, simulação e animação de tráfego. Utiliza um editor com entrada gráfica para edição da rede e janelas para a entrada das características físicas e operacionais (TRAFED). Este arquivo contendo os parâmetros da rede viária é codificado e o programa faz a simulação com animação dinâmica (CORSIM-TRANSLATOR) e gera um arquivo com os resultados operacionais de engenharia de tráfego e de emissão de poluentes. A simulação realizada pode ser visualizada com o recurso de animação no *TRAF Visualization Utility* (TRAFVU). (FHWA, 2001).

Papacostas e Prevedouros (2001) ressaltam que ao investigar os estacionamentos rotativos é importante calcular a ocupação e duração média dos veículos estacionados. A rotatividade é caracterizada como a frequência média de veículos por hora que utilizam o estacionamento regulamentado, representada pelo modelo matemático:

$$\text{meanfrequency} = \frac{T_{\text{pesquisado}}}{t_{\text{estacionado}}} \times V_{\text{existentes}} \quad (1)$$

$t_{\text{estacionado}}$  = tempo de permanência do veículo na vaga;

$T_{\text{pesquisado}}$  = duração do horário pesquisado;

$V_{\text{existentes}}$  = total de vagas existentes

*Localização Estratégica de Estacionamentos para Minimizar o Congestionamento na Área Central*

MENDES, Flávia B.; SILVA, Thaís; FARIA, Carlos A.

A partir dessa equação é possível estimar a rotatividade nas vagas existentes no sistema de estacionamento regulamentado, a ser inserido nos *links* da rede da situação atual. Por outro lado, com base no número de vagas a serem retiradas dos estacionamentos regulamentados (zona azul) e no tempo médio de permanência do veículo estacionado na área em estudo, encontra-se a rotatividade e o número mínimo de vagas para os estacionamentos *new facilities*, distribuindo-as ao longo dos mesmos. Portanto, toda a oferta de vagas dos estacionamentos regulamentados que foram retiradas serão remanejadas para os novos estacionamentos propostos.

## ESTUDO DE CASO

Uberlândia é um importante centro urbano regional do Triângulo Mineiro, considerada a segunda maior cidade do Estado de Minas Gerais com características de capital regional. Apresentou em 2009 uma população de 634.345 habitantes e uma frota de 279.948 veículos. Em 2008, dividindo a população da cidade pelo total de veículos tem-se uma média de 2.65 habitante por veículo ou 4,97 habitantes por automóvel. Sua localização é estratégica fazendo interligação entre os Estados de São Paulo, Mato Grosso, Distrito Federal e Goiás, conforme mostra Figura 1.



Figura 1 – Posição Geográfica de Uberlândia (MG, Brasil).

O centro da cidade tem característica de um crescimento monocêntrico (centralizado) e constitui em sua maior parte do comércio varejista e serviços diversos, podendo não disponibilizar vagas suficientes de estacionamento para seus clientes, que procuram estacionar em locais próximos ao destino. O uso indiscriminado do automóvel gera uma demanda crescente por áreas de estacionamento no centro da cidade, onde a capacidade das vias fica comprometida. A área delimitada de estudo faz parte do setor central da

## Localização Estratégica de Estacionamentos para Minimizar o Congestionamento na Área Central

MENDES, Flávia B.; SILVA, Thaís; FARIA, Carlos A.

cidade, constituída de cinco avenidas paralelas<sup>2</sup> na direção norte/sul, que são as principais vias da cidade e oito ruas transversais<sup>3</sup> conforme Figura 2.

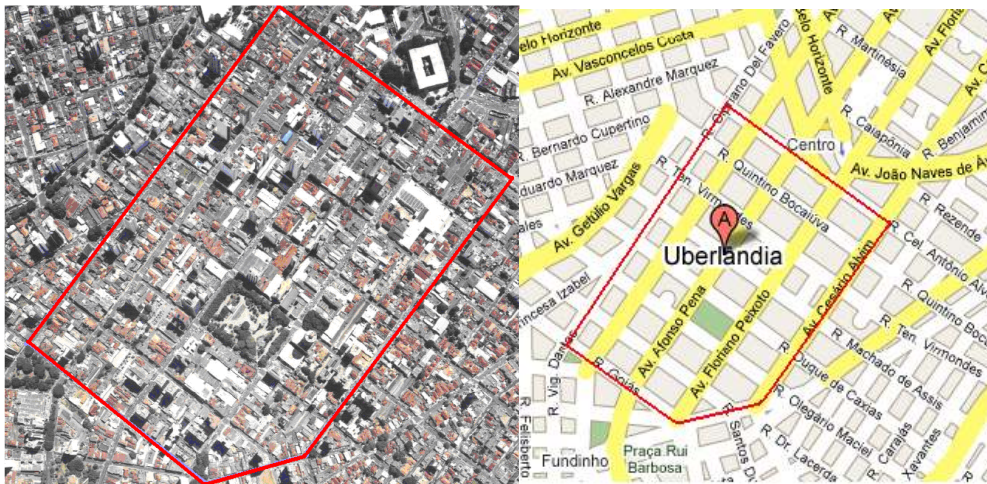


Figura 2 – Área delimitada de estudo.

