

MODELAGEM LUTI DAS DETERMINANTES E INTER-RELAÇÕES DAS DECISÕES LOCACIONAIS DE DIFERENTES GRUPOS SOCIOECONÔMICOS

Rebeca Froés de Assis

Carlos Felipe Grangeiro Loureiro

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes
Universidade Federal do Ceará

Francelino Franco Leite de Matos Sousa

Centro Universitário Christus

RESUMO

Em comparação à modelagem tradicional de transportes, os modelos operacionais LUTI exploram as dinâmicas inerentes ao uso do solo, buscando simular decisões locacionais a partir de mudanças nos níveis de acessibilidade. A lógica por trás dessa associação é que lugares com maior acessibilidade se tornam mais atrativos e, por isso, possuem mais chances de se desenvolverem em termos de ocupação territorial. Na prática, esse tipo de dinâmica pode envolver diversos processos socioespaciais, tais como segregação e fragmentação, devido às oscilações no valor do solo decorrentes de intervenções em transportes. Nessa perspectiva, entende-se que a adoção dos modelos LUTI em avaliações *ex-ante* deve revelar as possíveis externalidades das intervenções, sobretudo do ponto de vista social. Por essa razão, eles devem reconhecer tanto as interações entre os subsistemas, como os processos inerentes a cada um. Diante disso, este artigo se propõe a discutir sobre as determinantes e as inter-relações das escolhas de grupos sociais distintos, considerando o uso de modelos integrados. Para tanto, buscou-se representar conceitualmente as decisões e as inter-relações mencionadas. Com base no modelo conceitual proposto, analisou-se o modelo LUTI TRANUS, concluindo que algumas externalidades não conseguem ser previstas por meio desse tipo de ferramenta analítica.

ABSTRACT

In contrast to traditional transport modeling, LUTI operational models explore land use dynamics, in order to simulate locational decisions based on changes in accessibility levels. The logic behind this association is that places with better accessibility become more attractive and, therefore, are more likely to development in terms of territorial occupation. In practice, this type of dynamic can involve several socio-spatial processes, such as segregation and fragmentation, due to land value variations which results from transport interventions. From this perspective, it is understood that the adoption of such models in *ex-ante* evaluations should reveal the possible externalities of interventions, especially from a social point of view. Thus, they must recognize not only interactions between subsystems, but also the processes inherent to each one. Therefore, the purpose of this article is to discuss the determinants and interrelationships between locational choices of different social groups, considering the use of integrated models. For that, it was developed conceptual representations about the mentioned decisions and interrelationships. Based on the proposed conceptual models, the TRANUS LUTI model was analyzed, concluding that some externalities cannot be predict by this type of analytical tool.

1. INTRODUÇÃO

No âmbito do planejamento urbano, as cidades são comumente retratadas como sistemas, formados por elementos de ordem inferior que apresentam melhores resultados quando estabelecem relações entre si (Sokolowski e Banks, 2009). Nesses termos, a cidade é interpretada como um sistema complexo formado por elementos secundários, como os transportes. Essa compreensão vem sendo consolidada desde os anos 1950, quando a Teoria Geral dos Sistemas passou a ser aplicada pelas ciências sociais (Batty, 2008). Nesse período, o proeminente campo do planejamento de transportes assumiu as interações com o sistema de atividades de forma bastante superficial, ao adotar analogias físicas na modelagem de transportes, com a apropriação das fórmulas inerentes à atração gravitacional para justificar as interações espaciais entre zonas (Lowry, 1964).

