

A INFLUÊNCIA DA FORMA URBANA NA VIABILIDADE FINANCEIRA DO TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS EM CIDADES MÉDIAS

Samuel de França Marques
Lilian dos Santos Fontes Pereira Bracarense

Universidade Federal do Tocantins
Curso de Engenharia Civil

RESUMO

O presente trabalho se dedica a descrever as relações existentes entre os diferentes tipos de formas e estruturas urbanas e a eficiência operacional do sistema de transporte público urbano por ônibus. Para tanto, busca-se identificar, na bibliografia especializada, parâmetros que caracterizam cada uma das partes envolvidas nos vínculos supracitados, o padrão de ocupação urbana e a operação do transporte público, e levantar estudos que observaram de que maneira o comportamento de uma variável afeta as outras. Os resultados da influência da forma urbana sobre a rede de transporte público e conseqüentemente sobre a viabilidade financeira desse serviço são posteriormente sintetizados em uma tabela que mostra como os parâmetros do sistema de transporte público se comportam mediante alterações nos índices de ocupação urbana e de que maneira a geração de receita e os custos operacionais do transporte público são afetados a partir dessas ações.

ABSTRACT

This work is dedicated to describe the relationships between the different types of forms and urban structures and operational efficiency of urban public transit system by bus. Therefore, it seeks to identify, in the specialized literature, parameters that characterize each of the parties involved in the aforementioned bonds, the pattern of urban occupation and operation of public transport, and rise studies that observed how the behavior of a variable affects the others. The results of the influence of urban form on the public transit network and consequently on the financial viability of this service are then summarized in a table that shows how the parameters of the public transit system behave by changes in urban occupation indexes and how revenue generation and operating costs of public transport are affected from these actions.

1. INTRODUÇÃO

Em se tratando da urbanização no Brasil, especialmente nas cidades médias (entre 100 e 500 mil habitantes), ao longo do processo de expansão houve “a produção de um tecido fragmentado, com bairros distantes e descontínuos, habitados, sobretudo, pelas camadas mais pobres, e onde se via instalada uma dinâmica de exclusão socioespacial reforçada pela presença de inúmeros vazios urbanos” (Goulart *et al.*, 2013), naquela que se caracteriza como forma urbana espalhada. Nesse contexto, a população de renda mais baixa, distribuída na periferia das cidades, sofre uma impedância para se locomover pelo ambiente urbano haja vista que os grandes espaços vazios existentes aumentam as distâncias médias de viagem, dificultando o acesso das camadas financeiramente vulneráveis aos serviços básicos que o município oferece: saúde, educação, lazer, etc. É nesse cenário que emerge a importância do transporte público (TP) que, além de “democratizar a mobilidade e se constituir em um modo de transporte imprescindível para reduzir congestionamentos, os níveis de poluição e o uso indiscriminado de energia automotiva, ainda contribui para minimizar a necessidade de construção de vias e estacionamentos” (Araújo *et al.*, 2011).

De fato, a alta representatividade da população de baixa renda nas viagens realizadas por transporte público em cidades médias já foi verificada em uma pesquisa de satisfação realizada por Antunes e Simões (2013). Carvalho e Pereira (2009) ainda constataram que mesmo considerando uma situação de renda constante da população, qualquer aumento de preço gera uma redução mais que proporcional na demanda por transporte, o que implica, na prática, queda de receita mesmo com aumento da taxa cobrada. Tal cenário obriga o operador

a elevar o custo da tarifa, impossibilitando ainda mais a compra desta pelas camadas menos abastadas da sociedade, o que acaba provocando nova redução na demanda em um ciclo vicioso a ser combatido pelos órgãos responsáveis. Dessa forma, torna-se complicado prover um transporte público de qualidade nas cidades médias caracterizadas anteriormente uma vez que o prolongamento das linhas para os subúrbios exige a passagem dos veículos por espaços não ocupados onde a demanda de usuários é incipiente ou mesmo inexistente. Essa obrigatoriedade provoca um aumento no custo operacional do sistema, já que ocorre um acréscimo na quantidade de quilômetros percorridos sem a devida correspondência na movimentação de passageiros. Tendo em vista que a tarifa do transporte público equivale à ratificação dos custos da rede pelo número de usuários pagantes, tal inconformidade, associada ainda à presença de gratuidades e à elevação no preço dos insumos do TP, resulta, no decorrer dos anos, no aumento da tarifa acima dos níveis de inflação, o que acaba levando a uma evasão dos menos abastados do sistema de transporte coletivo ou à necessidade de aplicação de subsídios por parte do governo.