A região é caracterizada por várias lojas, edifícios comerciais e residenciais, bancos, shopping popular e etc. A Figura 3 mostra a localização dos principais estabelecimentos comerciais e de serviços na área de estudo que atraem pessoas para a utilização de compras, negócios e de serviços.

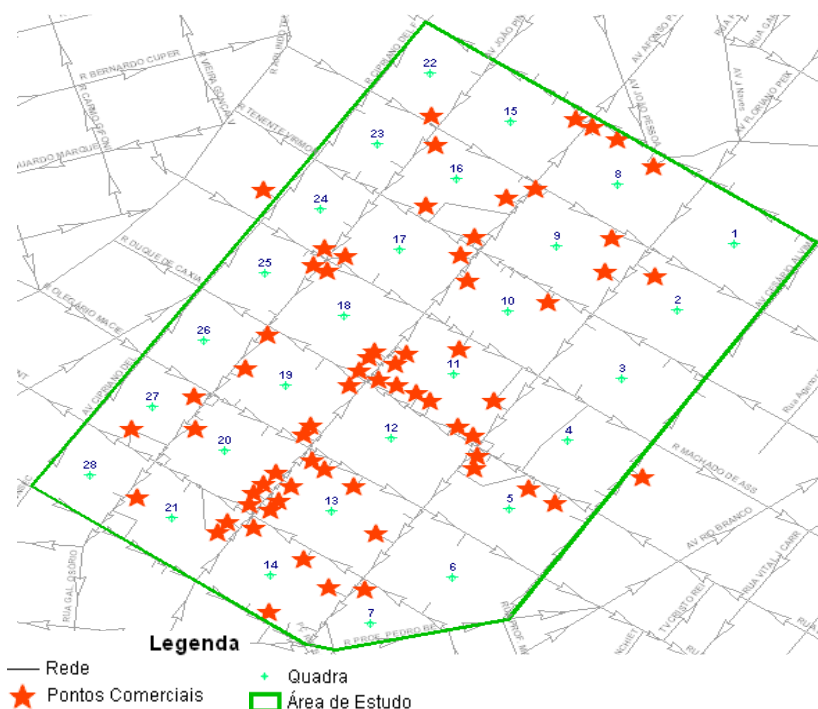


Figura 3 – Principais comércios e serviços.

<sup>2</sup> Avenida Afonso Pena (Av. A.Pena), Floriano Peixoto (Av. F.Peixoto), Cipriano Del Fávero (Av. C.D.Fávero), João Pinheiro (Av. J.Pinheiro) e Cesário Alvim (Av. C.Alvim).

<sup>3</sup> Rua Cel. Antônio Alves Pereira (R. Cel.A.Alves), Quintino Bocaiúva (R. Q.Bocaiúva), Tenente Virmondos (R. T.Virmondos), Machado de Assis (R. M.Assis), Duque de Caxias (R. D.Caxias), Olegário Maciel (R. O.Maciel), Santos Dumont (R. S.Dumont) e Goiás (R. Goiás).

## Localização Estratégica de Estacionamento para Minimizar o Congestionamento na Área Central

MENDES, Flávia B.; SILVA, Thaís; FARIA, Carlos A.

Nota-se que em alguns trechos de vias há maior concentração de atividades comerciais, conforme se percebe quadras 11, 13 e 20. Com isso, pressupõe haver grande mobilidade de pessoas e veículos. É importante citar que a maioria das agências bancárias, grandes lojas de eletrodomésticos e confecções não dispõem de vagas de estacionamento exclusivo para clientes. Este fato pode estimular o cidadão a utilizar o serviço de estacionamento rotativo, devido à falta ou baixa oferta de vagas nos estabelecimentos de destino. Esta condição pode aumentar a circulação de veículos à procura de um lugar para estacionar.

No final de 2008 havia 2203 vagas para automóveis nos 56 estacionamentos particulares analisados na área delimitada, sem contar com os estacionamentos rotativos zona azul. A Figura 4 apresenta os estacionamentos particulares e a quantidade de vagas para automóvel.