De todo modo, é possível dizer que essa foi a base para o desenvolvimento de modelos integrados de transportes e uso do solo (do inglês, *Land Use and Transport Interaction* - LUTI). Em comparação à modelagem tradicional, esses novos esforços incluem a simulação das

decisões locacionais, que apresentam relações mútuas com as decisões de viagens (Brömmelstroet et al., 2013). Parte-se do entendimento que intervenções nos transportes impactam os padrões de desenvolvimento espacial urbano, do mesmo modo que a localização das atividades interfere nos padrões de deslocamento (Waddell, 2011). Por essa razão, tais ferramentas analíticas se tornaram importantes para subsidiar as avaliações *ex-ante* de alternativas de soluções em ambos os subsistemas. Em geral, a etapa de avaliação deve ser capaz de alertar os diferentes atores sobre os impactos acarretados pelas propostas de intervenções em transportes, bem como pelas políticas públicas de uso do solo.

Diante disso, ressalta-se que as questões sociais têm ganhado destaque nas políticas de transportes e mobilidade urbana, de forma que se propõe que os próprios métodos de avaliação viabilizem discussões sobre equidade e exclusão social (Lucas, 2012; van Wee; Geurs, 2011). Isso se torna relevante, principalmente, em contextos de acirrada desigualdade social, nos quais é possível que o aumento dos níveis de acessibilidade reforce fenômenos como o da segregação socioespacial. Esse tipo de situação pode ocorrer porque os benefícios da acessibilidade podem ser capitalizados no valor dos imóveis (Harvey, 2013), atraindo para as regiões favorecidas as camadas populacionais e as atividades econômicas menos sensíveis às variações de preços (Barra, 1989). Além disso, é possível que se observe a migração de grupos locais para outras regiões da cidade, em virtude da incapacidade de conviver com o aumento dos custos financeiros (Smolka, 1979).

Em paralelo, tem-se a consolidação de regiões menos valorizadas, normalmente destinadas às camadas com rendimentos inferiores (Alves, 2010). Em grandes cidades como as brasileiras, esses grupos são realocados indiretamente para as regiões periféricas, que se diferenciam das centralidades urbanas, não só em termos geográficos, mas principalmente no que tange à concentração de atividades (Maricato, 2001). Logo, as escolhas locacionais se tornam decisões reprimidas e dependentes da localização da população de alta renda (Smolka, 1979). Como consequência, podem surgir diversas implicações socioeconômicas que resultam dessa configuração espacial, tais como altas taxas de desemprego, deslocamentos extremamente onerosos e baixa escolaridade (Kain, 1968; Ihlanfeldt, Sjoquist, 1998).

Cabe destacar que a compreensão e o planejamento de sistemas complexos, tais como as cidades, são esforços que costumam apresentar diversos desafios, em especial quando se observa certo nível de interdependência entre as partes integrantes (Morin, 2015). Nesse sentido, tratando-se do fenômeno urbano, o uso de bons modelos operacionais LUTI torna-se fundamental (Southworth, 1995). Para cumprir esse papel, entende-se que esses modelos devem ser capazes de simular não só as relações entre os sistemas, como também os processos e fenômenos inerentes a cada um deles, reconhecendo as inter-relações entre as decisões locacionais de diferentes grupos socioeconômicos.

Assim, o presente artigo se propõe a investigar em que medida os modelos LUTI representam e simulam as determinantes e inter-relações das decisões locacionais de diferentes grupos socioeconômicos, de modo a permitir que as avaliações *ex-ante* de intervenções em transportes revelem processos socioespaciais. Para alcançar esse objetivo, busca-se inicialmente consolidar uma representação conceitual das determinantes de tal processo decisório (Seção 2). Em seguida, discute-se sobre as inter-relações existentes entre as escolhas tomadas por segmentos sociais distintos (Seção 3). Essas discussões irão fundamentar a crítica a um modelo operacional LUTI quanto à sua capacidade de simular o desenvolvimento de processos socioespaciais

decorrentes de intervenções em transportes (Seção 4). Por fim, na Seção 5, conclui-se o trabalho destacando suas principais contribuições fenomenológicas conceituais e metodológicas, com recomendações de estudos futuros nessa linha de pesquisa.