Tendo em vista que a forma urbana é fator intrínseco à sustentabilidade/viabilidade financeira do sistema de transporte público, sendo profundamente afetada pela distribuição da população e de empregos na gleba urbana (característica definida pelo planejamento da cidade) e que a mesma pode ser avaliada a partir de parâmetros consagrados pela bibliografia especializada, surge o seguinte questionamento: com que intensidade uma distribuição espraiada do tecido urbano, com grandes vazios, impacta financeiramente a viabilidade da rede de transporte público de uma cidade média? Com base nesse questionamento, o presente trabalho se dedica a descrever as relações existentes entre os diferentes tipos de formas e estruturas urbanas e a eficiência operacional do sistema de transporte público urbano por ônibus. Para tanto, busca-se identificar, na bibliografia especializada, parâmetros que caracterizam cada uma das partes envolvidas nos vínculos supracitados e levantar estudos que observaram de que maneira o comportamento de uma variável afeta as outras, percorrendo a seguinte lógica: apresenta-se, entre as características da oferta de TP, os parâmetros que são influenciados pelo padrão de viagens em uma cidade; este, por sua vez, é determinado pela distribuição da população e das diferentes atividades no interior da urbe, cujas possíveis configurações resultam em formas urbanas distintas, as quais também podem ser medidas por indicadores consagrados na literatura técnica e científica. Os resultados da influência da forma urbana sobre a rede de TP e consequentemente sobre a viabilidade financeira desse serviço são posteriormente sintetizados em uma tabela que mostra como os parâmetros do sistema de transporte público se comportam mediante alterações nos índices de ocupação urbana e de que maneira a geração de receita e os custos operacionais do TP são afetados a partir dessas ações, o que encerra o objetivo principal deste trabalho.

2. A ESTRUTURA DE CUSTOS DO SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO

O Ministério dos Transportes (1996 *apud* Ribeiro e Ferreira, 2002) divide os custos operacionais do sistema de TP em duas modalidades: fixos e variáveis. De acordo com o referido órgão, os custos variáveis, expressos em \$/km, são aqueles relacionados diretamente com a quilometragem percorrida, ou seja, só incidem quando os veículos estão em movimento e correspondem à soma das despesas com o consumo de combustível, lubrificantes, rodagem, peças e acessórios. Os custos fixos, por sua vez, são aqueles que, por independermos da quantidade de quilômetros percorrida, continuam a gerar despesas no processo produtivo das viagens por TP. Tais custos, dados em \$/veículo/mês, são compostos por aqueles referentes à

mão de obra, encargos, custos administrativos e de capital. Os conceitos apresentados acima são utilizados na contabilização do custo do transporte de um passageiro, parâmetro utilizado no cálculo da tarifa do TP. A fórmula, desenvolvida pela extinta Empresa Brasileira de Transportes Urbanos (EBTU, 1988), está mostrada abaixo:

$$CTP = \frac{CF}{PMA} + \frac{CV}{IPK} \quad (1)$$

em que *CTP*: custo do transporte de um passageiro;
CF: custos fixos, função da frota, taxa de remuneração do capital, depreciação do veículo, despesas de administração;
PMA: percurso médio anual de um veículo da frota, função da efetiva utilização no comprimento das viagens;
CV: custos variáveis, função da quantidade de viagens, quilometragem percorrida, consumo de energia, desgaste dos pneus;
IPK: índice de passageiros por quilômetro, que representa o nível de utilização do transporte, função da demanda e das condições de oferta (número de viagens e extensão da linha).

A caracterização de um serviço de transporte público urbano por ônibus abarca a utilização de indicadores que permitem a avaliação do desempenho e eventual redimensionamento do sistema em busca de otimizar a relação custo-benefício tanto para o usuário quanto para o operador. Uma vez que tais parâmetros estão ligados ao comportamento da demanda e da oferta de TP, é possível relacioná-los, respectivamente, à geração de receita e ao custo operacional do sistema, fatores que constituem a base da avaliação da sustentabilidade financeira de qualquer serviço. Abaixo estão descritos alguns dos índices mais representativos da análise de fluxo de caixa da operação do transporte público urbano por ônibus e que por esse motivo foram escolhidos para compor a presente investigação.

2.1. Parâmetros relacionados ao custo operacional

Entre os fatores que afetam o custo operacional, é possível citar principalmente a extensão das linhas do transporte público já que este parâmetro possui relação direta com a quilometragem percorrida pelos veículos do TP, valor que por sua vez afeta a parcela variável do custo total de transporte. De fato, de acordo com a análise da eficiência do BRT realizada por Novaes (2001), na qual o autor avaliou a influência de seis variáveis sobre a geração de viagens pelo transporte público em vias segregadas, verificou-se que uma delas, a que possuía relação com a extensão da rede, produzia dois principais efeitos sobre a demanda de passageiros. Segundo Novaes, quando “a extensão da linha aumenta, a cobertura espacial do BRT também cresce, impactando positivamente a demanda. Porém, os segmentos com carregamento parcial (extremidades) também tendem a aumentar” de forma que, a partir de certo valor de extensão das linhas, a correspondente movimentação de passageiros por quilômetro já não mais cresce com a mesma proporção demonstrada para valores menores do comprimento de viagem, ou seja, o efeito do crescimento do número de usuários começa a ser diluído devido ao grande prolongamento da rota. Ademais, esse comportamento da demanda reflete em outros dois parâmetros que caracterizam o serviço de TP, o IPK e IR (Índice de Renovação), a serem discutidos no tópico seguinte.

2.2. Parâmetros relacionados à receita

Os indicadores referentes à geração de receita são aqueles que representam o comportamento da demanda do serviço de TP em consideração. Esses parâmetros, que avaliam a quantidade

de passageiros embarcados nas linhas de ônibus coletivo, estão melhor detalhados abaixo:

- Índice de Renovação (IR)

De acordo com a EBTU (1988), o IR é dado pela seguinte relação:

$$IR = \frac{PV}{OTc} \quad (2)$$

em que *PV*: total de passageiros transportados durante toda uma viagem;

OTc: ocupação do trecho crítico do trajeto, o de maior carregamento.