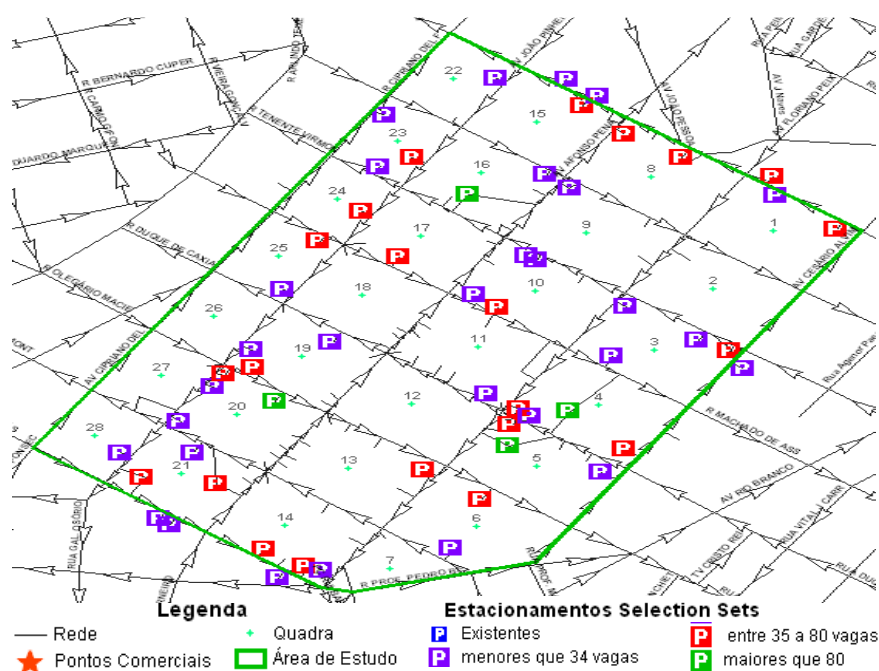


Figura 4 – Estacionamentos rotativos particulares fora da via pública.

Destacam-se dois lotes de estacionamento por apresentarem maiores vagas. O primeiro, localizado na quadra 5 na Av. F. Peixoto entre R. D. Caxias e R. O. Maciel com 100 vagas para automóveis, sem contar com vagas para motocicletas. Contém duas entrada/saída para veículos na Av. F. Peixoto e R. D. Caxias. O segundo lote de estacionamento se encontra na quadra 20 na R. O. Maciel com 93 vagas.

Os estacionamentos rotativos denominados Zona azul estão dispostos nas principais vias do centro da cidade. A Figura 5 mostra as vias na área de estudo onde apresenta vagas para estacionamento.

## Localização Estratégica de Estacionamentos para Minimizar o Congestionamento na Área Central

MENDES, Flávia B.; SILVA, Thaís; FARIA, Carlos A.

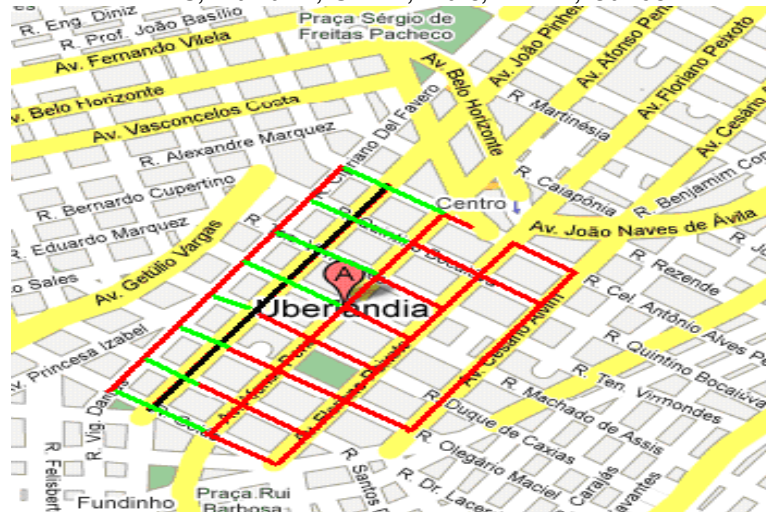


Figura 5 – Estacionamentos rotativos na via pública.

O segmento, em negrito, apresenta uma faixa exclusiva à direita para o transporte coletivo urbano e a faixa esquerda para os estacionamentos livres ao longo do meio fio com 41 vagas. Em destaque (cor verde), são vagas destinadas a estacionamentos livres ao longo do meio fio e as demais (cor vermelho) são as vagas rotativas ao longo do meio fio na via pública.

Segundo Uberlândia (2000), a Lei nº 245/2000 regulamenta critérios de parcelamento do solo, integrada à política de uso e ocupação do solo. Classifica o comércio e serviços em categorias e por meio da área construída, atribui o número mínimo de vagas de estacionamento. A natureza comercial é classificada em categorias que por sua vez, a legislação estabelece a área mínima de estacionamento em cada lote de estabelecimento comercial e de serviços.

Essas informações serviram de parâmetro para estimar a demanda de vagas de estacionamento necessária para veículos. Assim, com base no mapa de loteamentos disponibilizado pela Secretaria de Planejamento Urbano de Uberlândia (SEPLAN), encontra-se a área construída desses pontos comerciais e a partir daí, o número necessário de vagas que deveriam estar disponibilizada, conforme as diretrizes da Lei de Uso e Ocupação do Solo (Lei nº. 245/2000).

