

María Teresa ECHEVERRY  
Yaeko YAMASHITA

## RESUMEN

*El objetivo de este trabajo es mostrar que medidas adecuadas de gestión del uso del suelo pueden producir un mejor desempeño de la capacidad de la red vial en términos de demanda y congestión, partiendo de la premisa de que el sistema de transporte es muy sensible a la estructura de la ciudad. El modelo de equilibrio en redes con demanda elástica es simulado por el método de equilibrio de **cut-off**, utilizado en un contexto temporal. El estudio de caso es desarrollado en Maturín-Venezuela, donde diferentes políticas de uso del suelo son examinadas para demostrar la aplicación de esta metodología.*

**PALABRAS CLAVE:** CAPACIDAD DE LA RED VIAL; MODELO DE ASIGNACIÓN POR EQUILIBRIO; GESTIÓN DEL USO DEL SUELO; ESTRUCTURA URBANA Y TRANSPORTE; DESEMPEÑO DEL SISTEMA VIAL.

## GERENCIAMIENTO DE USO DO SOLO E DESEMPENHO DO SISTEMA VIÁRIO.

**Estudo de caso: Maturín.**

## ABSTRACT

*This article aims to show that an adequated measure of land use management can result a better network capacity performance in terms of demand and congestion. The general conception starts from that the transportation system is very sensitive to the city structure. The network equilibrium model with elastic demand is simulated by the cut-off equilibrium method, used in a temporal context. The case study is developed in Maturin city-Venezuela, where different policies of land use are tested in order to show the applicability of this methodology.*

**KEY WORDS:** NETWORK CAPACITY; NETWORK EQUILIBRIUM MODEL; LAND USE MANAGEMENT; URBAN STRUCTURE AND TRANSPORT; NETWORK PERFORMANCE.

## 1/ INTRODUÇÃO

Atualmente os altos índices de congestionamento no sistema viário tem alcançado níveis preocupantes, devido ao aumento do uso de veículos privados, influenciando diretamente na qualidade de vida da população. Principalmente nos países em desenvolvimento, ainda que necessário, dificilmente pode se atender às exigências dessa demanda, em termos de suprimento de infra-estrutura necessária ao crescimento desse tráfego, pelos limitantes de espaço físico e de recursos financeiros.

Na grande maioria das cidades, a falta de planejamento tem levado à ocorrência de diversos fenômenos, entre eles a urbanização acelerada, que favoreceu a centralização das áreas de trabalho e a expansão das atividades residenciais nas periferias. Este processo tem incentivado as viagens com passagem obrigatória pela área central, aumentando assim a demanda de viagens na rede viária existente, incidindo diretamente nos índices de congestionamento. Novas tendências na área de gerenciamento de transportes, induzem a procura de soluções alternativas que não comprometam uma grande alocação de recursos e, que permitam o máximo aproveitamento da infra-estrutura viária existente. Nessas soluções, inclui-se o gerenciamento da demanda de viagens através da regulamentação do uso do solo. Dentro dessa estratégia, o objetivo deste trabalho é propor um redirecionamento da ocupação do solo a fim de otimizar à capacidade da rede viária para transporte privado como uma alternativa para o gerenciamento dos transportes, procurando evitar ou diminuir os congestionamentos nas áreas urbanas.

Para a análise de capacidade é utilizado o método de crescimento com restrição, que simula o aumento da demanda considerada elástica, através da introdução da restrição de velocidade. A utilização deste método se baseia no trabalho realizado por Williams e Yamashita (1992) onde restringe o crescimento da demanda, considerando que o sistema viário opere sob determinadas condições de nível de serviço. O estudo de caso é realizado na cidade de Maturin, na Venezuela, num

contexto temporal, onde alguns anos são considerados para que o volume de tráfego atinja a sua capacidade máxima. Baseados nesses resultados, são propostas intervenções no uso do solo e uma nova simulação é realizada para verificar se a medida é capaz de proporcionar melhoria nas condições de congestionamento da rede viária, aumentando por sua vez a capacidade da mesma.

Após essa introdução, são apresentadas na seção 2 algumas considerações importantes para consolidar o embasamento teórico da pesquisa. Na seção 3, é apresentada a metodologia para a análise de capacidade máxima de uma rede viária para transporte privado e também explorada a relação capacidade máxima e uso do solo, dentro de um contexto temporal. Na seção 4 uma descrição do estudo de caso que será realizado. Já na seção 5 são apresentados os resultados obtidos. Finalmente, algumas considerações são sumarizadas na seção 6.

## 2/ CAPACIDADE MÁXIMA DA REDE: CONSIDERAÇÕES GERAIS

Para melhor compreensão da problemática serão apresentados os estados da arte de alguns conceitos básicos necessários para o desenvolvimento do estudo, tais como: capacidade máxima, modelo de equilíbrio, método de crescimento com restrição e simulação de modelos de equilíbrio com demanda elástica que virão a consolidar a fundamentação teórica da metodologia aplicada para esta pesquisa.

### 2.1. Capacidade máxima da rede

Uma das primeiras e mais importantes considerações em relação à capacidade máxima da rede viária foi realizada por Buchanan em 1963. O Relatório Buchanan (1963), introduz pela primeira vez o conceito de capacidade ambiental da rede viária, segundo o qual deve existir uma relação de capacidade entre a rede e as áreas ambientais. Entre as soluções propostas nesse relatório, a principal é a adaptação da estrutura existente nos centros das cidades à demanda crescente de viagens por

veículo particular, implicando modificações tanto a nível urbano quanto do sistema viário. Assume ainda, que a capacidade da rede numa área urbana é limitada pelo fluxo das interseções que dão acesso à mesma, desconsiderando a capacidade interna da área em estudo.

Mais recentemente, Asakura (1992) propõe uma análise de capacidade máxima em relação ao número de viagens produzidas, que poderiam ser alocadas dentro de uma rede viária sob certas restrições, tais como: físicas, econômicas e ambientais. O método utiliza uma matriz de O-D e as capacidades dos respectivos arcos que compõem a rede. A técnica de alocação incremental é utilizada, onde pequenas quantidades de viagens são gradualmente carregadas na rede até que um dos arcos da rota atinja a sua capacidade, e o par de O-D que estava sendo carregado é desconectado.

## 2.2. Modelos de equilíbrio

O modelo de equilíbrio se torna importante neste estudo como um instrumento de redistribuição e realocação do total de viagens. Uma primeira aproximação ao conceito de equilíbrio foi realizada por Pigou (1920), mas é a partir dos anos 50, quando são introduzidos conceitos da teoria microeconômica na representação da rede de transporte privado (Beckman et al., 1956), recebendo um rigoroso tratamento em termos da interação entre a demanda e o custo do investimento, que o mesmo se tornou mais popular. Dessa forma, a visão clássica de mercado perfeito é caracterizada pela interação entre as funções da oferta e demanda. A oferta é representada pela rede de transporte (composta por arcos e nós) e o custo da viagem, que pode ser uma função de várias características dos arcos como comprimento, capacidade, velocidade de fluxo livre, etc. A demanda está representada pelo número de viagens entre cada par de origem-destino para um dado nível de serviço.

Os modelos de equilíbrio têm sido largamente utilizados para a análise de alocação de viagens em redes congestionadas. Recentemente, esses modelos, têm sido criticados quando

usados para avaliações de projetos, onde se constata que a simulação através de demanda inelástica não é realística. Assim, estudos com simulação de demanda elástica, onde se considera que a mesma seja sensível a alteração de custo, vem sendo amplamente discutida. A simulação de demanda elástica se torna bastante complexa, e assim, Williams e Yamashita (1992) desenvolveram um modelo que simula esse comportamento que será apresentado a seguir.

## 2.3. Método de crescimento com restrição

Esse método simula o comportamento de um modelo de equilíbrio com demanda elástica, através de um procedimento para a redução do crescimento efetivo de viagens em um dado par de origem-destino (Williams e Yamashita, 1992). Os critérios de restrição dos limites de crescimento do tráfego têm sido considerados recentemente por diversos autores, sendo referidos principalmente a limitações na velocidade em um ou mais arcos da rede, ou limitando os fluxos de acordo com critérios de capacidade (Emmerson, 1992; van Vuren and Davies, 1992; Rogers, 1991; Smith and van Vuren, 1992).

Hounsell (1989) analisou diferentes critérios para a identificação dos limites práticos do crescimento do tráfego ou dos níveis de saturação, quando a rede opera próxima à capacidade. Estes níveis de saturação são aplicados nas matrizes de viagens inelásticas. Segundo Hounsell (1989), dois critérios podem ser aplicados para definir os limites do crescimento ou níveis de saturação:

- limitação do crescimento do tráfego entre um par O-D quando a velocidade média entre dois pontos cai abaixo de um certo nível;
- limitação do crescimento do tráfego da rede quando a velocidade média da rede sobre arcos selecionados cai abaixo do nível especificado.

No primeiro critério o crescimento do tráfego será detido quando alcançado o nível de saturação em determinado par de O-D. Pelo

outro critério, as restrições estabelecidas são aplicadas ao sistema como um todo, portanto sua aplicação é para redes homogêneas com níveis de serviço semelhantes.

O método de restrição de crescimento, segundo Williams e Yamashita (1992) tem sido utilizado para simular, de forma simplificada, os resultados de um modelo de demanda elástica para previsão de viagens. Primeiramente, foi apresentado em um modelo simplificado para permitir um melhor entendimento do método e em seguida, foi analisado em nível de rede. O procedimento adotado na rede limita o crescimento da demanda entre um par de O-D quando a velocidade média na rota é inferior a uma velocidade especificada. Esta é uma técnica voltada para os estudos de demanda em áreas urbanas congestionadas.