Tendo em vista que o volume na seção crítica nunca pode ser maior que o volume total transportado na viagem, o fator de renovação é sempre maior ou igual à unidade ($IR \geq 1$). A interpretação do significado do IR pode ser descrita da seguinte forma: valores muito próximos ou iguais à unidade representam situações em que a maioria dos passageiros transportados na viagem ou todos eles embarcaram e desembarcaram nos mesmos pontos, ou seja, todos os viajantes ficaram concentrados em um único trecho da viagem, o crítico. Esse caso indica a presença de apenas um polo significativo de atração de demanda ao longo da linha do TP. À medida que esse valor se distancia da unidade observa-se a ocorrência de uma melhor distribuição espacial de origens e destinos das viagens, o que acarreta uma maior rotatividade de passageiros no percurso da linha e sinaliza a existência de mais de um polo de atração importante na região de influência (Margon *et al.*, 2009).

- Índice de Passageiros por Quilômetro (IPK)

O IPK é um importante e amplamente conhecido fator do desempenho operacional de um sistema de TP, pois está profundamente atrelado à ideia de produtividade do serviço. A exemplo do IR, de acordo com a Associação Nacional de Transportes Urbanos (NTU, 2008), baixos valores do IPK representam também uma pequena taxa de renovação de passageiros na viagem, situação “típica dos movimentos pendulares em linhas de longo percurso, em que a maioria dos passageiros entra no ponto inicial e desce no ponto final, percorrendo grandes distâncias”.

O índice de passageiros por quilômetro pode ser expresso de duas maneiras diferentes, a saber: IPK total e IPK equivalente. O IPK total representa todos os usuários embarcados no veículo do transporte público; já o IPK equivalente, aquele utilizado no cálculo da tarifa de TP, leva em consideração apenas o número de passageiros pagantes, sendo que, para serem computados no levantamento desse parâmetro, a quantidade de estudantes, idosos e outros beneficiários, que são parcial ou totalmente isentos da taxa, é somada e transformada em passageiros pagantes equivalentes. Além disso, o IPK também é um parâmetro que interfere no custo operacional da rede de TP, não apenas por ser diretamente proporcional ao número de viagens, mas principalmente devido ao fato de ser inversamente proporcional à quilometragem percorrida pelos ônibus do transporte público. Dessa forma, em uma situação hipotética em que não há aumento no número de passageiros transportados, porém ocorre redução no comprimento das linhas do TP, o índice de passageiros por quilômetro sofre um acréscimo em seu valor.

3. A FORMA URBANA

Partindo do pressuposto de que a cidade é construída para receber e possibilitar todas as atividades humanas, a forma urbana “se refere à impressão espacial de um sistema de transporte bem como das infraestruturas físicas adjacentes, o que confere diferentes níveis de arranjos espaciais às cidades” (Rodrigue *et al.*, 2013).

A evidente ligação entre o desenvolvimento econômico de uma cidade, associado às

atividades que nela se estabelecem, e a forma resultante dessas interações exerce profunda influência sobre a mobilidade da população residente no espaço urbano, uma vez que a evolução da mancha urbana só é possível a partir da criação de eixos de transportes que permitam a livre movimentação de pessoas dentro do perímetro da cidade. A dinâmica econômica da urbe, dessa forma, está diretamente relacionada às condições de deslocamento e à configuração da gleba urbana quanto à disposição das diferentes atividades e à distribuição dos habitantes em seu interior, parâmetros que se constituem objeto de interesse do Plano Diretor de um município. Essa organização de atividades e população na urbe reflete em sua estrutura espacial que, segundo Rodrigue *et al.* (2013), é composto por dois elementos fundamentais: os links e os nós, sendo que os primeiros representam as infraestruturas que suportam os fluxos entre os nós e que determinam os elementos da estrutura urbana (os próprios links e nós); e os segundos refletem pontos que convergem “na centralidade de atividades urbanas, podendo ser relacionados à acumulação espacial de atividades econômicas – nós econômicos, ou à acessibilidade ao sistema de transporte – nós de acessibilidade”. Portanto, a forma urbana abrange três dimensões distintas, mas que se relacionam entre si, a saber: densidade, uso do solo e estrutura espacial. No intuito de investigar de que forma cada um dos parâmetros representativos de tais dimensões se relacionam com a geração de viagens por TP na cidade, a seguir tais fatores são melhor detalhados.

3.1. Parâmetros relacionados à densidade

- Densidade populacional – é definida pela divisão entre a população total e o total de áreas residenciais (Melo, 2004).
- Densidade de empregos – equivale à razão entre o número de empregos e a área total (Melo, 2004).
- Densidade residencial – número de residências por área residencial (Melo, 2004).
- Densidade residencial líquida – de acordo com Melo (2004), equivale ao número de residências por área residencial líquida (excluindo-se as vias, parques, etc.).
- Densidade residencial bruta – razão entre a área residencial construída e a área total (Melo, 2004).

A influência da densidade sobre a geração de viagens pelo transporte público tem sido questão amplamente discutida por estudiosos relacionados ao planejamento urbano e de transportes, tendo em vista que este parâmetro é de importância vital para o desempenho econômico e sustentável das cidades. Os parágrafos a seguir buscam expor descobertas que ressaltam tal influência.