2. DETERMINANTES DAS DECISÕES LOCACIONAIS

O conjunto das decisões locacionais de famílias e firmas contribui para a consolidação do padrão de uso do solo, compreendido como a distribuição espacial dos usos de uma cidade - como residencial, industrial ou comercial (Wegener e Fürst, 1999). De forma geral, os modelos conceituais LUTI costumam vincular essas decisões a dois fatores: à disponibilidade de espaço e à acessibilidade (Cascetta, 2009), enquanto facilidade de acesso a atividades e serviços (Hansen, 1959). Entretanto, sabe-se que o valor do solo desempenha um papel fundamental nesse processo, principalmente em contextos de notória desigualdade social, em que existem diferenças consideráveis no poder de aquisição das diferentes camadas socioeconômicas (Singer, 1982). Também é importante destacar a relação intrínseca entre valor do solo e acessibilidade, reconhecendo que o nível de acesso às atividades urbanas tende a gerar *vantagens locacionais* que são capitalizadas nos preços das propriedades, bem como nos valores dos aluguéis (Harvey, 2013; Smolka, 1979). Além disso, deve-se considerar a participação de outros fatores, os quais possam influenciar tanto a lógica de formação dos preços, como o processo decisório em si. Isto posto, as subseções a seguir discutem os papéis da acessibilidade e do valor do solo como determinantes do processo de decisão locacional.

2.1 Acessibilidade urbana: papel na decisão locacional

A acessibilidade é uma medida que expressa o desempenho dos subsistemas de transportes e uso do solo em conferir oportunidades de engajamento em atividades, bem como por permitir que as atividades recebam pessoas, mercadorias e informações (Geurs e van Wee, 2013). Para representá-la, deve-se considerar seus quatro componentes (Geurs e van Wee, 2004): (i) uso do solo, que reflete a distribuição da oferta e da demanda de atividades no território; (ii) infraestrutural, que descreve o custo de se alcançar um destino por meio de um modo específico de transporte; (iii) temporal, que considera a oferta de oportunidades em diferentes horários do dia, bem como o tempo disponível para os indivíduos participarem de atividades; e (iv) individual, que retrata as necessidades, as condições e as oportunidades dos indivíduos.

Wegener e Fürst (1999) sugerem que a distribuição espacial da acessibilidade influencia as decisões locacionais dos usuários e dos produtores do espaço pela atratividade, conceito que se assemelha ao de vantagens locacionais. Como, tradicionalmente, as atividades são realizadas em pontos distintos do território, a acessibilidade se apresenta como um fator relevante na escolha de localização, pois grupos de indivíduos tendem a considerar as vantagens locacionais de cada região (Smolka, 1979, Harvey, 2013). Essa visão apresenta a acessibilidade como um atrativo. Contudo, essa mesma condição de atratividade é explorada pelo mercado imobiliário, sendo incorporada na formação dos preços dos terrenos e imóveis. Assim, a acessibilidade concomitantemente é um atrativo e um empecilho nas escolhas de localização (Barra, 1989).

2.2 Preços imobiliários: processo de formação e papel na decisão locacional

O debate em torno da valorização do solo urbano tem suas raízes na teoria da Renda Fundiária (Marx, 1894 *apud* MEDEIROS, 2018), a qual pode ser entendida pela quantia recebida, ou que poderia ser recebida, por um proprietário fundiário em virtude do usufruto de seu terreno por um terceiro (Gonzales, 2016). No ambiente urbano, não são as condições de fertilidade agrícola que determinam a renda da terra e sim as benfeitorias e modificações no ambiente construído

(Harvey, 2013). São essas modificações que condicionam os diferentes tipos de renda fundiária, a saber (Lojikine, 1979): (i) absoluta, que advém do direito de propriedade e tem seu valor definido em função da confrontação entre oferta e demanda; (ii) diferencial, que decorre da captação de parte da mais-valia, considerando a capacidade construtiva e a localização do solo, assim como a quantidade de capital empregado sobre uma terra já utilizada; e (iii) monopólio, que provém das condições de demanda, como a escassez de certos produtos e o poder de compra dos consumidores.