O método de crescimento com restrição é introduzido na tentativa de simular a demanda elástica usando um modelo inelástico. É investigada por Yamashita (1993 ; 1996) essa possibilidade de simular o modelo de equilíbrio, com formas simplificadas, em relação à elasticidade e ao crescimento da demanda dentro de um contexto temporal. A introdução da restrição do crescimento das viagens será aplicado em um modelo inelástico para a alocação de viagens pelo método de equilíbrio. Foi adotado um critério similar ao primeiro critério de Hounsell (1989), onde a velocidade média do percurso mínimo para cada par de origem e destino é calculada e comparada a um valor limite especificado. Caso este limite seja atingido, a demanda para este par de O-D para de crescer, não mais contribuindo para o aumento do número total de viagens na rede.

Esse procedimento poderia ser representado pela seguinte condição:

$$\text{Se } V_{Mij} \leq V_L \Rightarrow dTij / dt \neq 0 \quad (\text{Eq.1})$$

Onde

$VM_{ij}$  é a velocidade média do caminho mínimo para o par  $ij$   
 $V_L$  é a velocidade limite de crescimento da demanda

$T_{ij}$  é o número de viagens da origem  $i$  para o destino  $j$   
 $dTij / dt$  é a taxa de crescimento da demanda  $Tij$ ,  
 $dTij / dt = 0$  se  $V_{Mij} > V_L$

### 2.3.1. Simulação do Modelo de Equilíbrio Elástico

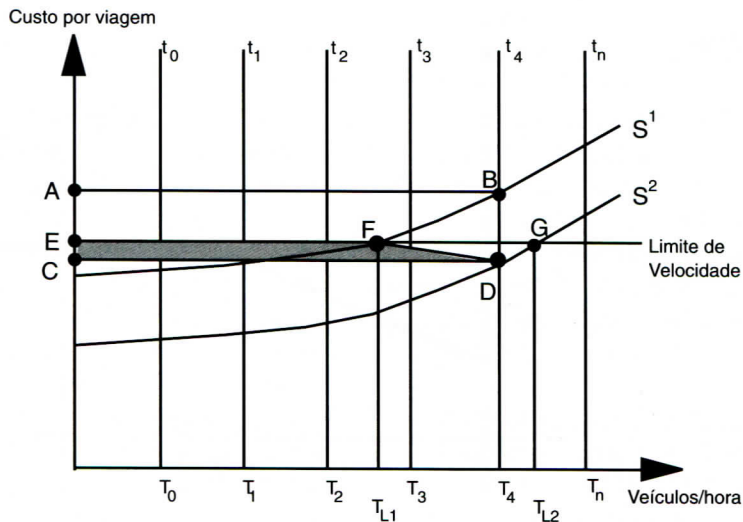
A simulação do modelo elástico, é realizada através da introdução de um limite de velocidade. Este critério é ilustrado na Figura 1. O crescimento do número de viagens devido aos efeitos das variáveis exógenas corresponde ao movimento das curvas da demanda (linha vertical) para a direita, as quais representam o volume de viagens  $T$  no respectivo ano  $t$ . Sem restrições na velocidade média, o aumento no número total de viagens seria dado por uma taxa constante e os valores correspondentes aos números de viagens seriam representados pelas posições  $T_0, T_1, \dots, T_n$  na Figura 1. Assim numa avaliação de projetos, a restrição de crescimento por limite de velocidade é introduzida através das curvas de custo  $S^1$  e  $S^2$ . A curva  $S^1$  representa a situação viária sem intervenção, enquanto que  $S^2$  refere-se ao sistema com a intervenção.

Depois que a velocidade limite for atingida, o volume de viagens no sistema de referência é mantido em  $T_{L1}$ . Para o caso da simulação de investimento, o volume de viagens continuará crescendo até  $T_{L2}$ . Essa característica permite simular um comportamento semelhante ao dos modelos de demanda elástica para os volumes entre  $T_{L1}$  e  $T_{L2}$ . Isso representaria as viagens geradas devido à diminuição de custo através do investimento.

Quando a velocidade permitida é atingida, no caso  $S^2$ , nenhum benefício adicional é obtido após esse período, devido à função do custo coincidir para ambas as situações. Por exemplo, o benefício obtido sem o limite de velocidade para o crescimento com demanda inelástica no ano  $t_4$  é representado pela área ABDC (Mackie and Bonsal, 1989; Williams, 1977). Com a introdução do limite de velocidade a área hachurada EFDC da Figura 1, representa o benefício devido ao investimento. Depois do tempo correspondente ao volume  $T_{L2}$ , o benefício adicional será zero, uma vez que os custos se mantêm os mesmos.

**FIGURA 1**

**REPRESENTAÇÃO DA  
RESTRIÇÃO DO  
CRESCIMENTO DA  
DEMANDA PELA  
VELOCIDADE**



Fonte: Yamashita (1993).

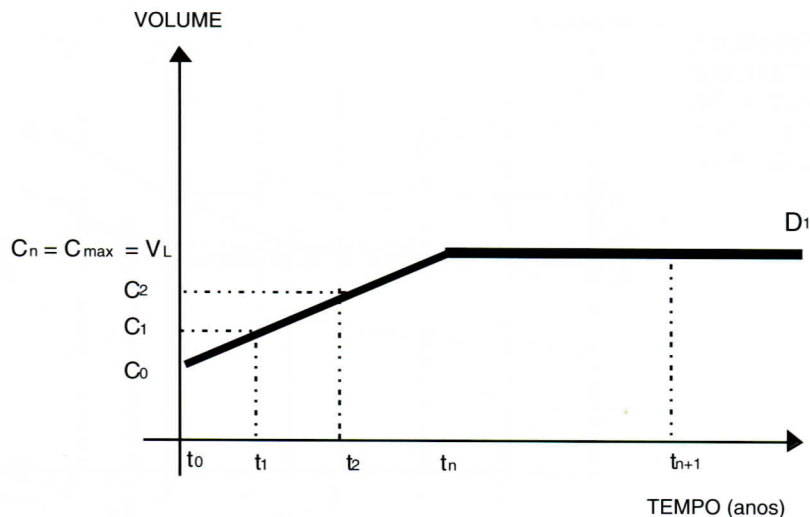
## 2.5. Transporte e uso do solo

As teorias de estruturação das cidades permitem entender a lógica das relações entre os diversos entes da sociedade (indivíduos, grupos e instituições) e o espaço por eles ocupado, enquanto que o sistema de transporte, garante que estas relações se mantenham. Ao longo do tempo, o transporte vem constituindo-se como o elemento central na estruturação do espaço urbano. Isso se verifica pelas facilidades do sistema de transportes, que têm promovido os processos de urbanização e influenciado nos padrões de distribuição da população, valores do solo, assim como induzido à localização das diferentes atividades.

Embora estes dois processos sejam interdependentes, é comum observar principalmente nas cidades latino-americanas, como o sistema de transportes e a urbanização têm sido planejados

isoladamente. A concentração nas áreas centrais e a segregação de alguns elementos da sociedade, favorecem a dispersão do espaço e baixa densidade, incentivando o uso do veículo particular, e assim, aumentando a demanda do transporte privado na rede viária existente.

O planejamento de transportes é necessário, mas não é suficiente para eliminar os problemas de circulação nas áreas urbanas, uma vez que depende de questões estruturais como, por exemplo, a localização das atividades econômicas e residenciais na cidade. Por essa razão considera-se necessário levar em conta a estruturação urbana para estabelecer uma base para a análise da evolução da cidade e um suporte para tomada de decisões no gerenciamento do sistema de transportes através da mudança no uso do solo. Dessa forma é sugerida uma metodologia, onde através de alteração do uso do solo se tenta otimizar a capacidade do sistema viário para transporte privado.

**FIGURA 2****CAPACIDADE MÁXIMA DA REDE****3/ METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE CAPACIDADE MÁXIMA DA REDE**

A metodologia será apresentada em duas etapas, primeiramente, uma análise de capacidade máxima da rede é realizada usando um modelo de equilíbrio com restrição de crescimento simulando uma demanda elástica. Posteriormente, uma nova simulação será realizada considerando as possíveis alterações, que poderiam ser realizadas para obter um melhor aproveitamento do sistema viário.

**3.1. Análise de capacidade máxima da rede**

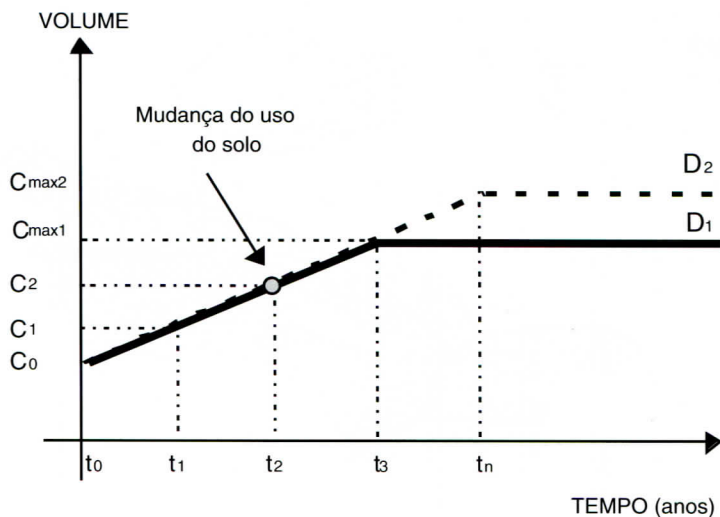
Para o cálculo de capacidade máxima, é proposto a utilização do método de crescimento com restrição que fará a alocação do tráfego na rede viária, analisando dentro de um contexto temporal, especificamente para transporte privado, sob determinada condição de nível de serviço.

