

## UTILIZAÇÃO DE UM MODELO INTEGRADO DE TRANSPORTES E USO DO SOLO PARA PREVISÃO DE DEMANDA ASSOCIADA AO CRESCIMENTO DE BAIRRO DE BRASÍLIA

**Bruno Gonzalez Nóbrega**

**Aline Amaral Silva**

**Fabiana Serra de Arruda**

Universidade de Brasília

Departamento de Engenharia Civil

### RESUMO

Modelos são ferramentas frequentemente utilizadas no auxílio de planejamento urbano e de transportes. Entre os existentes, consideram-se relevantes os Modelos Integrados de Uso de Solo e Transporte, uma vez que levam em consideração tanto as características relevantes ao uso do solo (atividades desenvolvidas e mercado imobiliário) quanto ao sistema de transportes (origem/destino e rede viária). Utilizou-se o TRANUS, para simular a mobilidade urbana na região de expansão Sul/Sudeste do DF. A pesquisa mostrou que a expansão na região estudada reduziria a qualidade do sistema de transportes, aumentando custos e tempos de viagem. Assim, foram feitas propostas de melhora do sistema viário por meio da duplicação de vias e criação de novos empregos nessa região. Com essas propostas, há melhorias em tempos de viagem e nível de serviço das vias.

### 1. INTRODUÇÃO

A relação entre o uso do solo e o sistema de transportes é conhecida desde os primeiros trabalhos desenvolvidos na década de 60 por Lowry, 1964. A existência de atividades sociais provoca ao espaço urbano uma maior acessibilidade espacial, enquanto a implantação de infraestrutura para estas favorece a maior possibilidade do surgimento de interações sociais, o que torna a aumentar a necessidade de mobilidade (Arruda, 2005).

Para simular os efeitos dessa relação, são utilizados modelos integrados de uso do solo e transporte, os chamados LUTI (Land Use Transportation Integration). Esses modelos proporcionaram um avanço em relação aos tradicionais, pois em sua análise matemática leva em conta a dinâmica imobiliária da cidade. Assim, modelos LUTI utilizam não só dados de transportes, mas também de uso do solo para melhor compreender a situação atual, prever o desenrolar de situações futuras e auxiliar na tomada de decisões para a solução dos problemas existentes (WERNECK, 2015).

Uma das dificuldades encontradas na mobilidade urbana é a dispersão dos locais de habitação e a alta centralização de empregos, combinado ao desalinhamento entre planejamentos urbano e de transportes no Brasil (Moura, 2017). No âmbito do Distrito Federal, apesar de reconhecer a relação entre o sistema de transportes e o crescimento urbano, o Plano Diretor de Ordenamento Territorial (PDOT) (2012) não realizou simulações para analisar essa relação. Já o Plano Diretor de Transporte Urbano (PDTU) (2014), não chegou a considerar alterações no uso de solo como uma força motivadora de mudanças nas características das viagens.

Dentre as zonas, pode-se citar a área ao longo da DF-140. A região de expansão urbana, chamada de Região de Expansão Sul/Sudeste do Distrito Federal, apresenta um forte vetor de crescimento alinhado de uma média intensidade de ocupação urbana, com grande parte de seus lotes desocupados, tornando-se ideal para uma possível previsão de desenvolvimento e verificação de situações futuras tanto em uso de solo, quanto em transporte. Esse fator foi um dos principais motivos para a escolha da área de estudo, já que é uma região insaturada e com grande potencial de expansão.

Assim, os objetivos deste trabalho são analisar a relação entre transportes e uso do solo na região de expansão ao longo da DF-140, no Distrito Federal e identificar medidas para redução da necessidade de viagens da população residentes a partir da geração de cenários de uso do solo e de transportes utilizando o TRANUS.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

A maioria dos modelos integrados de uso de solo e transporte se utiliza de alguma previsão econômica regional, que prediz e atribui a localização do setor básico de emprego. Sendo assim, eles são dependentes da confiabilidade e acurácia de previsões macro e microeconômicas. É possível dividir a evolução de modelos integrados de uso de solo e transporte em três grupos distintos. O primeiro é composto por modelos de interação espacial e gravitacional, o segundo é composto por modelos econométricos e o terceiro é baseado na microssimulação (Iacono *et al.*, 2008).