De acordo com o *Transit Cooperative Research Program* (TCRP, 1996), o papel da densidade na redução dos custos operacionais do transporte público é evidente, uma vez que regiões compactas diminuem o comprimento e o tempo de viagem, permitindo ao operador a concessão de um serviço de boa quantidade e qualidade, mas com menos veículos e menores gastos com motoristas. O texto ainda reforça o poder explicativo das variáveis densidade residencial por acre e densidade de empregos por acre com relação à demanda de passageiros, citando levantamento realizado por Nelson e Nygaard (1995) em Portland, Oregon, no qual das 40 variáveis demográficas e de uso do solo estudadas, as duas supracitadas se mostraram determinantes na geração de viagens por TP.

O TCRP também verificou a forte influência que a densidade juntamente com a quantidade de empregos no centro de negócios da cidade (CBD, *central business district*) exerce sobre o número de embarques no veículo leve sobre trilhos, com destaque para a primeiro fator, sendo

que, em simulações realizadas pelo Programa, mostrou-se que acréscimos no número e densidade de empregos no CBD e na densidade residencial, para diferentes níveis de serviço, podem propiciar redução de até 14,7% nos custos totais anuais (operação e depreciação) de um sistema VLT. Em se tratando do transporte público por ônibus, Cubukcu (2008) também confirmou que o custo total do sistema decresce com o aumento da densidade populacional. Frank e Pivo (1994) ainda observaram uma positiva correlação entre a densidade de população, densidade de empregos, uso misto do solo e as viagens por transporte público e pelo modo a pé tanto para viagens à trabalho quanto para compras.

3.2. Parâmetros relacionados ao uso do solo

- Uso misto do solo

Indicador cujo objetivo é classificar o uso do solo nas unidades vizinhança como misto ou não baseado na presença ou ausência de usos não residenciais no interior da mesma. Segundo Melo (2004), o fator de uso misto do solo pode ser expresso pela porcentagem de residências dentro de uma distância de caminhada da área comercial.

- Índice de dissimilaridade

É obtido por meio da divisão da unidade analisada em células de área igual a 1 hectare e posterior comparação do uso do solo de uma célula com o das células adjacentes. Dessa forma, quanto maior o número de células adjacentes com uso do solo divergente do da célula estudada, maior é o índice de dissimilaridade resultante (Melo, 2004).

- Entropia

O índice de entropia baseia-se na porcentagem de terra ocupada pelas diferentes categorias de uso do solo (comércio, serviços, indústria, etc.) em determinada unidade de vizinhança. De acordo com Melo (2004), busca quantificar o quão bem uniformemente distribuído o uso do solo se encontra em uma dada área, sendo que uma vizinhança que contenha cada um dos diferentes usos do solo na mesma proporção obtém o valor de entropia máximo.

A exemplo da densidade, o fator de uso do solo também tem figurado constantemente nas pesquisas que buscam prover subsídios para o desenvolvimento urbano pautado na mobilidade sustentável. De acordo com o TCRP (1996), entre os benefícios estimulados por um uso misto do solo, pode-se citar principalmente a ocorrência de uma melhor distribuição das viagens ao longo do dia e da semana, ou seja, se há lojas de varejo e restaurantes nas vizinhanças de parques comerciais/de escritórios/de negócio, viagens a esses estabelecimentos aconteceriam geralmente durante períodos fora de pico, quando a capacidade viária é menos solicitada. A mistura de uso do solo associada a projetos de estacionamentos compartilhados, ainda segundo o Programa, poderia resultar em uma compacidade que permitiria colocar os destinos das viagens mais próximos da rede de transporte público. Além disso, a publicação também menciona que facilidades atrativas nas redondezas contribuem para a redução dos comprimentos de viagem e a utilização de modos não motorizados.

Frank *et al.* (2008) corroboram as conclusões obtidas pelo TCRP ao identificarem que um uso misto do solo juntamente com uma significativa conectividade viária e densidade de lojas de varejo está associado a crescentes níveis de viagens a pé, por bicicleta e pelo transporte público, mas ponderam que a adoção de políticas públicas que priorizam a ampliação da capacidade viária dificulta a promoção de um sistema de transporte público de qualidade. Também foi revelado que, na elaboração de modelos de embarque nas estações do *Chicago Transit Authority System*, aqueles que incluíram tanto medidas das densidades residencial e de empregos quanto do uso misto do solo foram mais satisfatórios do que os que não utilizaram

uma ou outra dessas variáveis. Outra pesquisa, realizada no metrô de Seoul, identificou que o efeito da densidade populacional, da proporção de áreas comerciais e do uso misto do solo sobre a demanda de passageiros se limitou a um raio de aproximadamente 600 m do corredor de transporte (Jun *et al.*, 2015). Tais verificações, mesmo que estejam limitadas ao universo de análise e/ou simplificações adotados em seus respectivos estudos, reiteram a fundamental relevância do binário densidade e uso do solo sobre a movimentação de passageiros no transporte público e conseqüentemente sobre a sustentabilidade financeira desse sistema.

3.3. Parâmetros relacionados à estrutura espacial

Partindo da definição de estrutura espacial urbana como sendo o esqueleto da cidade caracterizado por seus eixos viários e regiões de intensa ocupação residencial, comercial, industrial, institucional, etc. (centros e subcentros), que se interligam por meio desses corredores de transporte, é possível identificar diferentes formas do perímetro urbano, resultantes de distintas configurações entre os elementos supracitados. Em suma, esses perfis de cidades, associados ao padrão de viagens entre as diferentes regiões da urbe, definem a sua condição com relação à centralidade urbana e a outros parâmetros que caracterizam o desenho de uma cidade, conhecidos como métricas espaciais. Abaixo, descrevem-se alguns desses indicadores, os que melhor traduzem a configuração da estrutura espacial de uma cidade.