Ao analisar cada quadra da área de estudo, identificou-se a natureza comercial dos principais pontos comerciais, a quantidade de vagas existentes de estacionamento particular e zona azul no entorno das quadras, bem como o número de vagas necessárias nos pontos comerciais. Selecionou-se 5 agrupamentos de pontos comerciais dos quais foram identificados os *cluster* e os centróides (*seed*). A Figura 6 mostra as quadras destacadas que apresentaram maior necessidade por vagas de estacionamento.

*Localização Estratégica de Estacionamentos para Minimizar o Congestionamento na Área Central*

MENDES, Flávia B.; SILVA, Thaís; FARIA, Carlos A.

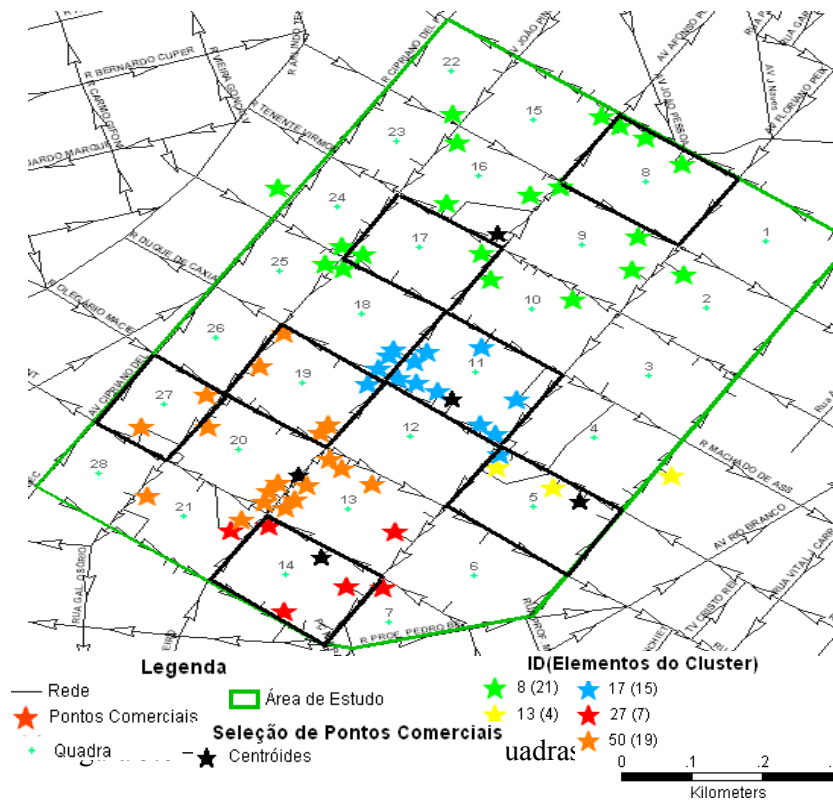


Figura 6 – Quadras com maior demanda por vagas.

O número de vagas nos imóveis exclusivos de serviço de estacionamento e os regulamentados (zona azul) em cada quadra não atendem os locais de demanda das quadras. Ou seja, o número de estacionamentos particulares no entorno das quadras é insuficiente para atender os indivíduos que utilizam as atividades comerciais e de serviços naquela quadra, pois a oferta de vagas é menor que as vagas necessárias.

Dentre as 17 agências bancárias, 14 não dispõem de nenhuma área de estacionamento para seus clientes. Com a estimativa do número de vagas necessárias computou-se que a maioria dos pontos comerciais (77,27%) não atende a legislação. Este fato pode revelar que a procura por estacionamentos é mais acentuada próximo a esses locais. A partir do diagnóstico da necessidade de vagas nas quadras e a localização dos centróides foi escolhido os locais candidatos de estacionamento para atender a demanda, conforme Figura 7.

*Localização Estratégica de Estacionamentos para Minimizar o Congestionamento na Área Central*

MENDES, Flávia B.; SILVA, Tháís; FARIA, Carlos A.