Para o presente estudo, foi escolhido o modelo econométrico TRANUS. A escolha do modelo para a realização das simulações foi baseada em dois fatores principais. Primeiramente ele é um modelo gratuito, facilitando sua aquisição e uso. Além disso, o conhecimento sobre o modelo é amplamente difundido como mostram as pesquisas de Bandeira, 2009, Morton *et al.*, 2008, Pupier, 2013, Vanderlei, 2016, Sousa *et al.*, 2017, Werneck, 2015.

Econometria é um método estatístico de análise de dados com o intuito de compreender a relação entre variáveis econômicas. Modelos econométricos são modelos espaciais de input-output onde as atividades são setores determinados pelo usuário (Timmermans, 2003). Para prever tal situação, usam modelos baseados na teoria de utilidade aleatória, na qual quando alguém faz uma escolha discreta, como onde viver ou que modo de transporte usar, escolherão a opção que maximiza seu benefício (HENSHER *et al.*, 2008). Assim, a interação entre modelos econômicos regionais e modelos de mercado imobiliário formam o núcleo do sistema de simulação que inclui a predição do fluxo de transporte.

### 2.1 Modelo Matemático do TRANUS

Para atingir os objetivos propostos neste trabalho, foi utilizado o modelo integrado TRANUS, que como mencionado na seção anterior, é um modelo de simulação integral da localização de atividades, usos do solo e de transporte, desenvolvido por Tomás de la Barra. Com essas ferramentas, o programa se propõe a simular a atual situação da região e alterações no uso do solo e no sistema de transportes.

O modelo de localização de atividades do TRANUS se inicia com a estimativa do crescimento da produção exógena (produção gerada para suprir uma demanda externa) de cada zona. Em seguida, ele calcula a produção induzida (produção gerada para suprir a demanda interna). Posteriormente, são estimadas as necessidades de consumo das atividades internas de cada zona, ou seja, a demanda induzida. Com essas informações e os custos de produção, o programa escolhe o local da produção induzida em cada zona (de la Barra, 2014).

As interações entre as atividades criam uma necessidade de transporte, que representa a demanda do sistema. Dessa forma, o equilíbrio de mercado de transportes se dá por duas variáveis: preço e tempo. Da mesma maneira que o uso do solo, caso haja procura pelo sistema de transportes, aumenta-se o preço do serviço (de la Barra, 2014). Caso a demanda seja maior

que a capacidade viária ofertada, ocorre uma redução da velocidade de viagem como forma de alcançar o equilíbrio de mercado, é empregado o conceito de desutilidade de transporte que é a soma do custo monetário com o custo subjetivo das viagens, tal como o tempo de atraso (Werneck, 2015a).

Por fim, o TRANUS realiza a busca de passos, que considera os custos da desutilidade para escolher o modo de viagem e a rota que se percorre. Em redes muito densas, o programa limita a busca pelos passos que possuem menor desutilidade e que constitui uma opção realmente diferente e não uma pequena variação. Para a escolha dos passos o programa utiliza um cálculo de probabilidade que correlaciona o custo de todas as opções de viagem (de la Barra, 2014).

### **3. MÉTODO E MATERIAIS**

#### **3.1 Obtenção de dados**

##### *3.1.1 Características de operadores*

Em relação aos operadores, foi necessário determinar quais os meios de transporte atuantes, tanto no transporte público quanto no privado. Para o transporte público, definiu-se a capacidade total de passageiros, as rotas utilizadas, a frequência de circulação no período analisado e o custo de passagens. As rotas de ônibus da região, seus preços, Origem/Destino e frequência no período da manhã foram levantadas junto ao portal eletrônico do DFTRANS.

Para os veículos particulares determinou-se a ocupação média e seu custo de operação. Para isso, foi obtida a frota veicular do DF pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para o ano de 2015, dividiu-se esse valor pela população e multiplicou-se pela porcentagem da população que utiliza automóveis privados. Também foram determinados o consumo médio de combustível de veículos particulares e ônibus e o preço de combustível para o ano de 2015, por meio das médias de consumo em rodovias e em trechos urbanos publicados pela ANP.

##### *3.1.2 Dados socioeconômicos e uso do solo*

Para realizar simulações, o TRANUS necessita ser informado de dados socioeconômicos da população na área de estudo, tais como o número de habitantes por zona de tráfego, faixa de renda média na zona e o tipo de profissão dos habitantes. Além disso, foi necessário obter dados sobre o uso do solo, caracterizado pela quantidade de emprego por zona, bem como o consumo de solo por emprego e por classe econômica.