No método de crescimento com restrição por velocidade, o volume da demanda permanece inalterado quando a velocidade média na rota é menor ou igual à velocidade limite. Para cada par de O-D é verificada, no início de cada período, a velocidade média das viagens entre os pares  $i$  e  $j$ . Se esse par tiver a velocidade maior que o limite estabelecido, o crescimento da demanda do mesmo é detido. Essa concepção se fundamenta no conceito de que após atingir a velocidade limite, a demanda dos pares de O-D que utilizam esse arco alcança a sua capacidade máxima.

No contexto de uma rede, a capacidade máxima dos diversos pares de O-D será atingida em diferentes anos. Assim sendo, o número total de viagens será obtido quando a porcentagem de crescimento da demanda tender a zero, e desta forma a variação da mesma tenderá a estabilizar-se. Esse estágio será considerado como a capacidade máxima da rede viária.

**FIGURA 3**

**CAPACIDADE MÁXIMA DA REDE APÓS A INTERVENÇÃO**



A Figura 2, ilustra esse conceito de capacidade máxima analisado na rede viária. A curva que representa a demanda de viagens  $D_1$ , apresenta um aumento no número de viagens do ano  $t_0$  a  $t_n$ , devido aos arcos que compõem a rede estarem operando abaixo da velocidade limite. Na medida que os arcos atingem esta velocidade, ocorrerá uma redução efetiva no crescimento da demanda, e a capacidade máxima  $C_{max1}$  será obtida. Assim sendo, o crescimento do número de viagens não será permitido, estabilizando no ano  $t_n$ , determinando assim a capacidade máxima  $C_{max}$  do sistema.

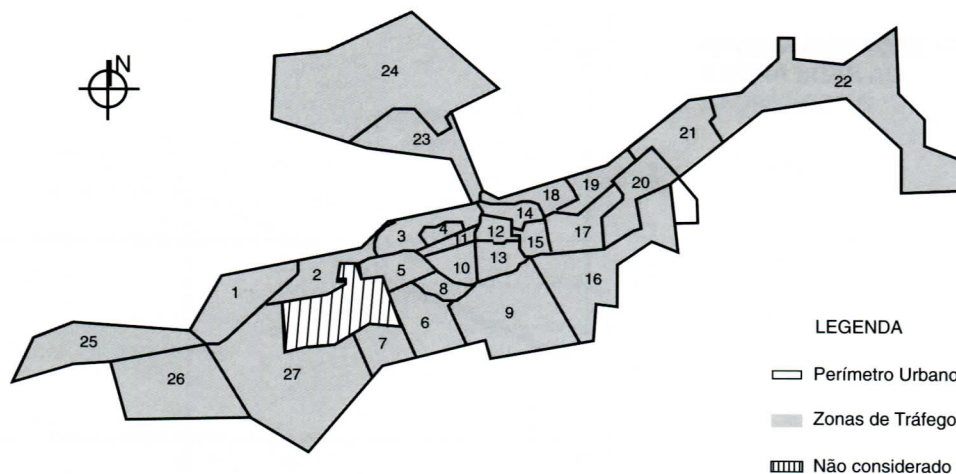
**3.2. Análise da alteração de uso do solo para melhor desempenho da rede viária**

A análise de capacidade máxima da rede viária permite identificar as situações limites nas quais poderia colapsar o sistema viário, em determinadas condições de nível de serviço. Porém, é

necessário procurar soluções que possam melhorar o seu desempenho, aproveitando a infra-estrutura viária existente. Nessa pesquisa é proposta através da idéia de que um aproveitamento racional do espaço urbano pode melhorar o desempenho do sistema viário.

Uma vez conhecida a capacidade máxima da rede e analisados os padrões de crescimento e ocupação da cidade são propostas mudanças de uso do solo, através das quais será feita a redistribuição e a realocação da demanda de viagens na matriz de O-D. Utilizando a metodologia descrita na seção anterior, é realizada uma nova simulação para obter os limites de capacidade após as intervenções, verificando se as medidas de gerenciamento de uso do solo oferecem resultados positivos para o desempenho do sistema viário.

A Figura 3 descreve mais claramente a metodologia proposta. A curva da demanda de viagens  $D_2$  corresponde ao número total

**FIGURA 4****ZONA DE TRÁFEGO**

Fonte: Prefinca (1991).

de viagens da matriz de O-D alocado na rede, uma vez realizadas as mudanças no uso do solo. A demanda total da rede é analisada ano por ano, até atingir a capacidade máxima. A curva indica que após a intervenção o sistema comporta um número maior de viagens. Por sua vez, a capacidade máxima  $C_{max2}$  definida pela estabilização do número total de viagens é atingida algum tempo depois da inicial  $C_{max1}$  apresentando uma demanda total maior. Isso indica que o desempenho do sistema viário foi melhorado, podendo comportar um número de viagens maior após essa modificação.

#### **4/ APLICAÇÃO DO MODELO PARA A CIDADE DE MATURÍN-VENEZUELA**

Para o modelo descrito acima, será realizado um estudo de caso para analisar a capacidade máxima da rede viária da cidade de Maturín. A cidade está localizada na zona central do estado de

Monagas, na região nordeste da Venezuela, constituindo-se como uma das cidades de maior importância na região, sendo o principal centro urbano, econômico e político-administrativo do estado. Possui uma população de aproximadamente 221.000 habitantes na área urbana (Prefinca, 1991). A zona urbana tem uma extensão de 13.200 hectares definida no Plano Diretor elaborado em 1986.

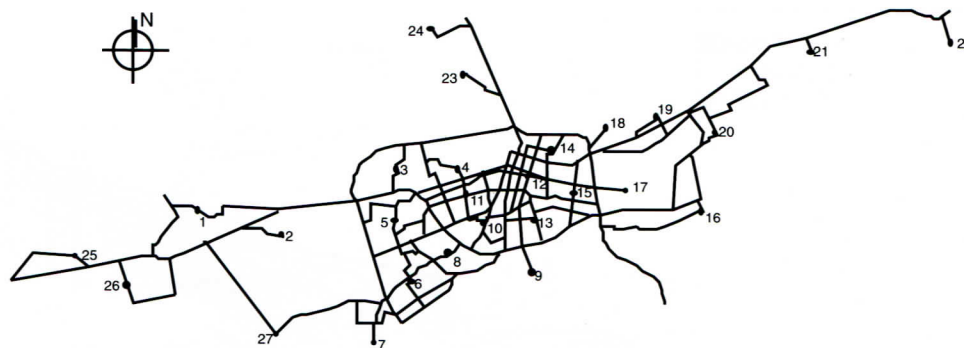
No aspecto econômico, nos últimos vinte anos Maturín apresentou um desenvolvimento acelerado devido à nacionalização do petróleo na década dos 70. Isso tem gerado importantes pólos industriais e de serviços, embora a atividade de maior importância em relação à geração de emprego seja a do setor terciário, como consequência do papel funcional da cidade como capital do estado.

Atendendo ao crescimento da cidade, foi feito um significativo investimento em novas obras viárias, permitindo a conformação



**FIGURA 5**

**REPRESENTAÇÃO  
DA REDE VIÁRIA**



de um sistema de avenidas que tornou eficiente a circulação através da cidade. As vias arteriais, coletoras e locais possuem amplas seções transversais, permitindo circulação nos dois sentidos, incluindo o estacionamento. É de se destacar que a rede viária desta cidade atualmente apresenta condições relativamente boas de operação, principalmente em alguns pontos da área central, levando assim mais tempo para que a demanda atingisse valores superiores a sua capacidade nos arcos nos anos futuros. Isso levou a que esse estudo fosse realizado por um período extenso de 60 anos.

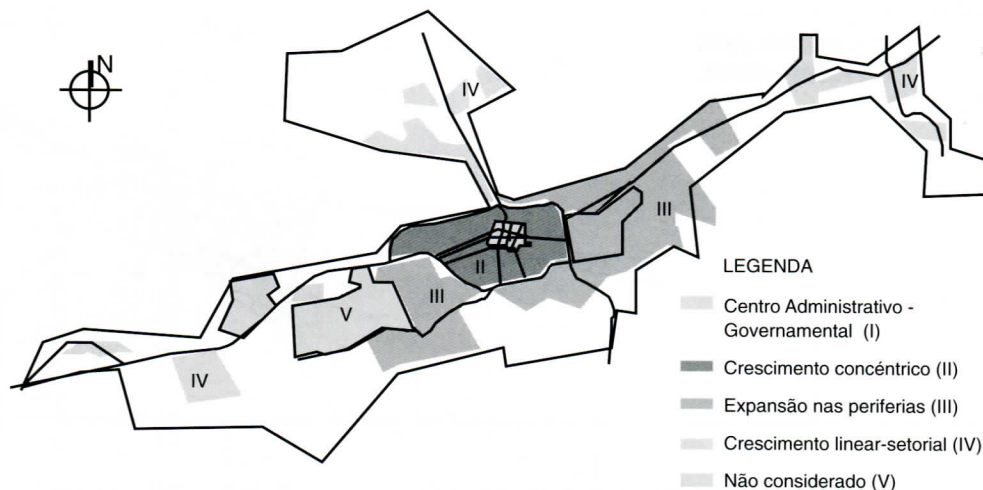
A taxa média anual de crescimento de veículos é em torno de 5%, sendo a mesma registrada em outras cidades do país, refletindo a dinâmica do desenvolvimento da cidade nos últimos anos. Em função de grandes investimentos nas atividades industriais, prevê-se um aumento nessa taxa de crescimento (Prefinca, 1991).