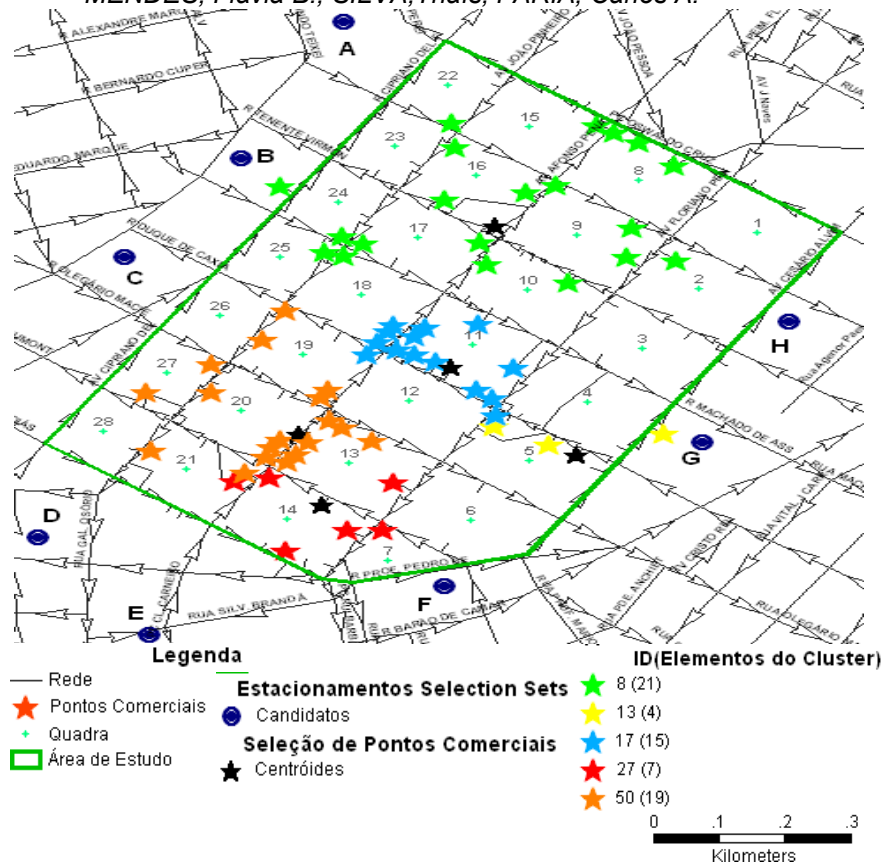


Figura 7 – Posicionamento espacial dos locais candidatos de estacionamento.

A partir dos locais candidatos estabelecidos, criaram-se alguns cenários para identificação da melhor localização dos *new facilities*. A Tabela II mostra os resultados do problema de localização com o critério de fornecer o melhor nível de serviço aos pontos comerciais.

Tabela II – Soluções geradas dos cenários criados na simulação.

<b>Facility Location: Minimizar o Custo Médio de Serviço.</b>						
<b>Cenários</b>	<b>Matriz de Custo</b>	<b>Estacionamentos (new facilities)</b>	<b>Distância média (D) gerada(m)</b>	<b>Restrição (constraint)</b>	<b>Peso (weight)</b>	<b>Pontos Comerciais servidos</b>
1	Locais candidatos x pontos comerciais	(B, F, H)*	449	D ≤ 500 m	Dem. (nec.)	66
2	Locais candidatos x centróides	F*	418	D ≤ 500 m	Seeds	5
3	Estac. e locais candidatos x pontos comerciais	B, G	116	-	Dem. (nec.)	66
4	Locais candidatos x pontos comerciais	F, H	507	-	Dem. (nec.)	66

\* O Software determinou o número de *facilities*.



*Localização Estratégica de Estacionamentos para Minimizar o Congestionamento na Área Central*

MENDES, Flávia B.; SILVA, Thaís; FARIA, Carlos A.

Ao comparar esses cenários percebe-se que a distância gerada atende a distância máxima aceitável menor ou igual a 500 metros, assim o cenário escolhido para simulação é o de número 3, por apresentar menor distância. Esse cenário, a matriz de custo foi elaborada com base na distância entre os estacionamentos (8 candidatos e 56 existentes) e os pontos comerciais (66 pontos).

No campo *Facility* da caixa de diálogo *Facility Location* estabeleceram-se os estacionamentos candidatos e existentes e no campo *Client* os pontos comerciais com fator peso (demanda necessária). Isso significa dizer que ao estabelecer a restrição do número fixo de 2 *new facilities* dentre os locais candidatos e a demanda como peso, a distância média encontrada entre *new facilities* está em torno de 116 metros. A Figura 8 mostra o cenário 3.