A quantidade de pessoas empregadas em cada Região Administrativa trabalhando dentro da área de estudo, e os dados relativos às quantidades de habitantes em cada faixa de renda foram obtidos nas pesquisas Pesquisa Distrital por Amostra a Domicílio (PDAD) de 2015 e Pesquisa Metropolitana por Amostra de Domicílios (PMAD) de 2013. Usou-se ainda as mesmas pesquisas para encontrar a quantidade de empregos por zona de tráfego. Como este trabalho estuda apenas um recorte do Distrito Federal, foram considerados os postos de trabalho tomados apenas por moradores da área de estudo.

Para aquisição de informações relativas ao crescimento populacional e de empregos utilizou-se dados fornecidos pelo IBGE, 2018 para o aumento populacional estimado para os próximos 10 anos, tendo como data de início 2015. Com estes dados, o modelo prevê mudanças na demanda do uso do solo e no sistema de transportes. Por fim, para determinar taxas de crescimento de empregos, foi considerado um cenário otimista no qual o DF apresentaria as mesmas taxas de

crescimento daquelas observadas no período de crescimento econômico compreendido entre 2001 e 2011 (IPEA, 2010).

### 3.2 Modelagem no TRANUS

#### 3.2.1 Desenho da rede e definição das zonas de tráfego

A rede do TRANUS possui dois elementos básicos, nós e arcos. Além disso, os nós são caracterizados por coordenadas UTM de suas localizações no mundo real. Os arcos, em geral, representam as vias em que os veículos podem trafegar e são definidos pelos nós de origem e destino. Existem também nós especiais, chamados de centroides de zonas. Esses nós serão utilizados pelo programa como pontos de origem ou de destino das viagens.

Nesse estudo foram definidas 14 zonas de tráfego, distribuídas de acordo com os aglomerados de centros urbanos. Na região a ser simulada a expansão, as zonas foram divididas de acordo com as possibilidades de centroides. Algumas Regiões Administrativas foram subdivididas para distribuir melhor as viagens no modelo TRANUS.

#### 3.2.2 Calibração do Cenário base

A calibração do cenário base deve ser realizada com o intuito de dar confiabilidade à simulação. Nessa etapa foi utilizada uma rotina de calibração semelhante à descrita por Werneck, 2015. Vale ressaltar que mesmo utilizando uma rotina clara a calibração do cenário base se mostrou uma atividade complexa, consumindo a maior parte do tempo da pesquisa.

Dentre os dados comparados nessa atividade, pode-se citar a análise dos dados de carregamento viário de veículos de passeio gerados pelo modelo em fase dos dados obtidos pelo DER. Também foram comparados os tempos médios de viagem de cada zona do TRANUS com dados de tempo de viagem obtidos na ferramenta Google Maps, utilizados apenas como um parâmetro geral de percurso.

O Cenário Base foi considerado calibrado tendo em vista que os valores de  $R^2$ , o coeficiente de determinação, para os tempos de viagens entre as zonas e para as quantidades de veículos nas vias obtiveram os valores de 87,45% e 99%, respectivamente como mostram os gráficos abaixo.