- Índice de Centralidade Urbana (*Urban Centrality Index*, UCI)

O objetivo do UCI é expressar o grau de monocentralidade ou policentralidade que uma estrutura urbana assume, sendo que valores altos do índice representam estruturas mais monocêntricas enquanto baixos valores, estruturas policêntricas (Pereira *et al.*, 2011).

- Índice de forma

Esse parâmetro busca avaliar a tendência que o perímetro urbano demonstra em ser mais circular ou mais alongado. Para um formato circular, seu valor é igual a 1, aumentando à medida em que a forma se torna mais alongada e não circular (Sanchez e Ferreira, 2008).

- Índice de compacidade (*Compactness Index*, CI)

De acordo com Li e Yeh (2004 *apud* Huang *et al.*, 2007), o CI mede não somente a forma das diferentes manchas urbanas existentes no perímetro de uma cidade, mas também a fragmentação da paisagem urbana em geral, sendo que quanto mais regular a forma e menor o número de manchas, maior é o valor do índice de compacidade. Ferraz e Torres (2004) afirmam que “nas cidades mais compactas as distâncias envolvidas nos deslocamentos são menores e, em consequência, é menor o custo do transporte, pois o número de veículos e a quilometragem percorrida são menores”. Segundo eles, “também são menores as distâncias percorridas nas cidades com formato circular, em relação às que apresentam forma alongada”.

Relacionar a condição de centralidade demonstrada por uma cidade à operação do transporte público é fundamental para esclarecer apontamentos sobre a impressão imediata que geralmente se tem de uma cidade com vários núcleos: a de que configurações policêntricas se comportam de maneira semelhante aos perfis espalhados. De fato, segundo Bertaud (2002), observações realizadas a partir do estudo de caso de várias metrópoles mundiais o levaram a concluir que cidades predominantemente monocêntricas e altamente adensadas são mais favoráveis ao TP do que as predominantemente policêntricas e de baixa densidade, ressaltando que, no segundo caso, uma mudança em direção a uma maior utilização do modo coletivo não se encontra entre as soluções mais executáveis. Porém, outros estudos realizados por Hooper *et al.* (1989 *apud* TCRP, 1996), trouxeram à tona modelos multicêntricos de sucesso, nos quais as estações do transporte público se localizavam justamente na vizinhança dos

subcentros. Ademais, simulações desenvolvidas por Peskin e Schofer (1977 *apud* Schneider, 1981) apoiaram a noção de que a cidade policêntrica requer bem menos viagens que os outros tipos de estruturas urbanas, embora o modelo de uso do solo aplicado posicionasse as residências próximas aos locais de trabalho, situação que não pode ser verdadeiramente verificada na maioria dos municípios brasileiros, indicando a necessidade de cautela na interpretação desses resultados.

Apesar disso, mostra-se que a configuração resultante da junção entre densidade e uso do solo (parâmetros da forma urbana), associada aos nós (centros e subcentros) e links (eixos viários) da estrutura urbana, refletem intensamente no comportamento dos indicadores relacionados à operação do transporte público comentados no tópico 2, já que afetam as características das viagens realizadas por esse modo. A empresa concessionária do serviço busca adequá-lo a esses padrões da melhor maneira possível no intuito de otimizar a eficiência econômica do sistema, o que pode levar a um nível de serviço insatisfatório para a população usuária do modo coletivo. A seguir, realiza-se uma explanação de como uma forma urbana com vazios, resultante de inconformidades no planejamento urbano, gera transtornos ao desenvolvimento sustentável de uma cidade, identificando também os parâmetros já utilizados na bibliografia especializada para medir o grau de espraiamento vivenciado por determinada urbe.

4. O ESPRAIAMENTO URBANO

O conceito do *Urban Sprawl*, traduzido para a língua portuguesa como espraiamento urbano, refere-se a ambientes construídos de baixas densidades, dispersos, dependentes do automóvel e a padrões de assentamento que consomem energia, solo e outros recursos além de segregar a população por raça, etnia e faixa de renda. Essa terminologia também está associada a um uso uniforme do solo, que afasta as residências dos locais de emprego, escolas, hospitais, atividades de varejo, etc., levando ao crescente prolongamento das viagens e a um maior consumo de recursos. Ainda, o espraiamento mostra-se como o resultado de padrões de crescimento urbano mal planejados, fragmentados e sem controle, estimulando a ocorrência de taxas gradativas de viagens realizadas pelo modo individual motorizado a distâncias cada vez maiores (Ewing, 1997; Burchell, 2005; Burchell e Mukherji, 2003 e Tsai, 2005 *apud* UN-Habitat, 2014). Dessa forma, esse modelo de urbanização reflete a forma urbana que tem se mostrado mais prejudicial ao desenvolvimento sustentável de uma cidade em seus variados aspectos.