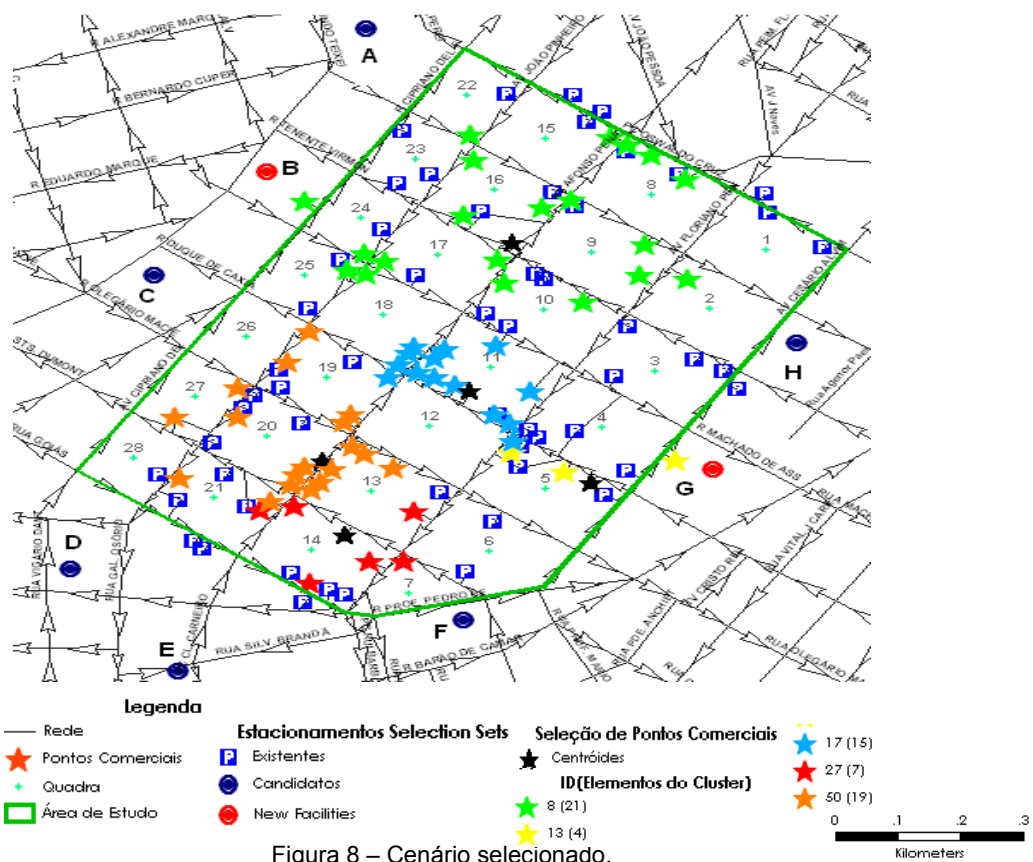


Figura 8 – Cenário selecionado.

Os locais identificados estão localizados em áreas com baixos níveis de mobilidade por não apresentarem um número acentuado de pontos comerciais e de serviços. Com os recursos do TSIS simula-se a nova situação comparando com o cenário atual.

A rede do centro comercial de Uberlândia, com as vagas de estacionamento regulamentado é configurada. Em cada *link* a rotatividade das vagas de estacionamento ao longo do meio fio foi encontrada com base no número de vagas existentes e o tempo de permanência de algumas vias (pesquisa realizada em 2008 pelo SETTRAN).

*Localização Estratégica de Estacionamentos para Minimizar o Congestionamento na Área Central*

MENDES, Flávia B.; SILVA, Thaís; FARIA, Carlos A.

Em cada nó da rede configurou-se o tempo de semáforo, sentido dos movimentos e fluxo de entrada e saída de cada nó de acordo com dados da SETTRAN de 2002. Atualmente, o sentido dos movimentos e tempo de semáforo são os mesmos, no entanto, utilizaram-se os dados do fluxo de veículos de 2002, devido a não estarem atualizados.

Para efeito de simulação, foi considerado o mesmo tempo médio estacionado ao longo das vias, em seguida, calculou-se a frequência média em veículos por hora (vph) ou a rotatividade, baseando-se no número de vagas existentes. Assim, estimou-se a rotatividade das avenidas e ruas transversais da área em estudo, bem como o tempo médio de permanência de forma a deslocar a demanda por vagas para os locais de estacionamentos propostos. A Figura 9 mostra a rede no ambiente *Trafed*, destacando (em verde) os *links* com os estacionamentos regulamentados (zona azul).