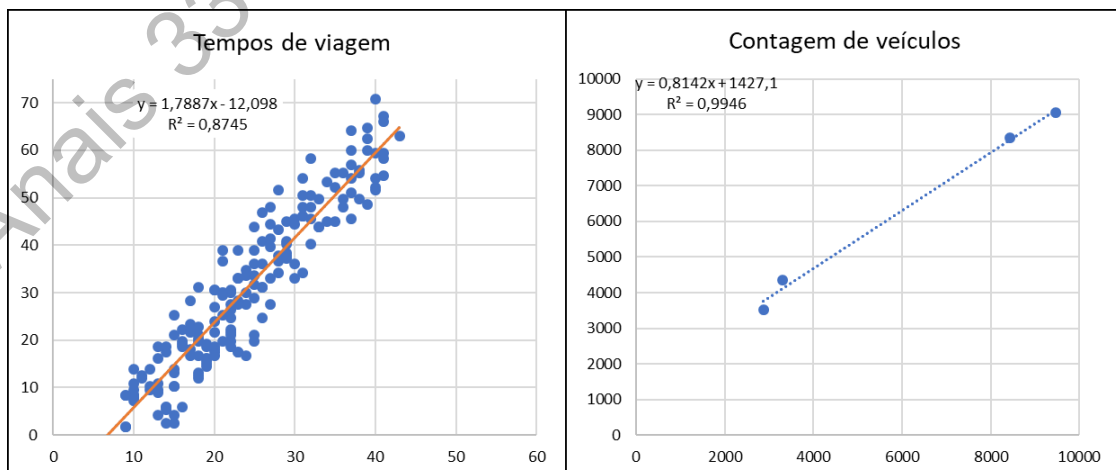


Figura 1: Calibração do modelo pelos tempos de viagem e pela contagem de veículos

### 3.2.3 Simulações

Na etapa de simulações, os dados são processados, gerando resultados a respeito do uso de solo e transporte da área estudada para os anos de 2015 (ano base), 2020 e 2025. Planeja-se realizar três cenários: o cenário “Tendência” (cenários 15A, 20A e 25A), o cenário “Melhorias no Transporte” (25B) e o cenário “LUTI” (25C).

O primeiro cenário analisará o comportamento urbano se nada for feito enquanto a população da região cresce. O segundo cenário mostrará a resposta da região com melhorias no setor de transportes com a duplicação da DF-140, aumento da frequência de ônibus e criação uma nova linha representando as linhas circulares do DIUR.

Já o cenário “LUTI” utilizará mudanças no uso do solo, além as mesmas melhorias do cenário anterior. Será considerado um aumento pontual de empregos, tanto de serviço público quanto privado, e, então, analisado a resposta do sistema de transporte e do preço do solo. Também será adicionado um aumento da população da região, levando em conta o valor estimado para a lotação máxima dos condomínios localizados na região do Tororó (SEDHAB, 2010).

## 4. RESULTADOS E ANÁLISES

Obteve-se diversos indicadores do sistema de transportes, a exemplo de média de tempo de viagem; custo e distância de viagem, como mostram a Figura 2 e a Figura 3. Vale a pena observar que na simulação, com o passar dos anos, as pessoas passam a morar cada vez mais distantes de seus postos de trabalho, devido a aumento do custo do solo e saturação da área. Observa-se que em geral houve aumento dos valores na maioria dos indicadores, refletindo o deslocamento de pessoas das zonas urbanas mais distantes para o Plano Piloto.

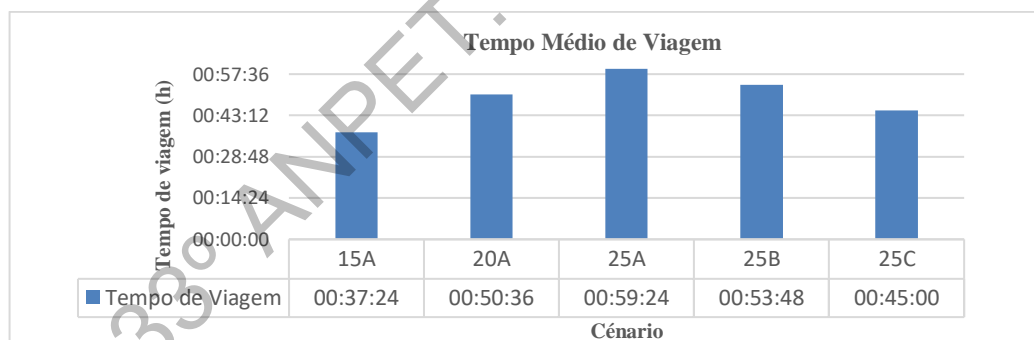


Figura 2: Tempo médio de viagem por cenário.