A área em estudo foi dividida em 27 zonas de tráfego (Figura 4), compreendidas dentro da poligonal urbana estabelecida no PDUL (Prefinca, 1991). Para realizar o zoneamento foram consideradas as atividades predominantes de cada zona, a

densidade urbana e a situação sócio-econômica. A matriz O-D foi adaptada por López (1994), baseada nos estudos de Aquino et al. (1992), e representa as viagens dentro do período de pico da manhã. Foram utilizados dois tipos de nós, os centróides numerados do um (1) a vinte e sete (27), correspondentes às zonas de origens e destinos das viagens, e os centróides conectadores de vinte e oito (28) a cento e cinquenta (150), onde representam as interseções das vias (Figura 5). Um total de 460 arcos foram codificados e classificados como vias expressas, arteriais, coletoras e locais, segundo a sua capacidade e velocidade.

#### **4.1. Análise da estrutura urbana atual**

Maturin começou a se desenvolver a partir de um ponto central, basicamente administrativo-governamental e foi crescendo com uma estrutura tabular (Figura 6-I). Uma área basicamente residencial, onde podem ser identificados diversos setores, os quais se organizam de acordo com a situação sócio-econômica podem ser identificados na Figura 6- (II). A área que atualmente é denominada de área central é a mais consolidada e está delimitada claramente por um anel viário, que era anteriormente

**FIGURA 6****ETAPAS DE  
CRESCIMENTO  
DA CIDADE**

considerado o limite externo da cidade. Nessa etapa o crescimento da cidade foi caracterizado como concêntrico (em volta ao centro administrativo).

A partir da década dos anos 70, Maturin consolidando-se cada vez mais como centro administrativo e de serviços, apresentou um crescimento acelerado não previsto pelas autoridades planejadoras. O aumento do valor do mercado imobiliário e a deterioração das condições ambientais na área central induziu o deslocamento de atividades residenciais à periferia (Figura 6-III). Essa situação gerou uma grande dispersão urbana e baixas densidades populacionais, levando a maiores investimentos em infra-estrutura de transporte e serviços.

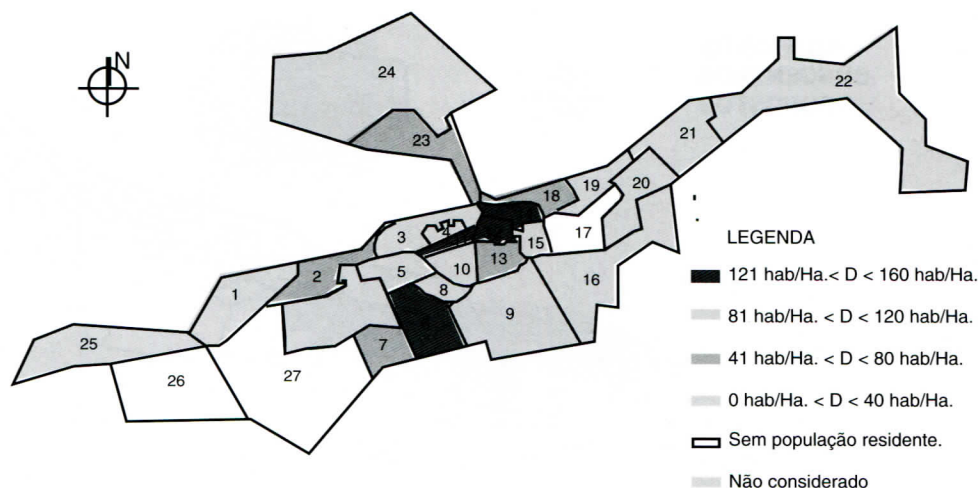
Dessa forma, a cidade começou se a organizar ao longo dos eixos rodoviários, principalmente no sentido Sudoeste-Nordeste, mudando radicalmente o padrão de crescimento seguido até

então, passando do crescimento concêntrico ao crescimento linear, destacando-se a discontinuidade das áreas de atividades (Figura 6-IV). Devido à falta de planejamento, duas atividades que anteriormente estavam localizadas fora do perímetro urbano, passaram a fazer parte da área urbana, constituindo-se em barreiras que impedem a integração, como são as zonas correspondentes ao aeroporto e à zona militar (Figura 6). Essa última foi desconsiderada para efeitos deste estudo, uma vez que por razões de segurança nacional não poderá ser modificado, além do número das viagens geradas e atraídas serem desprezíveis.

Atualmente Maturin apresenta a estrutura organizacional típica das cidades latino-americanas, com centralização dos postos de trabalho e áreas residenciais localizadas nas periferias, implicando assim no percurso de grandes distâncias. A área central (Figura 7) é a mais consolidada e apresenta uma

**FIGURA 7**

**DENSIDADE POPULACIONAL POR ZONA**



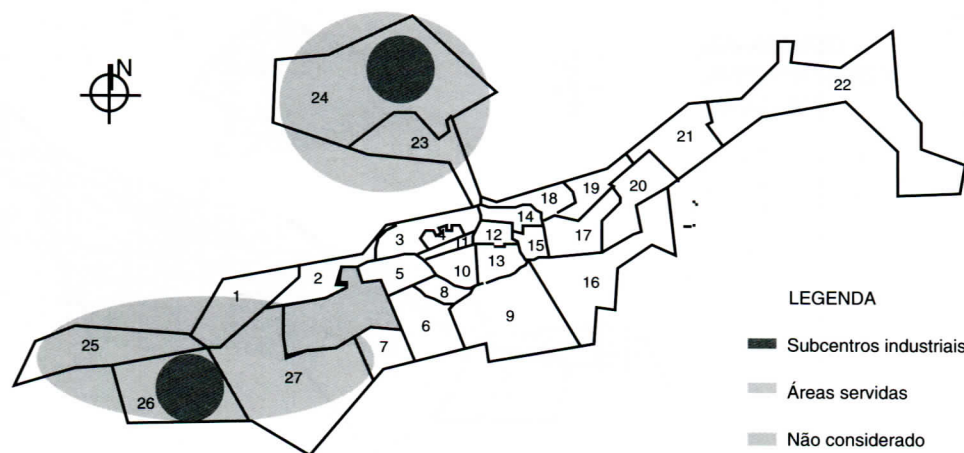
densidade populacional uniforme, destacando-se como um centro administrativo e de serviços, que vem a constituir um importante pólo gerador de viagens. Exceto a área central, as densidades populacionais variam de 0 à 100 hab./ha., o que leva a um baixo índice de 46,39 hab./ha. (Prefinca, 1991). Nota-se a existência de áreas com densidade maior de 100 hab./ha., basicamente residenciais nas periferias da cidade (Figura 7), as quais são responsáveis por uma grande proporção das viagens.

#### 4.2. Propostas de mudança de uso do solo

A estrutura urbana deve ser cuidadosamente analisada uma vez que engloba o tipo de organização espacial que possui uma grande influência sobre a configuração da rede e da eficácia global do sistema. Atualmente vem se desenvolvendo diversos conceitos referentes à densidade urbana e seus efeitos positivos econômicos, ambientais e sociais, garantindo menores custos e

favorecendo as relações individuais e institucionais (Égal, 1994). Esses efeitos estendem-se ao sistema viário, através de uma estreita relação entre a densidade de uma área urbana e o funcionamento da rede de transporte (Émangard, 1994). No estudo desenvolvido por Émangard (1994), detectou-se que o número total de viagens é relativamente sensível à densidade urbana e que pode ser modificado por esta.

Por estas razões, os critérios para a realização das mudanças foram baseados nos conceitos de Égal (1994) de que a densificação representa um valor positivo dentro da estruturação urbana, desde que seja feita uniformemente, evitando altas concentrações pontuais. Visando redução dos custos na prestação de serviços, assim como melhorias na qualidade de vida do cidadão, tanto ambiental quanto social. Assim, para a realocação das atividades tomou-se a densidade residencial da zona de forma que a cidade adquirisse uma densidade

**FIGURA 8****POLÍTICA P.I.  
SUBCENTROS  
PROPOSTOS**

homogenia, considerando a infra-estrutura viária e de serviços existentes. As propostas de mudança de uso do solo procuraram respeitar as tendências de crescimento da cidade, assim como levar em conta as restrições do sistema viário atual, de forma que as transformações gerassem resultados positivos.

Considerando o programa de desenvolvimento urbano do PDUL foram propostas três políticas de alteração de uso do solo, as quais foram dirigidas principalmente as áreas residenciais que apresentavam maior densidade. Nas políticas P.I e P.III a área central foi mantida intacta apesar de apresentar uma densidade alta (Figuras 8 e 10), por possuir uma infra-estrutura suficiente para atender à população residente, assim como um sistema viário com condições adequadas de operação e capacidade. Na política P.II, a área governamental destinada ao aeroporto, considerada uma barreira urbana que impede a integração gerando a dispersão urbana foi transformada em atividade residencial. Essas atividades residenciais foram realocadas principalmente nas zonas

adjacentes aos pólos industriais propostos no PDUL (PREFINCA, 1991), para tentar modificar os padrões de mobilidade devida a localização de atividades, próprios das cidades latinoamericanas.