No contexto urbano, a renda diferencial pode ser exemplificada pelas condições morfológicas e pelas normas urbanísticas (capacidade construtiva), bem como pela noção de acessibilidade. No que tange à renda de monopólio, tem-se como exemplo os lucros obtidos devido à proximidade a atributos naturais, situação que retrata o desejo dos consumidores em residir nessas regiões e sua limitação de replicação. Nesse sentido, a renda de monopólio configura um recurso teórico para compreensão de preços elevados em áreas remotas, porém provedoras de status para seus residentes. Diante disso, deve-se notar que a relação entre demanda e oferta (renda absoluta) aufere valor aos imóveis, mas não esgota a discussão sobre a formação dos preços imobiliários. Como outros fatores, aponta-se: condicionantes ambientais, acessibilidade, possibilidades de construção (renda diferencial); e influências subjetivas relacionadas aos aspectos culturais, preferências ou estilo de vida (renda monopólio).

2.3 Representação conceitual do processo de decisão locacional

Em Rodrigue et al. (2013), as inter-relações entre os subsistemas de uso do solo e de transportes são retratadas por meio das relações que resultam tanto do padrão de uso do solo (acumulação espacial de atividades), como da forma urbana (infraestruturas físicas, como vias e espaços de livre circulação). Para os autores, essas relações sintetizam o conceito de estrutura espacial urbana, a qual pode ser interpretada como as intenções de participação em atividades, providas pelos desejos e necessidades humanas (Arentze e Timmermans, 2009). Nesses termos, é possível compreender esses três conceitos (padrão de uso do solo, forma e estrutura urbana) como diferentes camadas do espaço, representado por meio de aspectos físicos e sociais. Cabe dizer que a localização das atividades é influenciada tanto pela forma urbana, como pela estrutura urbana (Rodrigue et al., 2013).

Contudo, deve-se enfatizar que as mudanças no uso do solo ocorrem gradativamente, pois estão atreladas a um conjunto de processos decisórios que são tomados em momentos distintos, de modo que a percepção de tais mudanças requer análises temporais mais longas. Em comparação às decisões de viagens (de curto prazo), ou às escolhas referentes ao estilo de vida (de longo prazo), as decisões locacionais podem ser consideradas como de médio prazo (Van Acker et al., 2010). Além disso, outro adendo se faz necessário: para falar em inter-relações entre essas camadas, é necessário somar à forma urbana os elementos operacionais do Subsistema de Transportes (ST), tais como serviços de transporte público e instrumentos de controle. A partir dessa interpretação, elaborou-se a Figura 1 que tem como objetivo sistematizar o processo de decisão locacional de famílias e firmas enquanto agentes que consomem o espaço.

Como pode ser observado, considera-se que essas escolhas são influenciadas, principalmente, pela acessibilidade e pelos preços imobiliários, que ganham notória importância devido às restrições financeiras das camadas de menor renda. No que concerne à acessibilidade, associa-se os seus componentes aos seguintes aspectos: padrão de uso do solo (componente locacional); restrições econômicas (representando o componente individual); forma urbana e oferta

operacional do ST (componente de transportes) – mas não se considera a componente temporal, pois entende-se que esse fator é mais relevante em decisões de curto prazo, atinentes aos indivíduos. Nessa proposta, a estrutura espacial urbana pode ser associada à demanda por viagens, entendida como o resultado das interações entre atividades (Cascetta, 2009). Nesses termos, não se faz alusão aos deslocamentos efetivamente realizados, mas sim ao potencial de viagens proveniente de desejos e necessidades básicas.