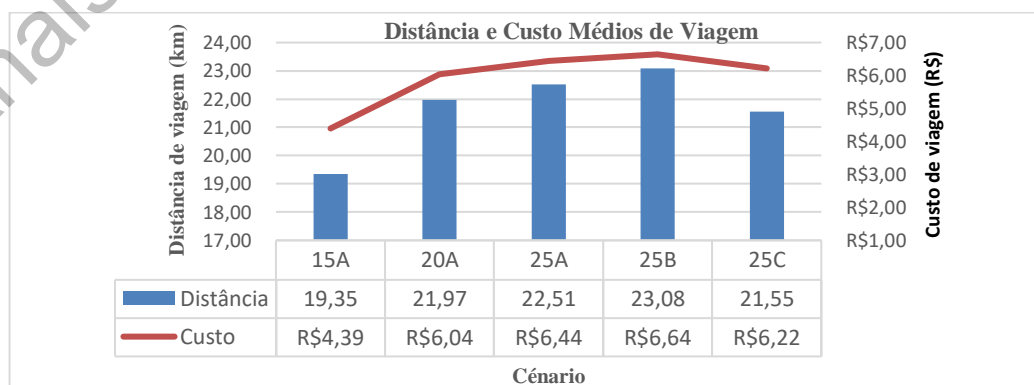
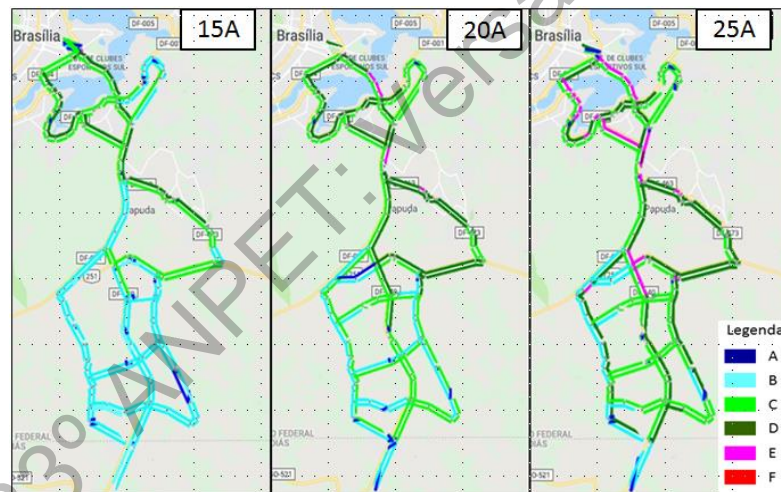


Figura 3: Distância e custos médios de viagem por cenário.

Além disso, os custos de viagens cresceram significativamente, graças a aumentos do custo nas passagens de ônibus e nos combustíveis do Cenário Base para os demais cenários. Ressalta-se também que, apesar de melhorias no transporte (Cenário 25B) diminuir o tempo de viagem, não provocaram alterações positivas na distância e custo médio de viagem, que cresceram neste cenário. Tem-se como exceção o Cenário 2025C, em que as reduções em todos os parâmetros são causadas pelo aumento da oferta de empregos ao longo da DF-140.

Em relação com o cenário tendencial, o cenário “LUTI” apresentou uma redução dos tempos médios de viagem de 24% e de 16% em relação ao cenário “Melhorias no Transporte”. Além disso, percebe-se que o aumento de empregos aumentou o número de viagens de menor distância e melhor distribuindo a demanda da rede de transportes.

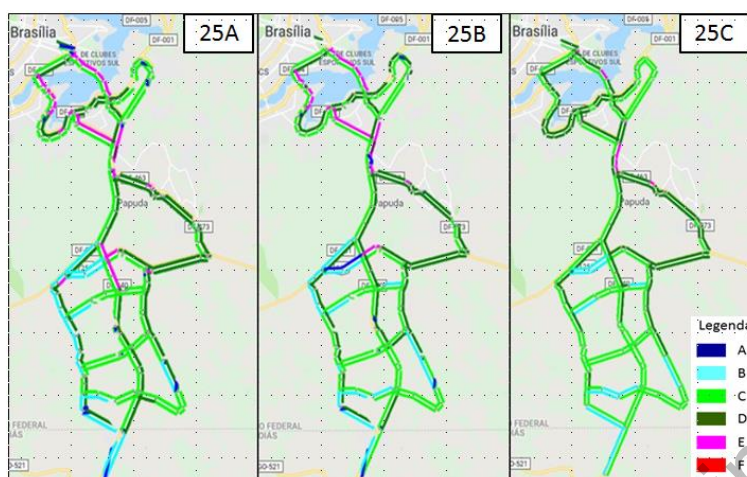
A Figura 4 compara a evolução do nível de serviço, de acordo com o *Highway Capacity Manual* (HCM), 2010, em cenários sem alterações na rede de transporte ou no uso de solo, ou seja, caso a região cresça livremente de acordo com o previsto neste trabalho. Como é possível observar pela imagem, ocorre uma deterioração gradual no nível de serviço, em especial das vias expressas que levam ao Plano Piloto, como a EPJK, EPVA e EPDB. Também se pode perceber que na área de estudo, ao longo da DF-140, ocorreu um agravamento no nível de serviço, sendo, em alguns trechos, até o nível E (rosa).