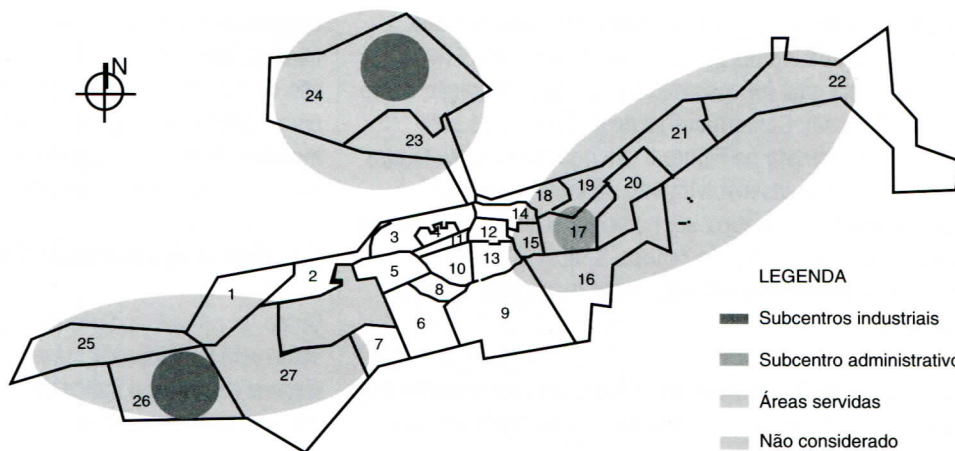
Tanto nas políticas P.I e P.II considerou-se a ruptura do padrão de crescimento atual propondo a criação de sub-centros conforme o modelo multicêntrico desenvolvido por C.D Harris e E. Ullman em 1945 (Johnson, 1972), como ilustrado nas Figuras 8 e 9. Na política P.I (Figura 8) a realocação das atividades é feita ao redor de pontos específicos de crescimento, referidos principalmente às áreas industriais. Incentivando assim, a oferta de empregos para as áreas residenciais circundantes, desta forma evitar-se-iam deslocamentos desnecessários para o centro da cidade, diminuindo as distancias dos deslocamentos devido à proximidade das atividades.

Na política P.II foi proposta a realocação das atividades residenciais dos locais altamente densos para as áreas

**FIGURAS 9 Y 10**

**POLÍTICA P.II.  
SUBCENTROS  
PROPOSTOS**

**POLÍTICA P.III.  
SUBCENTROS  
PROPOSTOS**



circunvizinhas aos pólos industriais e principalmente no espaço governamental do aeroporto. Devido ao importante crescimento do estado Monagas, está sendo considerada a ampliação do aeroporto, e assim deverá ser prevista a sua realocação fora dos limites da poligonal urbana (PREFINCA, 1991), razão pela qual foi considerada sua desintegração como pólo governamental. Constituem-se desta forma três sub-centros, como ilustrado na Figura 9. Na política P.III, da Figura 10, considerou-se o desenvolvimento da área residencial adjacente a industrial na zona 26, homogeneizando a densidade da área urbana (Figura 13), no sentido Sudoeste-Nordeste, favorecendo o desenvolvimento ao redor deste pólo gerador de emprego.

Segundo Carr (1987), os modelos de setorização utilizados nos países desenvolvidos não oferecem resultados positivos nos países em desenvolvimento, devido a falta de recursos para investimentos para servir estes sub-centros, tanto de infraestrutura e serviços como do sistema viário. Nas propostas das políticas neste estudo, não está previsto segregar e diferenciar estas áreas, pelo contrário unificar-las, uniformizando a densidade populacional e aproveitando a infraestrutura viária e de serviços, dado que a crise financeira atual impossibilita investimentos em áreas afastadas da área urbana.

Nas políticas propostas acima, o cálculo das porcentagens das atividades realocadas, se deu analisando a densidade populacional de cada área (Figura 7), observando-se valores extremos. Baseando-se no princípio da densificação uniforme, tomou-se nas áreas altamente densificadas uma porcentagem da população residente, realocando nos locais menos densos, na tentativa de se obter uma uniformização nos padrões das densidades populacionais (Figuras 11, 12 e 13). Com as porcentagens de população e das atividades realocadas com suas respectivas viagens, foi realizada uma redistribuição e realocação das viagens. Sendo assim possível a obtenção do número total de viagens através da matriz de O/D, que servirão de base para a simulação da análise da capacidade máxima.

## 5/ ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção são analisados, em primeiro lugar, os resultados obtidos da aplicação do método de crescimento com restrição para a análise de capacidade máxima da rede. Posteriormente são discutidas as intervenções através das políticas propostas para o gerenciamento de uso do solo, para verificar se as medidas melhoram o desempenho da rede viária, adiando o ano em que a capacidade máxima da mesma pudesse ser atingida.

### 5.1. Análise de capacidade máxima da rede

Como foi referido anteriormente, a capacidade de uma rede viária será considerada máxima, quando o número total de viagens na rede e o índice de congestionamento se estabilizarem em uma análise temporal.

O método de crescimento com restrição limita o aumento da demanda entre um par de O-D quando a velocidade média na rota é inferior a uma velocidade especificada, simulando dessa forma o comportamento do modelo elástico. Para este estudo, os limites foram estabelecidos em 10 Km/h e 20 Km/h. O primeiro valor foi estabelecido considerando que reflete situações de congestionamento limite que o usuário poderia suportar. O segundo valor de 20 Km/h, pretende representar um nível de serviço teórico que garanta um razoável desempenho do sistema. Esses valores fazem parte do ensaio teórico para análise de capacidade, sem querer representar um valor real, que deveria ser definido de uma forma que envolvesse um estudo mais aprofundado da tolerância do usuário.

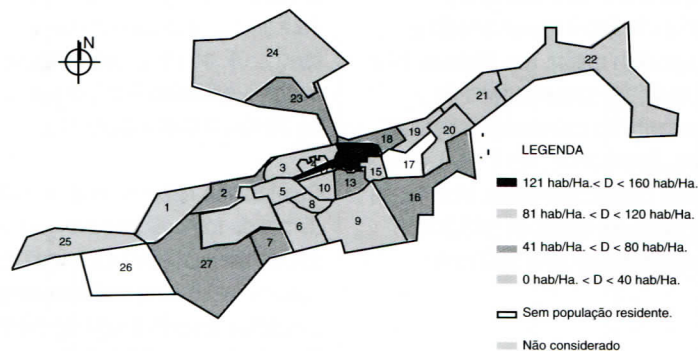
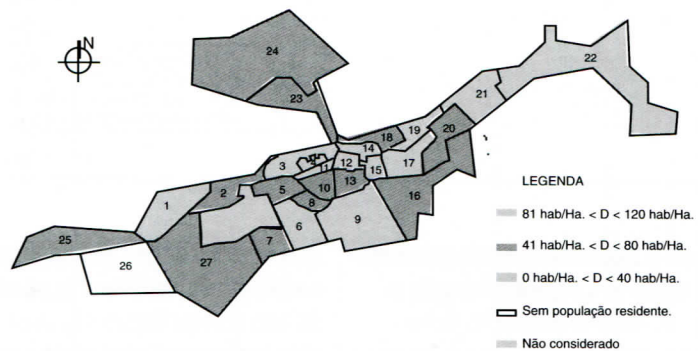
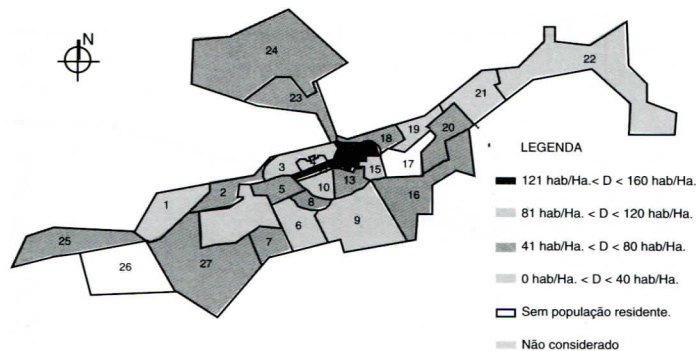
Na Figura 14 são apresentados os resultados das duas simulações sem alteração de uso do solo. A simulação com o método de crescimento com restrição de 10 Km/h apresenta uma demanda maior durante o período em análise. Isso se dá devido à velocidade média limite nas rotas ser menor, levando assim mais tempo para atingir a capacidade máxima do que 20 Km/h, que permite o acréscimo na demanda nesses pares de O-D por mais tempo.