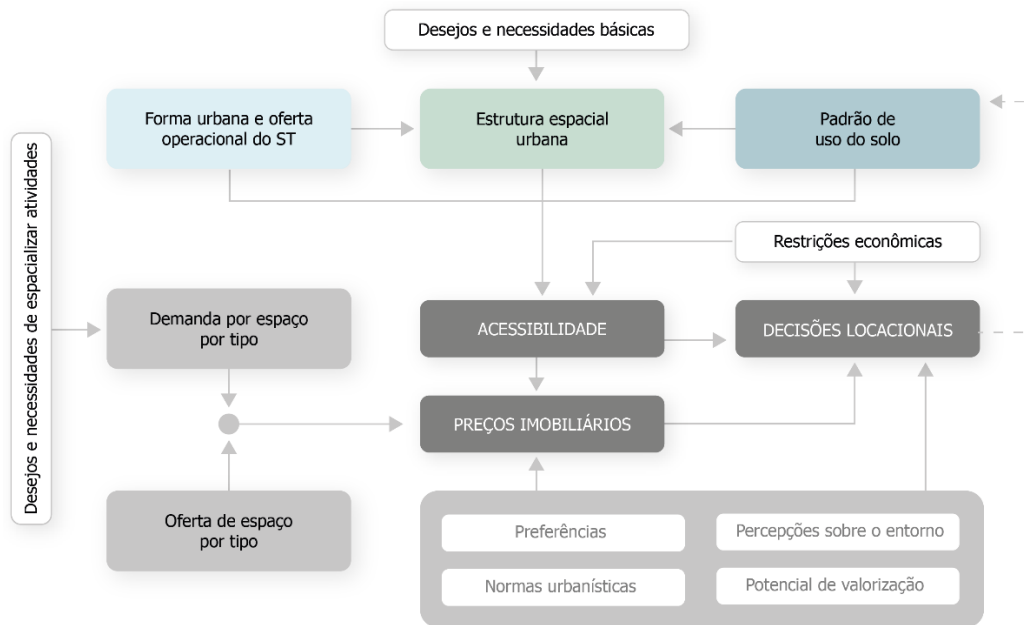


Figura 1: Determinantes das decisões locais de famílias e firmas. Fonte: Autoria própria

A representação conceitual acima revela ainda as relações entre a formação de preços e os fatores representativos dos tipos de renda fundiária: relação entre demanda e oferta por espaço (renda absoluta), normas urbanísticas e acessibilidade (renda diferencial), preferências (renda de monopólio). Além disso, também são considerados: o potencial de valorização, relacionado a planos e projetos futuros, assim como as percepções sobre o entorno, a exemplo da sensação de segurança. Considera-se que alguns desses aspectos influenciam a própria decisão locacional, justificando o interesse por algumas regiões da cidade, mesmo que existam limitações quanto à acessibilidade ou aos preços imobiliários. Deve-se notar que o peso de cada determinante depende das condições socioeconômicas de quem toma a decisão.

3. INTER-RELAÇÕES ENTRE AS DECISÕES LOCACIONAIS

A produção do espaço é uma expressão quase indissociável das obras de Lefebvre (1991) e de Harvey (2013), mas cujas raízes remetem ao trabalho de von Thünen (1826) e ao surgimento da ciência regional (Isard, 1952). Essa visão pressupõe a existência de agentes produtores e de finalidades que orientam a produção (Carlos, 2014). A partir dela, o espaço urbano passa a ser compreendido como um produto social, resultante das ações acumuladas de diversos agentes que o produzem e o consomem. Corrêa (1989) sugere a existência dos seguintes grupos de agentes produtores: (i) proprietários dos meios de produção; (ii) proprietários fundiários; (iii) Estado; (iv) promotores, que representam o próprio mercado imobiliário como incorporadores, construtores, financiadores ou agentes comerciais; (v) e grupos sociais excluídos, que residem

em habitações sociais ou modelam os loteamentos periféricos, favelas e outros assentamentos precários da cidade informal.