Na tentativa de mensurar a intensidade do espraiamento experimentado por diferentes cidades, Galster *et al.* (2001) definiram oito diferentes dimensões do *urban sprawl*, cuja posterior combinação seria capaz de, então, caracterizar tal forma urbana. Tais indicadores, (densidade, continuidade, concentração, *clustering*, centralidade, nuclearidade, usos mistos e proximidade) cuja a obtenção de baixos valores em seu cálculo está relacionada a um vislumbre mais evidente do espraiamento urbano, foram sintetizados em um índice composto do espraiamento urbano. Na formulação dos autores, altos valores do índice proposto representariam formas urbanas menos propícias/tendenciosas ao *urban sprawl*, enquanto baixos valores apontariam para a ocorrência do espraiamento urbano. Resumindo a problemática discutida na Introdução deste trabalho, a decadência do sistema de transporte público em cidades espraiadas segue o ciclo encerrado na Figura 1, que mostra a forma como esse processo de expansão é constantemente alimentado pela manutenção/intensificação da especulação imobiliária sobre os vazios já existentes no perímetro urbano, se aproveitando da valorização do solo lindeiro à passagem da rede de TP.

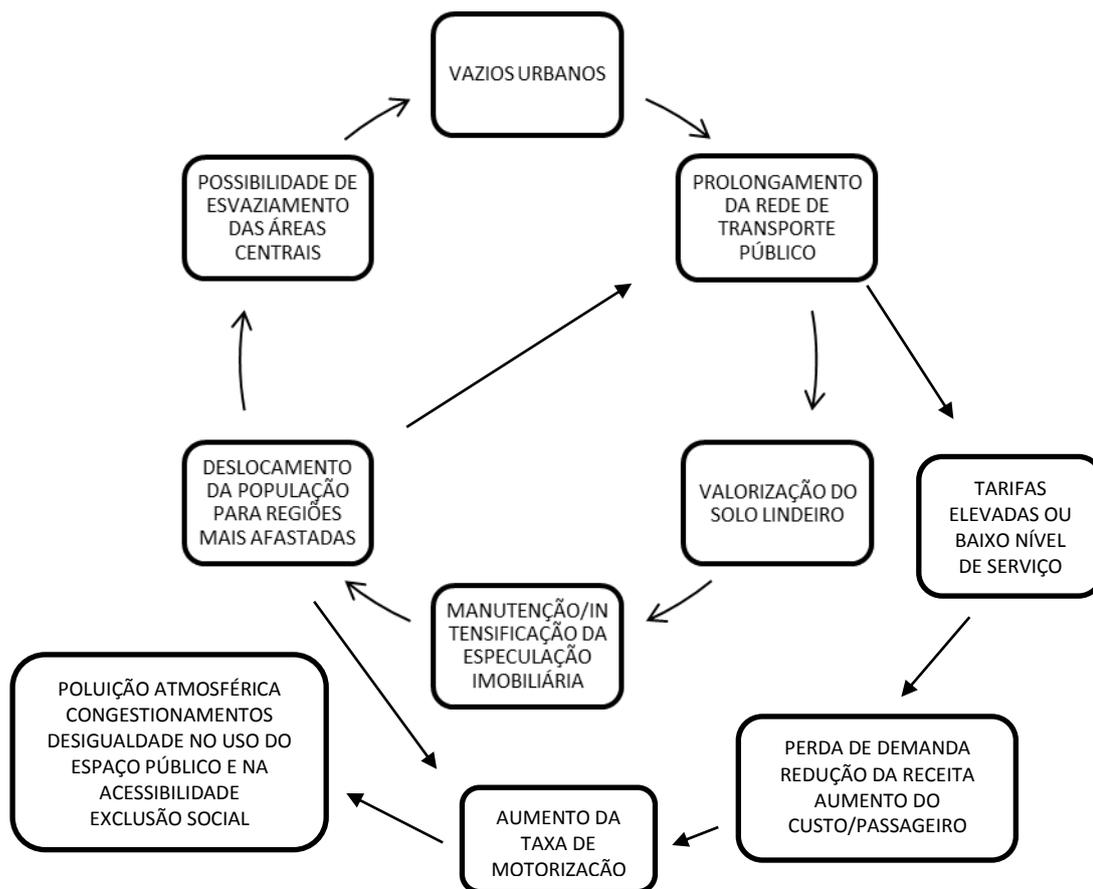


Figura 1: Processo motor do desequilíbrio econômico-financeiro do sistema de transporte público
 Fonte: Elaboração Própria

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do levantamento bibliográfico realizado foram resumidos e sintetizados na Tabela 1, na qual avalia-se o efeito que uma variação em todos os parâmetros que caracterizam a forma e a estrutura urbana detalhados anteriormente exerce sobre o comportamento dos indicadores de oferta do transporte público, sobre o custo do transporte de um passageiro e a receita gerada pelo sistema. A Tabela 1 foi elaborada mantendo-se constante o número de habitantes do município em estudo de forma a tornar possível a comparação entre diferentes cenários no contexto de uma mesma cidade. Logo, as ações às quais os parâmetros da forma e estrutura urbana são submetidos (aumentar e/ou diminuir) visam provocar alterações na distribuição da população e de empregos e no grau de diversidade de atividades no interior das unidades de vizinhança no intuito de reduzir ou aumentar os vazios existentes, não por meio de um aumento no número de habitantes, mas através de uma redução no perímetro do município que leva a uma diminuição imediata na extensão das linhas de ônibus. Porém, com exceção das variáveis relacionadas à extensão das linhas do TP, PMA e custos variáveis, as relações também são válidas para situações em que o adensamento é promovido pelo aumento no número de habitantes (nesse caso, o valor dos parâmetros citados sempre tenderá a aumentar). Além disso, também foram desconsideradas quaisquer alterações na capacidade instalada do sistema de TP (ou seja, mantem-se constante o número de veículos que compõem a frota), a fim de simplificar a análise proposta e avaliar somente o impacto isolado da forma urbana sobre a viabilidade financeira do transporte público.