### FIGURAS 11, 12 Y 13

**POLÍTICA P.I.  
DENSIDADES URBANAS.**

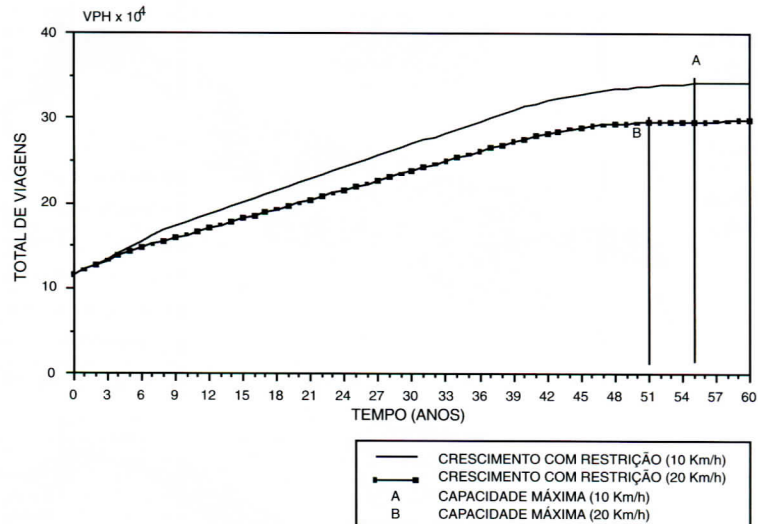
**POLÍTICA P.II.  
DENSIDADES URBANAS.**

**POLÍTICA P.III.  
DENSIDADES URBANAS.**



**FIGURA 14**

**VARIAÇÕES DAS  
DEMANDAS TOTAIS  
SEM ALTERAÇÃO DE  
USO DO SOLO**



O mesmo pode ser verificado com o índice de congestionamento na Figura 15. Entende-se como índice de congestionamento a porcentagem de arcos onde a razão entre o volume de fluxo alocado e a sua respectiva capacidade nominal for maior do que a unidade. Para o caso de restrição de crescimento para velocidade de 10 Km/h, o índice verificado é maior devido à demanda total apresentada ser também maior. Nas Figuras 14 e 15, é interessante observar que tanto as porcentagens de congestionamento quanto ao aumento da demanda tendem a estabilizar a partir do ano 55 e 51, com valores de 47% e 40% para as restrições de 10 e 20 Km/h respectivamente. Verifica-se então que a capacidade máxima seria em torno de 343.000 e 298.000 viagens/hora para as restrições de 10 e 20 Km/h respectivamente.

Utilizando o método de restrição de crescimento com velocidade de 10 Km/h a demanda de viagens tem um

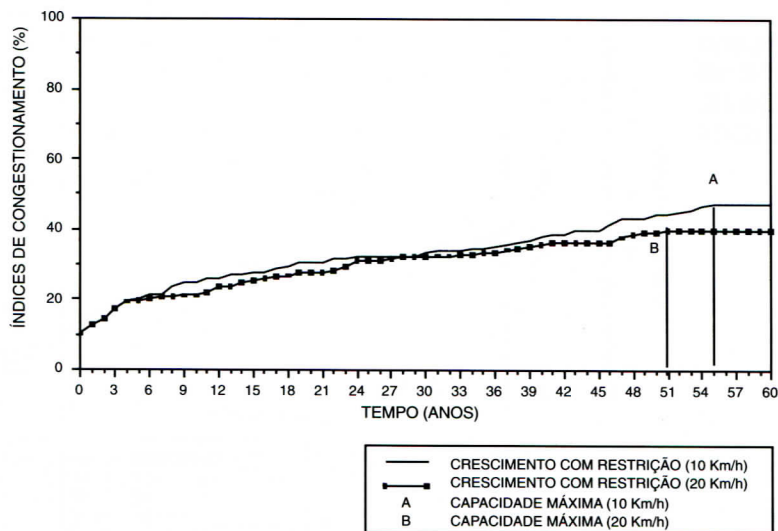
crescimento de 5% ao ano durante os primeiros três anos, começando a decrescer gradualmente, tendendo a zero a partir do ano 55 (ver Figura 16). Isto indica que nesses três anos a rede opera a um nível onde a velocidade média de nenhum dos pares O-D atingiram esses limites. Para a velocidade limite de 20 Km/h o crescimento de 5% ao ano é somente no ano atual (ano = 0), ou seja, que a restrição de velocidade é aplicada desde o primeiro ano porque algum dos pares O-D já atingiram os 20 Km/h (ver Figura 16).

Quando são relacionados os índices de congestionamento e a demanda total de viagens com as taxas de crescimento tudo parece indicar que existe uma dependência. O nível de congestionamento se torna constante e a demanda total se estabiliza quando a taxa de crescimento tender a zero (ver Figuras 14, 15 e 16). Verifica-se que a capacidade máxima da rede a um nível máximo de congestionamento, dentro das



**FIGURA 15**

**VARIAÇÕES DOS ÍNDICES DE CONGESTIONAMENTO SEM ALTERAÇÃO DE USO DO SOLO**



restrições de crescimento previamente estabelecidas, garante que a rede continue operando com esse nível de serviço.

Teoricamente o limite talvez dever-se-ia fixar quando a porcentagem de congestionamento da rede atingisse 100%, porém é uma situação irreal que representaria o caos total do sistema. É por isto que os conceitos de capacidade sempre são relativos às condições pre-especificadas pelo analista, seja em base à capacidade dos arcos, à área ambiental ou a velocidade média.

**5.2. Análises das políticas**

Como foi colocado anteriormente, foram propostas três tipos de políticas de uso do solo, com o objetivo de melhorar o desempenho do sistema viário. Considerando essas intervenções foi realizada a redistribuição e a realocação das viagens da matriz de O-D. Para simulação do comportamento do

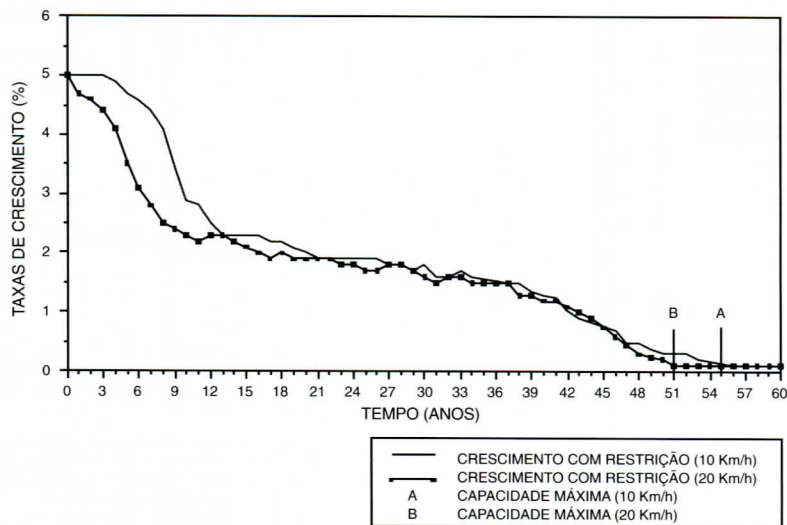
fluxo de tráfego foram propostos dois cenários projetados para 60 anos. Os resultados obtidos desses cenários são apresentados na Tabela 1.

Considerando como uma situação pessimista o cenário 1, o conjunto de políticas propostas de alteração do uso do solo é analisado pelo método de crescimento com restrição de velocidade a 10 Km/h. O cenário 2, como mais otimista, também apresenta um conjunto de propostas porém analisando pelo mesmo método com restrição de velocidade de 20 Km/h.

No cenário 1 da Tabela 1, observa-se que todas as três políticas de alteração de uso do solo permitem uma demanda total maior do que se nenhuma mudança fosse realizada. Porém, percebe-se que a política P.III oferece uma melhor resposta durante todo o período analisado, em termos da demanda de viagem. O mesmo pode ser observado também para o cenário 2, verificando que a

**FIGURA 16**

**TAXAS DE CRESCIMENTO  
PARA LIMITES DE  
VELOCIDADE DE  
10 KM/H E 20 KM/H**



demanda é menor que no cenário 1, como era de se prever, pelas razões expostas anteriormente.

Nas Figuras 17 e 18 podemos observar que as variações da demanda para as políticas P.I e P.II indicam que até um certo período, as mudanças não se justificam, devido a mesma ser menor que a situação sem intervenção. Por sua vez na políticas P.III esse aumento da demanda se percebe mais cedo.

Analisando a longo prazo, pode se perceber que as medidas de gerenciamento de uso do solo produzem efeitos positivos no sistema viário. Pode se observar maior número de viagens no final do período analisado com o índice de congestionamento um pouco maior do que da situação sem intervenção. Por exemplo, no cenário 1 a P.III permite um aumento na demanda de 28% em relação a P.O e de 10% no congestionamento. Enquanto que para o cenário 2, esses valores tomam a dimensão de 25% na demanda e 13% no índice de congestionamento.

O fluxo das viagens e a capacidade viária determinam os índices de congestionamento. Sendo assim, para as diferentes políticas, no cenário 1, verifica-se que com as mudanças de uso do solo existe uma melhoria no índice de congestionamento nos primeiros anos, colocando-se no final do período acima da política P.O, como ilustrado na Figura 19. Para o cenário 2 (Figura 20), observa-se o mesmo comportamento, os índices de congestionamento das políticas implementadas são menores nos primeiros anos, aumentando no final do período, principalmente para as políticas P.I e P.III. No caso da política P.II, no final do período o índice de congestionamento é bastante semelhante à situação da política P.O.