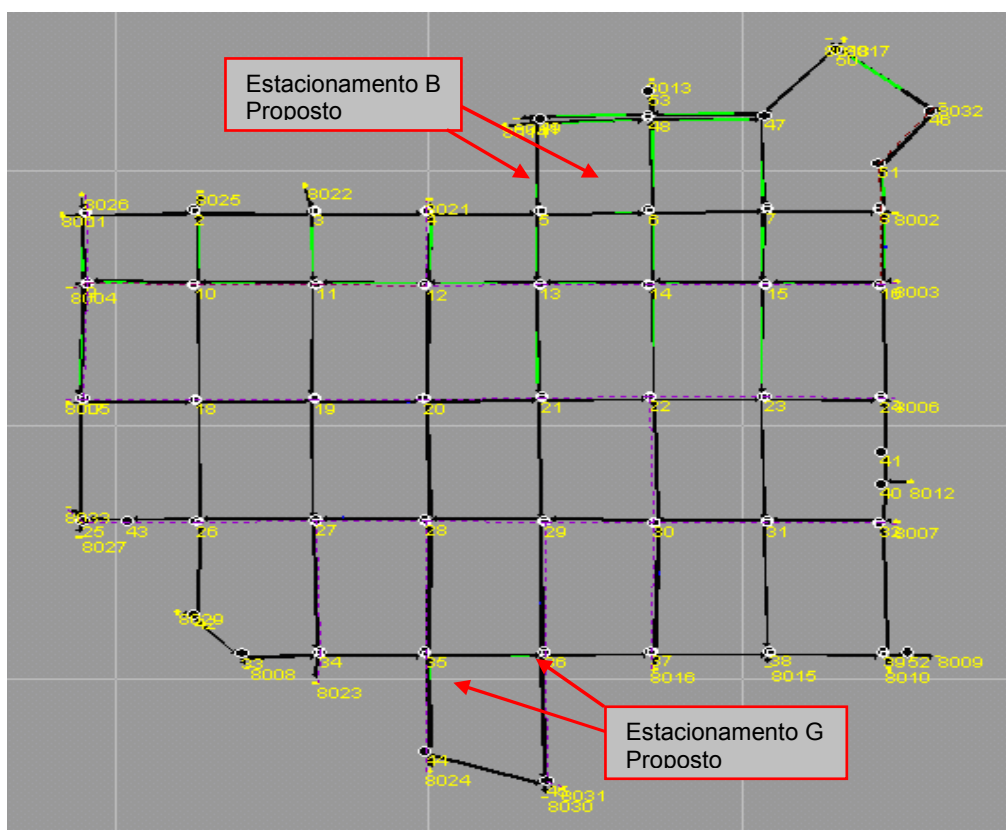


Figura 9 – Network do TRAFED caracterizando o centro proposto.

Cada estacionamento pressupõe terem 2 entradas/saídas de veículos em vias diferenciadas, de forma a distribuir o fluxo de veículos e facilitar as manobras dentro dos estacionamentos. A rotatividade encontrada foi de 420 vph em cada entrada/saída de estacionamento, sendo 400 vagas em cada estacionamento – atualmente o máximo de vagas em um estacionamento particular é de 100 vagas.

## RESULTADOS E CONCLUSÕES

O relatório do TSIS forneceu alguns indicativos de melhoria no sistema viário ao comparar as duas situações no período de 17h – 18h, conforme mostra a Figura 10.

Link	Delay Time (sec/veh)	Average Values			Congestion Storage (%)	Average Queue (veh)				Fuel Consumption km/l			Vehicle Emissions (Grams/km)						
		Stop (%)	Vol VPH	Speed (km/h)		Lane 1	Lane 2	Lane 3	Lane 4	Auto 1	Auto 5	Transit	HC	CO	NO				
Centro Av	16,04	41,02	16.772	19,37	5,06	0	1	1	0	4,94	3,18	1,08	0,18	0,14	12,80	8,19	0,68	0,81	
Rua	18,29	61,88	8.851	19,61	5,23	0	1	1	0	5,12	3,48	0,46	0,19	0,15	13,69	8,52	0,71	0,86	
Total			24.423																
Centro Av	12,36	38,14	16.886	20,44	5,43	0	0	0	1	5,15	3,42	1,09	0,17	0,14	12,51	7,98	0,66	0,79	
NP Rua	18,24	61,42	8.795	19,76	5,12	0	1	0	0	5,10	3,49	0,48	0,19	0,15	13,98	8,50	0,73	0,86	
Total			24.475																
Benefícios (%)																			
Avenidas	-22,90	-2,88	0,68	5,53	0,37	-	-100	-100	100	4,19	7,33	1,37	-2,70	-	-2,28	-2,54	-2,43	-3,11	
Ruas	-0,26	-0,45	-0,63	0,76	-0,11	-	-	-	-	-0,25	0,32	2,78	-	-	2,13	-0,15	2,86	-	

Figura 10 – Comparando o centro atual e o proposto (Centro NP).

Em relação às avenidas, percebe-se que o atraso reduziu significativamente na ordem de 22,9 %. Houve uma redução da fila na faixa 2 e 3 de tráfego, em contrapartida com aumento do fluxo de veículos, houve redução do consumo de combustível dos automóveis (km/l). Constata-se que as emissões de poluentes (gramas por km) tiveram pequena redução.

Analisando os benefícios nas ruas transversais, percebe-se que foram menos significativos. Por ter eliminado apenas uma faixa de estacionamento regulamentado, o índice de congestionamento reduziu em 2,10 %. As ruas mais beneficiadas foram a R. T.Virmondes, R. O.Maciél e R. S.Dumont com a redução do índice de congestionamento e atrasos, e aumento de velocidade.

Apesar dos dados do fluxo de veículos serem do ano de 2002, o cenário proposto apresenta resultados que comprova a melhoria no tráfego de veículos, redução das emissões de poluentes, aumento da velocidade dos veículos, redução do tempo de parada e atrasos. Esses indicativos confirmam os benefícios da proposta de reorganização de estacionamentos regulamentados, principalmente nas avenidas, onde há ocorrência de maior mobilidade de pessoas e veículos. Num horizonte mensal, os benefícios serão mais relevantes e produzirão uma melhor eficiência, pois haveria uma economia significativa de gastos com combustíveis, redução do tempo de viagem, entre outras.