Tabela 1: Relação entre a forma urbana e a viabilidade financeira do sistema de transporte público por ônibus

Indicador	Ação	Demanda	Custos Fixos (CF)	PMA	Custos Variáveis (CV)	Extensão total da linha	IPK	IR	Custo (CTP)	Receita
1. Indicadores de Densidade	Aumentar	Aumenta até a capacidade	Mantem-se	Diminui	Diminuem	Diminui	Aumenta		Diminui	Aumenta
		Aumenta acima da capacidade	Aumentam	Aumenta	Aumentam				Diminui/Aumenta	
2. Indicadores de Uso do Solo		Aumenta até a capacidade	Mantem-se	Mantem-se	Mantem-se	Mantem-se		Aumenta	Mantem-se	
		Aumenta acima da capacidade	Aumentam	Aumenta	Aumentam				Aumenta	
3. Índice de Centralidade Urbana	Aumentar (Estrutura Monocêntrica)							Diminui		Diminui
	Diminuir (Estrutura Policêntrica)							Aumenta		Aumenta
4. Índice de Forma	Aumentar (Forma Alongada)			Aumenta	Aumentam	Aumenta			Aumenta	
5. Índice de Compacidade	Aumentar (Forma Regular e Compacta)			Diminui	Diminuem	Diminui			Diminui	
6. Índice Composto do Espreadamento Urbano	Diminuir (Forma Espreada)			Aumenta	Aumentam	Aumenta			Aumenta	

Fonte: Elaboração Própria

Consideram-se economicamente favoráveis ao transporte público as formas e estruturas urbanas cuja influência sobre os parâmetros do serviço de TP propicia uma redução no custo por passageiro (CTP) e um aumento concomitante na receita ou pelo menos uma diminuição no CTP; e desfavoráveis aquelas que demonstram aumento no custo e redução da receita. Já as formas que levam a um acréscimo tanto no CTP quanto na receita podem ou não ser economicamente viáveis quanto à operação do transporte público, dependendo, portanto, da aplicação de um modelo de financiamento que o torne possível/sustentável.

Havendo um aumento no número de viagens acima da capacidade instalada, a ocorrência de um acréscimo no PMA poderia apontar para uma diminuição no valor do IPK. Porém, assume-se que o efeito da quilometragem anual percorrida sobre o IPK é menor que o impacto provocado pelo acréscimo no número de viagens geradas, o que acaba resultando em uma elevação no IPK. Essa hipótese é razoável haja vista que a densidade está crescendo não por um aumento na população, mas sim devido à redução do perímetro da cidade, com realocação dos moradores em direção às áreas de vazios urbanos. Portanto, a quilometragem percorrida aumenta sob influência da elevação no número de viagens e não por um acréscimo no comprimento das linhas, o que sem dúvida exerceria um impacto negativo no IPK (essa observação também é válida para o caso em que o adensamento é promovido por um aumento no número de habitantes). Além disso, sabendo que o custo do transporte de um passageiro (CTP) é diretamente proporcional ao consumo de combustível e inversamente proporcional ao Índice de Passageiros por Quilômetro, uma vez que o IPK cresce mais rapidamente que o consumo de combustível, há uma tendência de diminuição no valor do CTP.

Os custos fixos, por sua vez, sofrem uma elevação em seu valor a partir do momento em que o número de viagens demandadas pela população cresce acima da capacidade instalada. Isso ocorre devido à necessidade de aumentar o número de viagens ofertadas pelo operador, o que leva a um acréscimo nos gastos com pessoal. A empresa concessionária do serviço pode reagir a esse aumento na demanda mantendo o mesmo número de viagens ofertadas, porém tal decisão implicaria redução no nível de serviço. Logo, se há um adensamento que promove a elevação da demanda acima do que a capacidade instalada suporta, verifica-se a ocorrência de dois efeitos inversos sobre a viabilidade financeira do serviço, a saber: a receita é impactada positivamente tendo em vista o aumento no número de viagens demandadas, entretanto o custo pode ser afetado de forma negativa, ou seja, é possível que mesmo com o aumento do IPK o custo do transporte de um passageiro sofra um acréscimo em sua cotação, devido ao aumento da componente de custo variável. Nesse caso, para que haja um aumento de receita concomitante a uma redução no custo, é necessário que a diminuição na quilometragem percorrida da rede (e/ou elevação do número de embarques) seja maior que o aumento no percurso médio anual gerado pela maior quantidade de viagens ofertadas.

As células não preenchidas se referem a casos em que a bibliografia consultada não identifica a existência de relação entre os parâmetros envolvidos, quando não há consenso entre os autores que pesquisaram sobre o assunto ou quando os estudos realizados adotaram premissas que não podem ser generalizadas. Dessa forma, a geração de viagens por TP nas cidades monocêntricas, policêntricas, alongadas, compactas e espraiadas só pode ser avaliada a partir dos padrões de densidade e uso do solo demonstrados por tais formas urbanas. Logo, a cidade policêntrica altamente adensada, por exemplo, apresentaria fatores favoráveis tanto à redução do custo da rede quanto à geração de receita. Além disso, a partir da análise da viabilidade financeira do transporte público, na qual o adensamento urbano é dado pela ocupação dos