Para as taxas de crescimento no cenário 1 da Figura 21, pode se constatar que para as políticas P.I e P.II, é inferior a 5%, o que não ocorre para P.III, que permanece estável durante os primeiros nove anos. Para o final do período analisado, as taxas

**TABELA 1**

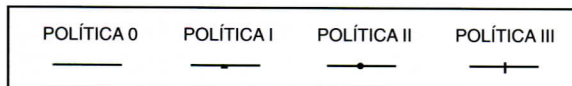
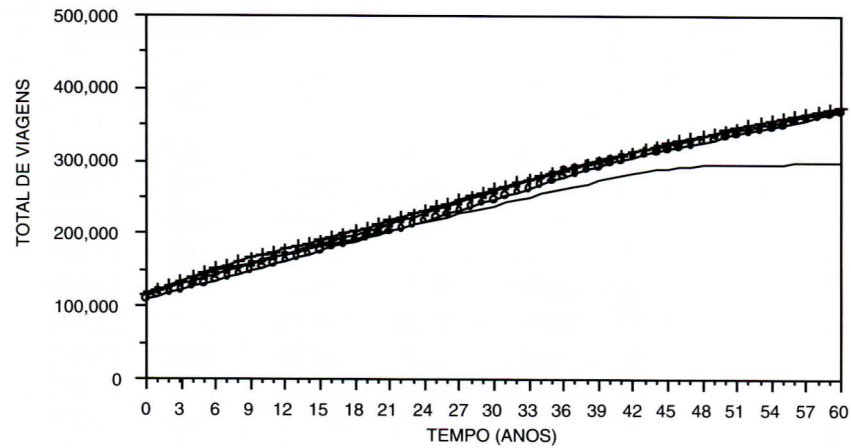
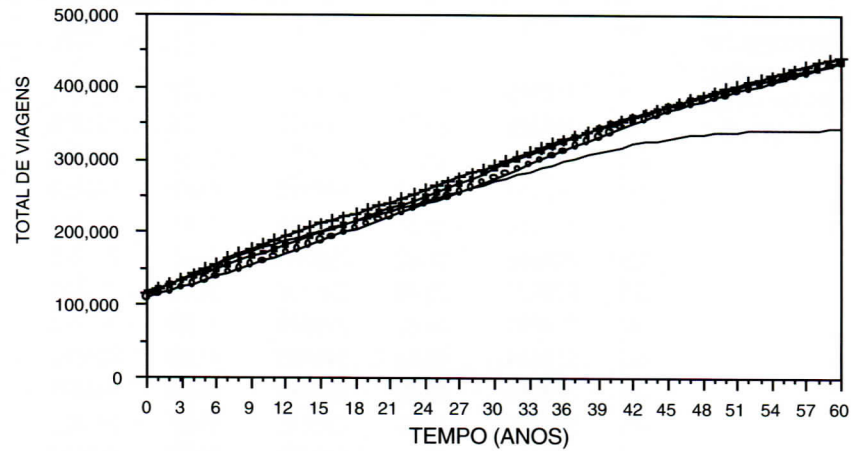
**VARIAÇÕES DAS  
DEMANDAS DE VIAGENS  
E DOS ÍNDICES DE  
CONGESTIONAMENTO  
PARA OS DIFERENTES  
CENÁRIOS**

<b>Cenário 1 (10 Km/h)</b>								
<b>Ano</b>	<b>P.0</b>	<b>%</b>	<b>P. I</b>	<b>%</b>	<b>P. II</b>	<b>%</b>	<b>P. III</b>	<b>%</b>
0	116580	10,13	117481	10,87	110111	10,95	117069	9,13
5	148222	20,26	144678	17,39	133875	15,16	149413	16,52
10	179280	25,11	172285	21,74	160638	19,37	184430	23,04
15	202244	27,75	199948	26,96	188210	23,37	211876	29,13
20	225050	30,84	227993	30,00	217312	27,79	236727	31,30
25	247258	32,60	256293	33,48	244945	30,74	264545	33,48
30	270327	33,48	288309	34,35	275221	32,42	293855	35,22
35	292800	34,80	319629	37,39	306446	33,68	322907	37,39
40	314414	38,33	349755	41,09	339052	35,79	348789	40,43
45	329883	40,09	374042	45,00	367871	40,63	373390	43,48
50	337875	44,49	396245	48,91	390420	44,63	398800	48,26
55	341676	47,14	415460	50,87	412237	49,47	420915	50,87
60	343388	47,28	435391	53,26	435039	50,95	442405	51,74
<b>Cenário 2 (20 Km/h)</b>								
<b>Ano</b>	<b>P.0</b>	<b>%</b>	<b>P. I</b>	<b>%</b>	<b>P. II</b>	<b>%</b>	<b>P. III</b>	<b>%</b>
0	116580	10,13	117481	10,87	110111	10,95	117069	9,13
5	143613	19,82	139855	16,96	131186	14,32	146815	18,70
10	163435	21,15	162854	20,43	153588	18,95	170925	21,30
15	182399	25,55	186033	23,91	176785	21,47	191163	28,26
20	200792	27,75	208334	28,26	199002	26,53	213481	29,57
25	219741	31,28	233232	31,74	222268	29,89	237328	32,61
30	239300	32,16	258731	33,04	247341	32,00	261842	33,48
35	258302	33,48	283699	34,35	273301	32,84	283380	34,78
40	276350	35,68	305152	36,09	297575	33,68	304049	36,09
45	290301	36,56	323492	37,61	316566	34,95	324960	39,13
50	295563	39,21	339847	41,30	333740	37,05	343178	43,04
55	297043	40,09	355077	43,70	350988	39,16	360404	44,78
60	298532	40,09	370856	44,57	368401	41,47	373661	45,65

**FIGURA 17 Y 18**

**VARIAÇÕES DA  
DEMANDA PARA AS  
DIFERENTES POLÍTICAS.  
CENÁRIO 1.**

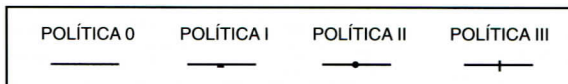
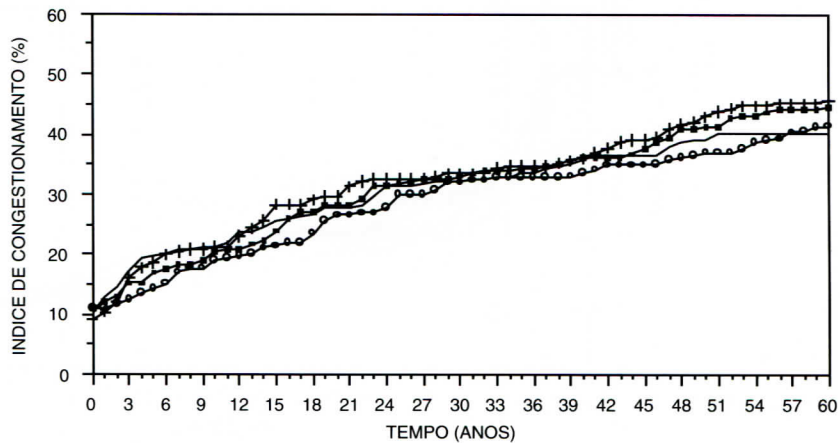
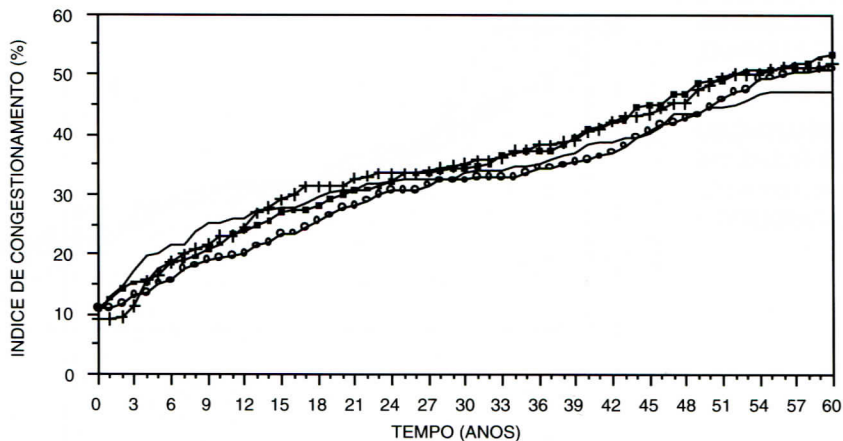
**VARIAÇÕES DA  
DEMANDA PARA AS  
DIFERENTES POLÍTICAS.  
CENÁRIO 2.**