**Figura 4:** Comparação entre níveis de serviço - Cenários 15A, 20A e 25A.

A Figura 5 compara o nível de serviço do Cenário 25A, sem mudanças, com o nível de serviço dos Cenários 25B e 25C, com alterações realizadas. Do Cenário 25A para o 25B é possível notar uma leve melhora nos níveis de serviço em alguns trechos, principalmente nas vias perpendiculares e paralelas à DF-140. Isso se deve à pavimentação de algumas destas vias, aumentando assim a capacidade delas.

Do Cenário 25B para o 25C são realizadas mudanças no uso de solo, com o intuito de descentralizar os empregos no Plano Piloto. Como é possível observar, houve um leve agravamento nos níveis de serviço nas vias contra o fluxo, de maneira a aumentar os deslocamentos nesse sentido no horário de pico. Também ocorreu uma piora no início da DF-463, que liga São Sebastião à DF-001. Entretanto, houve melhorias nas vias internas à região da expansão abordada neste trabalho. Também se observou melhora em uma pequena região do Lago Sul.



**Figura 5:** Comparação entre níveis de serviço - Cenários 25A, 25B e 25C.

## 5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi utilizado um modelo integrado de transportes e uso do solo para a realização de análises entre transportes e uso do solo. Foi identificada uma área de estudo no Distrito Federal, que conta com diretrizes urbanísticas definidas e é uma área prevista para grande ocupação populacional.

A região simulada foi a área de estudo do DIUR (Sul/Sudeste) e regiões limítrofes. Apesar do foco maior dado aos locais próximos à DF-140 (Tororó), foi possível constatar efeitos nas áreas adjacentes, como do Jardim Botânico, Jardim ABC, Lago Sul, Plano Piloto e São Sebastião.

No que diz respeito ao estudo da área em si, foi possível realizar uma pesquisa abrangente e esclarecedora dos principais fatores que afetam o desenvolvimento urbano de uma região. A primeira constatação relevante é que o crescimento urbano quando desalinhado de medidas de planejamento de transporte e de uso de solo prévios irá sobrecarregar o sistema viário, agravando a situação já existente e elevando ainda mais os tempos de transporte e de espera e, conseqüentemente, uma piora da qualidade de vida das pessoas que vivem naquelas regiões.

Observou-se também que somente medidas de melhorias no sistema de transporte foram insuficientes para provocar uma mudança significativa nos parâmetros utilizados na verificação da rede viária, apesar destas medidas terem diminuído ligeiramente os valores de tempo e custo de viagem. Entretanto, as alterações no uso de solo geraram uma mudança significativa no modelo, de maneira que a descentralização de empregos melhorou significativamente os parâmetros do transporte. O nível de serviços da maior parte dos entroncamentos críticos subiu uma posição em relação aos outros cenários. Além disso, houve uma redução de quase um quarto nos tempos médios de viagem.