O gerenciamento de tráfego é essencial para otimizar o uso do espaço viário nas áreas mais demandadas, como a área central. As áreas de estacionamento ao longo das vias podem trazer transtornos para o trânsito em locais onde há grande fluxo de veículos, principalmente em vias principais. A velocidade dos veículos fica reduzida, pode haver formação de filas, conflito de veículos que saem dos lotes de estacionamento e/ou estacionamento regulamentado (zona azul) com os veículos em trânsito.

*Localização Estratégica de Estacionamentos para Minimizar o  
Congestionamento na Área Central*

*MENDES, Flávia B.; SILVA, Thaís; FARIA, Carlos A.*

Por outro lado, se o número de vagas for aumentado nos estacionamentos nesta área, mais pessoas serão estimuladas a utilizarem o automóvel particular. Com isso, a mobilidade pode ficar mais comprometida causando deterioração no nível de serviço e ineficácias no transporte coletivo, condição que deveria ter uma estratégia especial com objetivo exatamente oposto, ou seja, de maior incentivo ao uso do transporte coletivo.

A estratégia de locais restritos de estacionamento favorece o tráfego mais rápido nas vias do centro, condiciona a mudança de comportamento dos usuários como, por exemplo, estacionar em um local estratégico e caminhar até o destino final. Estacionar em um local escolhido estrategicamente e, em seguida, caminhar até o destino ao invés de dirigir e circular nas imediações procurando uma vaga para estacionar, pode produzir resultado global melhor operacionalmente e impactar menos o meio ambiente nesta região.

As retiradas do estacionamento ao longo do meio fio devem vir com melhoria no sistema de transporte público, para estimular o usuário do automóvel a usar o transporte público. Além disso, pode favorecer as condições operacionais do transporte coletivo na região central, quando se estabelecem faixas prioritárias, podendo atrair mais viagens ao transporte coletivo. Desta forma, a reorganização do espaço viário e políticas operacionais no trânsito podem melhorar a mobilidade urbana.

## **REFERÊNCIAS**

- Ballou, R. H. (2006). Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial. (5ª ed.) Porto Alegre: Bookman. 616.
- Caliper Corporation. (1998). Routing and Logistics with TransCAD 4.5. Newton (MA), 764.
- Capri, M. A. V. and Steiner, M. T. A.(2006). Otimização no Serviço do Estacionamento Rotativo Regulamentado utilizando Técnicas da Pesquisa Operacional. In: XXXVIII SBPO Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Goiânia, GO. 12 a 15 set. 1413-1423.
- Carrara, C. M. (2007). Uma aplicação do SIG para a localização e alocação de terminais logísticos em áreas urbanas congestionadas. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Federal Highway W. Administration (FHWA). (2001).Traffic Simulation Integrated System (TSIS) User-s Guide. Mclean (VI). v. I, II e III.
- Novaes, A. G. (2007). Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição. (2ª ed.) Rio de Janeiro: Elsevier. 400.
- Owen, S. H. and Daskin, M. S. (1998). Strategic Facility Location: a review. European Journal of Operational Research n.111. 423 – 447.
- Paiva, M. (2008). Implantação de Estacionamentos de Automóveis e Bicicletas Integrados ao Transporte público. Dissertação (Mestrado) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.
- Papacostas, C. S. and Prevedouros, P. D. (2001). Transportation Engineering & Planning, (3th ed.). Prentice Hall: New Jersey. 686.

*Localização Estratégica de Estacionamentos para Minimizar o  
Congestionamento na Área Central*

*MENDES, Flávia B.; SILVA, Thaís; FARIA, Carlos A.*

- Pizzolato, N.D.; Barros, A.G.; Barcelos, F. B. and Canen, A. G. (2004). Localização de escolas públicas: síntese de algumas linhas de experiências no Brasil. *Pesquisa Operacional*, V. 24, n.1, 111-131, jan. a abr.
- Portugal, L. S. and Goldner, L. G. (2003). *Estudo de Pólos Geradores de Tráfego e de seus Impactos nos Sistemas Viários e de Transportes. (1ª Ed.)* São Paulo: Edgard Blucher Ltda.325.
- Uberlândia. (2000).Lei Complementar nº. 245: Dispõe sobre o Parcelamento e Zoneamento do Uso e Ocupação do Solo do Município de Uberlândia. Ano XIII, nº. 1313, 20 Dez.
- Zambon, K. L.; Carneiro, A.A.F.M. ; Silva, A. N. R. and Negri, J. C. (2005). Análise de decisão multicritério na localização de Usinas Termoelétricas utilizando SIG. *Pesquisa Operacional*, V.25, n.2, 183-199, mai. a ago.
- Wright, P. H.and Ashford, N.J.(1998). *Transportation Engineering: Planning and Design. (4th Ed.)*. New York: John Wiley & Sons. 680.