**FIGURA 19 Y 20**

**ÍNDICES DE  
CONGESTIONAMIENTO  
PARA AS DIFERENTES  
POLÍTICAS. CENÁRIO 1.**

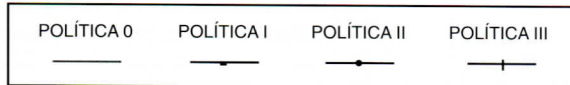
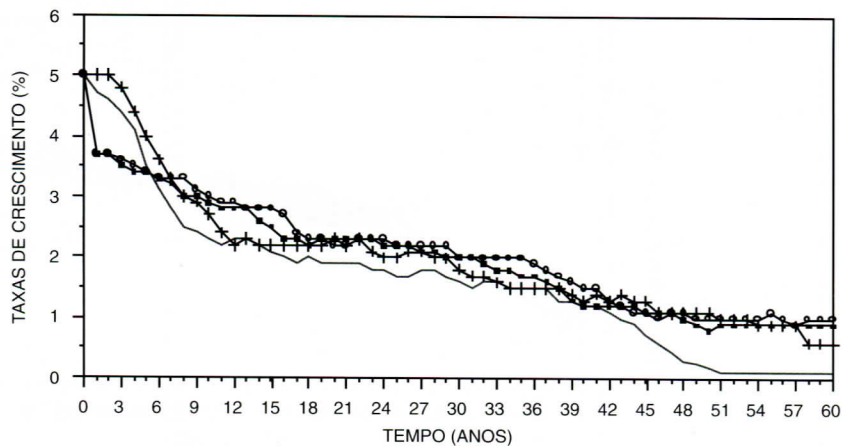
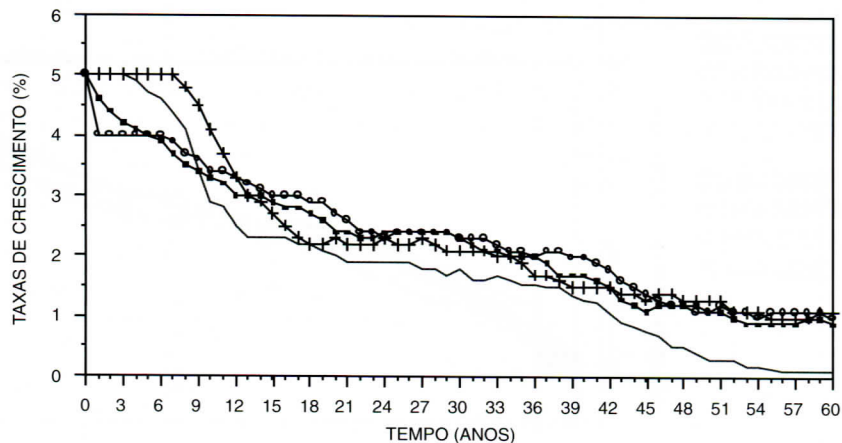
**ÍNDICES DE  
CONGESTIONAMIENTO  
PARA AS DIFERENTES  
POLÍTICAS. CENÁRIO 2.**



**FIGURA 21 Y 22**

**COMPARAÇÃO  
DAS TAXAS DE  
CRESCIMENTO.  
CENÁRIO 1**

**COMPARAÇÃO  
DAS TAXAS DE  
CRESCIMENTO.  
CENÁRIO 2**



de crescimento diminuem ou algumas tendem a estabilizar, o que significa atingir a sua capacidade máxima, como ilustrado na Figura 21 e 22. Verifica-se então, que as taxas de crescimento anuais apresentadas no final do período em estudo, permitem que as demandas totais de viagens continuem aumentando para alguns casos das políticas implementadas. Isso indica que com essas medidas de gerenciamento de uso do solo, o sistema pode suportar ainda um número maior de viagens, antes de atingir a capacidade máxima.

A decisão da melhor política a ser implementada ultrapassa do escopo desse estudo, pois envolve uma análise de custo benefício, o que permitiria entender também a interseção das linhas das diferentes políticas ao longo da análise. Supõe-se que seria necessário verificar o ano de implantação das políticas em estudos posteriores. Porém pode se verificar que algumas intervenções resultam ao longo do período considerado uma demanda maior do que em uma situação sem intervenção (P.0), como no caso da política P.III para ambos os cenários. Pode acrescentar-se que a estabilização dos índices de congestionamento ainda durante o período de análise não se realizou, como mostrado nas Figuras 19 e 20 e o mesmo pode ser afirmado em relação as taxas de crescimento que tampouco tendem a zero (Figura 21 e 22). Para que houvesse a estabilização seria necessária uma análise por um período superior a 60 anos.

Sendo assim, conclui-se que todas as intervenções produzem uma melhoria na capacidade da rede viária. Poder-se-ia afirmar que um bom gerenciamento do uso do solo pode adiar o atingimento da capacidade máxima da rede viária.

## 6/ CONCLUSÕES

A previsão da capacidade máxima de uma rede viária tem como objetivo auxiliar a tomada de decisões no planejamento, para que com medidas de gerenciamento de uso do solo possa obter um melhor aproveitamento do sistema viário. Para atingir esse objetivo foi desenvolvida uma metodologia de análise de

capacidade máxima que foi testada com um estudo hipotético na cidade de Maturin e, que não representa uma política governamental.

Os resultados indicam que efetivamente a capacidade máxima da rede viária é afetada pela localização e densidade das diferentes atividades urbanas. Porém é necessário analisar mais profundamente as formas e o período ótimo em que essas intervenções devem ser implementadas. Ainda mostra, que para o caso de Maturin estas intervenções apresentaram uma melhoria no sistema ao longo do período, manifestada pelo aumento da demanda de viagens quando comparada com a situação atual. Podemos com isso afirmar que um adequado gerenciamento do uso do solo pode melhorar o desempenho do sistema viário através do aumento da demanda.

Embora seja possível estabelecer generalizações com relação a estrutura urbana e aos padrões de crescimento, existem fatores sócio-econômicos, históricos e geográficos que influem na estruturação e evolução de cada cidade e que devem ser levados em conta para realizar os investimentos. É preciso analisar cuidadosamente a localização das atividades urbanas de forma que a incidência sobre o sistema de transportes tenha resultados positivos.

Conclui-se que o sistema de transportes é muito sensível a estruturação da cidade. Nessa pesquisa foi comprovado que a capacidade da rede viária depende das atividades que se desenvolvem ao longo do sistema de transportes e que esta pode ser melhorada através de umas políticas adequadas de planejamento urbano.

Devido as limitações de espaço não se tem aprofundado nos conceitos e metodologias desenvolvidos para a obtenção de resultados, razão pela qual recomenda-se a consulta da tese de mestrado "Análise de capacidade máxima e uso do solo" (Echeverry, 1996) desenvolvida no Mestrado em Transporte Urbano da Universidade de Brasília, na qual baseia-se este trabalho.

## R E F E R E N C I A S

- AQUINO, W., MONTILLA, G. y OCAÑA, R. (1992)  
"Estudio de re-estructuración del sistema de transporte colectivo de Maturín". Caracas: BID / MTC / Fontur.
- ASAKURA, Y. (1992)  
"Maximum Capacity of Road Network Constrained by User Equilibrium Conditions". In: *The 24th Annual Conference of the UTSG*.
- BECKMAN, M., MCGUIRE, C.B. & WINSTEN, C.B. (1956)  
"Studies in the Economics of Transportation". Cowles Commission Monograph-Yale University Press.
- BUCHANAN, C.D. (1963)  
*El tráfico en las ciudades*. Madrid: Tecnos S.A.
- ECHEVERRY, M.T. (1996)  
"Análise de Capacidade e Uso do Solo". Dissertação de Mestrado. Brasília: Mestrado em Transporte Urbano, Universidade de Brasília.
- ÉGAL, Y. (1994)  
"Des effets positifs de la densité urbaine". *Transports Urbains*, 83 (Avril-Juin), pp. 27-31.
- ÉMANGARD, P.H. (1994)  
"Espace urbain et efficacité des réseaux de province". *Transports Urbains*, 83 (Avril-Juin), pp. 5-16.
- EMMERSON, P. (1992)  
"Using Elastic Equilibrium Assignment Models for Road Schemes". In: *PTRC-20th Summer Annual Meeting*.
- HALL, M. D., VAN VLIET, D., & WATLING, D. P. (1992)  
"Demand responsive assignment". In: *PTRC-20th Summer Annual Meeting*.
- HOUNSELL, N. B. (1989)  
"Limits to Traffic Growth in Congested Urban Networks". Contractor Report 171. Transport and Road Research Laboratory.
- LÓPEZ, D. E. (1994)  
"Aplicação de um Modelo de Equilíbrio na Avaliação do Impacto de Faixas Exclusivas para Transporte Público em Redes Urbanas". Dissertação de Mestrado. Brasília: Mestrado em Transportes Urbanos, Universidade de Brasília.
- MACKIE, P.J. and BONSALL, P.W. (1989)  
"Travellers response to road improvements: implications for user benefits". *Traffic Engineering and Control*, 30 (9), pp. 411-416.
- Prefinca (1990)  
*Maturin. Plan de Desarrollo Urbano Local (PDUL)*. Caracas: Mindur.
- ROGERS, K. (1991)  
"Congested Assignment and Matrix Capping-Constraining the Trip Matrix to Reflect Network Capacity". *Traffic Engineering and Control*, 32, pp. 342-346.
- SMITH, I.R. & VAN VUREN, T. (1992)  
"Novel Approaches to Long-Term Forecasting in Congested Situations". In: *PTRC-20th Summer Annual Meeting*.
- VLIET, D. & DOW, P. (1979)  
"Capacity Restrained Road Assignment". *Traffic Engineering and Control*, 20 (6), pp. 296-305.
- VUREN, T. and DAVIES, R. (1992)  
"The Use of Shadow Networks in the Determination of Limits to Traffic Growth in Heavily-Congested Networks". *Traffic Engineering and Control*, pp. 425-428.
- WILLIAMS, H.C.W.L. (1977)  
"On the Formation of Travel Demand Models and Economic Measures of User Benefit". *Environment and Planning*, pp. 285-344.
- WILLIAMS, H.C.W.L. and YAMASHITA, Y. (1992)  
"Equilibrium Forecast of Demand and Investment Benefit Measures for Congested Transport Networks". In: *PTRC-20th Summer Annual Meeting*.
- YAMASHITA, Y. (1993)  
"Highway Investment Analysis with Equilibrium Model". PhD. Dissertation, Great Britain: University of Wales.
- YAMASHITA, Y. (1996)  
"Previsão da Demanda de Viagens para Análise de Investimentos pelo Método de Crescimento com Restrição". *Revista Transportes IV*, pp. 61-72.