Esses agentes produzem o espaço através da “incorporação de novas áreas ao espaço urbano, densificação de uso do solo, deterioração de certas áreas, renovação urbana, relocação diferenciada de infra-estrutura e mudança, coercitiva ou não, do conteúdo social e econômico de algumas regiões”, de acordo com seus interesses (Corrêa, 1989, p.11). Os grandes proprietários fundiários, assim como os promotores, atuam para obter a maior renda da terra possível, enquanto os proprietários dos meios de produção procuram ocupar regiões mais baratas, pois necessitam de terrenos amplos e baratos. Em situações de acentuada valorização imobiliária, os grupos sociais excluídos tendem a se tornar modeladores da cidade informal, aquela que compreende as regiões em que os serviços urbanos são precários ou inexistentes, e onde o setor informal tem sua base (*United Nations Human Settlements Programme*, 2003). Percebe-se assim a existência de conflitos entre os diferentes atores, o que permite tratar a cidade como um palco de lutas sociais, apesar de se reconhecer que a ação desses agentes ocorre dentro de um marco jurídico regulatório (Maricato, 2001).

Nesse contexto, é relevante destacar a função de consumidor do espaço, considerando que existem indivíduos ou firmas que participam da dinâmica espacial através do desejo de ocupar um terreno, um apartamento ou uma sala comercial. Em outras palavras, seria possível falar em agentes que demandam espaço, em contraposição aos produtores. Esse é o caso, por exemplo, das famílias que efetivamente ocupam as construções comercializadas pelos promotores imobiliários. Além disso, deve-se ponderar que nem sempre as decisões locacionais estão atreladas tão somente à ação dos promotores, enquanto agentes responsáveis pela oferta imobiliária. Villaça (2001) aponta a população de alta renda como o setor que determina os vetores de crescimento da cidade. Para o autor, por motivos diversos, essa camada decide que regiões ocupar e, como possui uma relação estreita com o Estado, consegue atrair investimentos para essas áreas, inclusive de transportes (Harvey, 2013).

Dessa forma, pode-se dizer que as decisões dessa camada social (onde ocupar), apoiadas pelas escolhas do mercado imobiliário (onde construir), induzem o Estado a intervir no domínio público, atuando no provimento de serviços urbanos, na construção ou na requalificação de vias e na implantação de novos serviços de transportes. Na Figura 2, essas intervenções são classificadas como do tipo A e normalmente tem como objeto a infraestrutura viária, seja em regiões consolidadas ou não. Como consequência, a média dos preços imobiliários tende a aumentar nas regiões beneficiadas, dificultando a entrada e a manutenção da população menos favorecida, a qual tende a ocupar os espaços residuais, isto é, aqueles que não são visados por quem possui maior poder de compra (Smolka, 1979). Também é importante reconhecer o impacto das intervenções do tipo B (direcionado ao transporte público) nos espaços residuais, as quais possuem capacidade de desencadear outros processos, como gentrificação.

Ambas as tipologias impactam no valor do solo e, em contextos de valorização, podem repercutir na localização da população de baixa renda. Na prática, isso pode ocorrer dentro do próprio mercado legal, através da compra ou aluguel de imóveis baratos - geralmente localizados em regiões com baixos níveis de acessibilidade - ou por meio da adesão à cidade informal. Assim, com exceção de alguns casos particulares, nota-se que os grupos excluídos tendem a ocupar os terrenos periféricos, obedecendo uma lógica de valorização regida pela noção centro-periferia, apesar de esse já não ser o único modelo possível. Diante disso, é

possível abordar os dois tipos de segregação residencial reconhecidos pela literatura: (i) a autosegregação, que resulta de uma decisão voluntária de reunir grupos socialmente homogêneos, cujo melhor exemplo se revela por meio dos loteamentos e condomínios voltados à população de classe elevada; e (ii) a involuntária, em que as pessoas são segregadas contra sua vontade pelas mais variadas forças (Corrêa, 1989; Vasconcelos, 2013), como realocações populacionais fomentadas pela oscilação dos preços imobiliários ou sob o pretexto de arrumação e de planos.