vazios existentes e redução do perímetro da cidade ou aumento no número de habitantes, é possível encontrar cenários em que, para uma mesma capacidade instalada da rede de TP, obtém-se a menor razão custo-benefício e melhor aproveitamento do sistema. Em trabalhos futuros, as relações descritas na Tabela 1, fundamentadas pela bibliografia internacional, serão testadas em cidades brasileiras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antunes, E. M. e F. A. Simões (2013) Engenharia Urbana Aplicada: um estudo sobre a qualidade do transporte público em cidades médias. *Urbe – Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 5, n. 2. p. 51-62.
- Araújo, M. R.; J. M. Oliveira; M. S. Jesus; N. R. Sá; P. A. Santos e T. Lima (2011) Transporte Público Coletivo: discutindo acessibilidade, mobilidade e qualidade de vida. *Psicologia e Sociedade*, v. 23, n. 3. p. 574-582.
- Bertaud, A. (2002) Note on Transportation and Urban Spatial Structure, *In: ABCDE Conference*, 2002.
- Carvalho, C. H. R. e R. H. M. Pereira (2009) Efeitos da Variação da Tarifa e Renda da População sobre a Demanda de Transporte Público Coletivo Urbano no Brasil. *Regional, Urbano e Ambiental*, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, n. 3. p. 85-92.
- Cubukcu, K. M. (2008) Examining the cost structure of urban bus transit industry: does urban geography help? *Journal of Transport Geography*, v. 16, p. 278–291.
- EBTU (1988) Avaliação da Programação. *In: Gerência do Sistema de Transporte Público de Passageiros – STPP: Módulos de Treinamento (Programação da Operação)*. Brasília: Núcleo dos Transportes, módulo 6, cap. 5. p. 55-59.
- Ferraz, A. C. P. e I. G. E. Torres (2004) Eficiência no Transporte Público Urbano. *In: Transporte Público Urbano*. 2. ed. São Carlos: Rima, 2004. cap. 6, p. 117-124.
- Frank, L. D. e G. Pivo (1994) Impacts of Mixed Use and Density on Utilization of Three Modes of Travel: Single-Occupant Vehicle, Transit and Walking. *Transportation Research Record*, n. 1466, p. 44–52.
- Frank, L.; M. Bradley; S. Kavage; J. Chapman e T. K. Lawton (2008) Urban form, travel time and costs relationships with tour complexity and mode choice. *Transportation*, n. 1, vol. 35. p. 37-54.
- Galster, G.; R. Hanson; M. R. Ratcliffe; H. Wolman; S. Coleman e J. Freihage (2001) Wrestling Sprawl to the Ground: Defining and Measuring an Elusive Concept. *Housing Policy Debate*, v. 12, n. 4, p. 681–717.
- Goulart, J. O.; E. T. Terci e E. V. Otero (2013) A Dinâmica Urbana de Cidades Médias do Interior Paulista sob o Estatuto das Cidades. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, v. 15, n. 1, p. 183–200.
- Huang, J.; X. X. Lu e J. M. Sellers (2007) A global comparative analysis of urban form: Applying spatial metrics and remote sensing. *Landscape and Urban Planning*, v. 82, p. 184–197.
- Jun, M-J; K. Choi; J-E Jeong; K-H Kwon e H-J Kim (2015) Land use characteristics of subway catchment areas and their influence on subway ridership in Seoul. *Journal of Transport Geography*, v. 48, p. 30–40.
- Margon, P. V.; D. A. Ribeiro; L. Loures; E. B. Silva e F. F. Fonsêca (2009) Quantificação da demanda e cálculo da taxa de renovação de passageiros da região metropolitana de transporte coletivo de Goiânia. *Anais do XVII Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito*, ANTP, Curitiba.
- Melo, B. P. (2004) *Indicadores da ocupação urbana sob o ponto de vista da infraestrutura viária*. 2004. 183 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.
- Novaes, A. G. (2001) Rapid-transit efficiency analysis with the assurance-region DEA method. *Pesquisa Operacional*, v. 21, n. 2. p. 179-197.
- NTU (2008) Desempenho e Qualidade nos Sistemas de Ônibus Urbanos. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos, 2008.
- Pereira, R. H. M.; V. Nadalin; L. Monasterio e P. H. M. Albuquerque (2011) *Quantificando a Centralidade Urbana: uma proposta de índice simples e comparação internacional*. Texto para Discussão 1675, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2011.
- Ribeiro, R. G. e E. A. Ferreira (2002) Metodologia para cálculo dos custos do transporte coletivo urbano de baixa capacidade operado por cooperativas. *Anais do XVI Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Natal.
- Rodrigue, J-P; C. Comtois e B. Slack (2013) Urban Transportation. *In: The Geography of Transport Systems*, Routledge, New York.
- Sanches, S. P. e M. A. G. Ferreira (2008) Análise Comparativa da Forma Urbana de Cidades Brasileiras de Porte Médio. *Pesquisa e Tecnologia Minerva*, v. 5, n. 2. p. 177-185.
- Schneider, J. B. (1981) *Transit and the Polycentric City*. U.S. Department of Transportation, 1981.
- TCRP (1996) *Transit and Urban Form*. Transportation Research Board, Report 16. National Academy Press: Washington, vol. 1, part A, 1996.
- UN-Habitat (2014) Mobility and Urban Form. *In: Aldous, A. et al. (eds.) Planning and Design for Sustainable Urban Mobility: global report on human settlements 2013*. Florence Production Ltd, Stoodleigh, UK.