Por optar-se por uma maior simplificação do sistema viário e das características do uso do solo, o Cenário Base pôde ser calibrado a níveis aceitáveis com certa agilidade. Essa redução, entretanto, gerou alguns empecilhos à pesquisa. A simplificação em poucos setores econômicos, por exemplo, impediu uma avaliação precisa dos tipos de emprego e sua localização.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANP; IBAMA; INMETRO; PETROBRAS; COPET (2017). *Programa Brasileiro de Etiquetagem*. Disponível em: <<http://pbeveicular.petrobras.com.br/TabelaConsumo.aspx>>.
- Arruda, F. S. (2005) *Aplicação de um modelo baseado em atividades para análise da relação uso do uso e transportes no contexto brasileiro*. São Carlos. 199 f. Tese (Doutorado em Transportes). Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- Bandeira, J. F. M. (2009) *Modelo de uso do solo de Aveiro: impacto na mobilidade e qualidade do ar*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Ambiente e Ordenamento. Universidade de Aveiro.
- CODEPLAN (2013). *Pesquisa metropolitana por amostra de domicílios - PMAD - 2013 Cidade Ocidental*. Brasília.
- CODEPLAN (2016). *Pesquisa distrital por amostra de domicílios - Distrito Federal - PDAD/DF 2015*. Brasília.
- DFTRANS (2018). *DFnoPonto*. Disponível em: <<https://www.sistemas.dftrans.df.gov.br/horarios/>>. Acesso em: 23 abr. 2018.
- De La Barra, T. (2014) *Modelación integrada de usos del suelo y transporte. Cadenas de decisión y jerarquías*. Oxford: Cambridge University Press. 1–201.
- GDF (2009). *Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal: documento técnico* Brasília. Diário Oficial do Distrito Federal, 2009. Disponível em: <http://www.segeth.df.gov.br/plano-diretor-de-ordenamento-territorial/>
- GDF (2014). *Plano Diretor De Transporte Urbano E Mobilidade Do Distrito Federal – PDTU / DF Relatório Do Comitê De Revisão*. Brasil, 2014. Disponível em: <<http://www.segeth.df.gov.br/plano-diretor-de-ordenamento-territorial/>>
- HCM (2010): *Highway Capacity Manual*. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2010.
- Hensher, D. A.; Button, K. J.; Haynes, K. E. (2008) *Handbook of Transport Geography*. 3 ed. Bingley: Emerald Group.
- Iacono, M.; Levinson, D.; El-Geneidy, A. (2008) *Models of Transportation and Land Use Change: A Guide to the Territory*. *Journal of Planning Literature*, v. 22, n. 4, p. 323–340.
- IBGE (2017). *Estimativas da população residente com data de referência 1º de julho de 2017*. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=530010>>. Acesso em: 10 jul. 2017.
- IBGE (2018). *Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação*. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>>. Acesso em: 12 abr. 2018.
- IPEA. (2010) *O Brasil em 4 décadas*. Texto para Discussão IPEA, 104.
- Lowry, I. S (1964). *A model of metropolis*. Washington, Rand Corporation.
- Morton, B. J., Rodríguez, D. A., Song, Y., E Cho, E. J. (2008) *Using TRANUS to Construct a Land Use-Transportation-Emissions Model of Charlotte, North Carolina*. *Transportation Land Use, Planning, and Air Quality*, 320, 206–218. doi:10.1061/40960(320)20
- Moura, A. M. De (2017). *Planejamento Urbano & Planejamento de Transporte: uma relação desconexa?* Tese de Doutorado em Transportes. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília.
- Pupier, N. (2013) *Construction and Calibration of a Land-Use and Transport Interaction Model of a Brazilian City*. KUNGLIGA TEKNISKA HÖGSKOLAN.
- QUANTUM GIS, (2018): Las Palmas. Version 2.18.14. [S.l.]: Open Source Geospatial Foundation. Disponível em: Acesso em: 08/01/2018
- Rodrigue, J.-P.; Comtois, C.; Slack, B. (2017) *The Geography of Transport Systems*. New York, Routledge.
- SEDHAB. (2010) *Quadro de Detalhamento da Situação Fundiária, Urbanística e Ambiental dos Parcelamentos*, 3–6.
- Segeth (2013). *Diretrizes Urbanísticas: Região Sul/Sudeste*. Brasília.
- Sousa, F. F. L. De M. E Cunto, F. J. C. (2017). *Desempenho da segurança viária na modelagem integrada do uso do solo e transportes - estudo de caso: projeto fortaleza 2040*. XXXI ANPET. CPAPER, Recife, p. 2830-2841.
- Timmermans, H. *The saga of integrated land use-transport modeling: how many more dreams before we wake up?* 10th International Conference on Travel Behaviour Research Lucerne, 10-15. August 2003
- Vanderlei, R. G. (2016) *Modelo Integrado e Uso do Solo e Transporte para o Aprimoramento das Previsões de Demanda: uma Aplicação do TRANUS em Brasília - DF*. UnB, Brasília.
- Werneck, L. F (2015). *Contribuição de um Modelo Luti para o Planejamento Integrado em Transportes e Uso do Solo na Região Metropolitana de Belo Horizonte*. Mestrado, UFMG, Belo Horizonte.
- 
- Bruno Gonzalez Nóbrega (bgonzaleznobrega@gmail.com.br)  
Fabiana Serra de Arruda (arruda.fabiana@gmail.com)  
Aline Amaral Silva (aline0369@gmail.com)