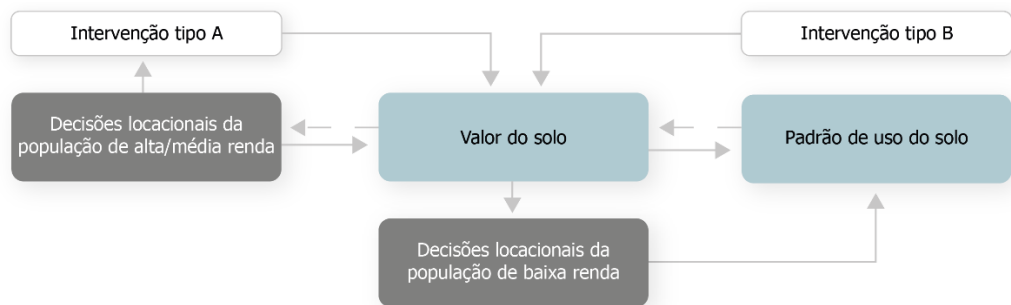


Figura 2: Inter-relações entre decisões locacionais de grupos socioeconômicos distintos. Fonte: Autoria própria

Nota-se que a segregação, por ser um fenômeno que se refere ao uso residencial, não pode ser desassociada das escolhas locacionais tomadas pelas famílias. No geral, tem-se que a liberdade dessa escolha é diretamente proporcional a renda de um dado segmento populacional. Também é importante evidenciar que o processo de autosegregação desfaz a lógica centro-periferia, na medida em que se observa que alguns grupos privilegiados começam a deixar as áreas centrais e passam a residir em regiões mais distantes (Caldeira, 2000). Vale frisar que, posteriormente, percebe-se que atividades relacionadas a outras esferas da vida social passam a ocupar essas regiões, tornando-as ainda mais atrativas e valorizadas. Assim, ao se ultrapassar a dimensão residencial, passa-se a falar em fragmentação socioespacial, considerando tanto a desconexão com o tecido urbano previamente consolidado, como a conformação de novas centralidades voltadas às classes abastadas (Sposito, 2013).

Dessa forma, entende-se que as escolhas de localização de segmentos sociais distintos apresentam inter-relações, sendo a ponte de ligação entre elas as oscilações dos preços imobiliários. Cabe ressaltar que os padrões e processos espaciais mencionados, bem como as facilidades de ocupação territorial, podem se manifestar de diversas formas, a depender do contexto sociocultural (Vasconcelos, 2004). Mas, no geral, independentemente da posição geográfica visada pelas camadas privilegiadas, é possível que a população mais vulnerável se distancie espacialmente (inclusive, ultrapassando os limites municipais) ou, então, que ocupe as proximidades das novas e antigas centralidades informalmente. Isso posto, defende-se que as inter-relações discutidas devem ser minimamente representadas pelos modelos LUTI, considerando que essas ferramentas são utilizadas durante a avaliação das alternativas de intervenções. Por essa razão, na seção seguinte, objetiva-se selecionar e analisar um modelo operacional LUTI quanto a sua capacidade de simular tanto o processo locacional em si, como as inter-relações entre as decisões tomadas por grupos socioeconômicos distintos. Tal análise crítica terá como base as discussões conceituais realizadas nesta seção, bem como na anterior.

4. MODELAGEM DAS DECISÕES LOCACIONAIS EM UM MODELO LUTI

4.1. Seleção do modelo operacional LUTI

No geral, os modelos operacionais LUTI podem ser classificados em: a) modelos baseados em interação espacial; b) modelos com abordagem econométrica; e c) modelos de microsimulação. Entende-se que os modelos de interação espacial tratam o uso do solo como um sistema secundário, de forma que se concentram efetivamente nas decisões atinentes ao ST. Por outro lado, os modelos microscópicos apresentam um nível de desagregação que foge do escopo desta pesquisa, visto que detalham as decisões no nível do indivíduo e para curtos intervalos temporais. Nesse sentido, os modelos econométricos aparecem como as ferramentas mais adequadas à discussão realizada neste trabalho, por simularem as decisões de grupos populacionais em intervalos médios de tempo.

Diante disso, o TRANUS (de la Barra, 1989) se destaca dentre os modelos econométricos pelas seguintes razões (Sousa *et al*, 2017): (i) permite a divisão do setor populacional em segmentos sociais e do território em zonas a serem definidas pelo modelador; (ii) considera que as relações entre os subsistemas são mútuas e ocorrem em tempos distintos; (iii) utiliza modelos de escolha discreta para fundamentar os processos decisórios, de tal forma que a probabilidade de um grupo escolher certa alternativa está atrelada às suas características socioeconômicas, bem como aos atributos dessa alternativa (Ortúzar e Willumsen, 2011). Dito isso, a subseção seguinte se dedica à crítica desse modelo operacional quanto à representação das determinantes da decisão locacional e à forma como ele simula as relações entre os processos decisórios de grupos socioeconômicos distintos.

4.2. Análise crítica do modelo operacional TRANUS

A modelagem do uso do solo no TRANUS é organizada a partir da noção econômica de demanda e oferta. Nessa sistematização, a demanda é representada pela necessidade de localização espacial das atividades, enquanto a oferta é representada pelo espaço disponível para ocupação, considerando tanto a reserva fundiária existente, como o potencial de construção. Cabe dizer que o espaço ofertado é uma variável exógena ao modelo, sujeita à política urbana (de la Barra, 1989) e, portanto, não há no TRANUS uma modelagem das decisões que envolvem os produtores do espaço. As atividades cujas decisões locacionais são modeladas podem ser classificadas em setores de varejo, que representam as atividades produtivas, e setores populacionais (Lowry, 1964).

No geral, as decisões locacionais são dependentes dos níveis de acessibilidade, dos preços imobiliários e da atratividade de cada região, ponderadas a partir dos interesses específicos de cada grupo. Cada setor pode ser desagregado a depender do interesse da análise. O setor populacional pode ser subdividido por classes de renda e representado por indivíduos ou domicílios. Os setores de varejo, por exemplo, podem ser classificados por tipos de atividades econômicas e modelados pela quantidade de empregos ou estabelecimentos. As interações entre esses setores são retratadas por uma lógica de produção e consumo: para que haja a produção de um determinado setor deve ocorrer o consumo em outros. Dessa forma, a produção de bens e serviços é dependente de outros produtos/serviços e de mão de obra, e a localização de domicílios (ou pessoas) produz uma necessidade de se consumir bens e serviços e de interagir com outras pessoas. Espacialmente, cada setor está localizado em uma região, que depende dos setores localizados na mesma região ou em regiões distintas. Nessa perspectiva, a localização dos setores é modelada considerando que um setor deseja estar o mais próximo possível dos setores que o utilizam, mas limitados pela oferta de solo de cada região.

4.2.1. Representação das determinantes da decisão locacional

As formulações matemáticas que representam o uso do solo podem ser divididas em três momentos (Figura 3). O primeiro se relaciona ao processo de decisão locacional e simula onde famílias e firmas se localizam. Para isso, utiliza-se um modelo de escolha discreta que simula as probabilidades de um setor consumido em uma zona “i” se localizar em uma zona “j” com base em uma função de (des)utilidade. São atributos dessa função: a (des)utilidade de deslocamento (t_{ij}^n), que se associa ao componente infraestrutural da acessibilidade; os preços de produção que representam o tipo de renda absoluta (p_j^n); e os preços sombras (h_j^n), que representam outros fatores capazes de influenciar o processo decisório dos setores, como a segurança. Nesses termos, é possível dizer que o TRANUS reconhece algumas das determinantes discutidas anteriormente e representadas na Figura 1, embora o impacto direto delas se restrinja à escolha de localização, não atingindo os preços imobiliários.

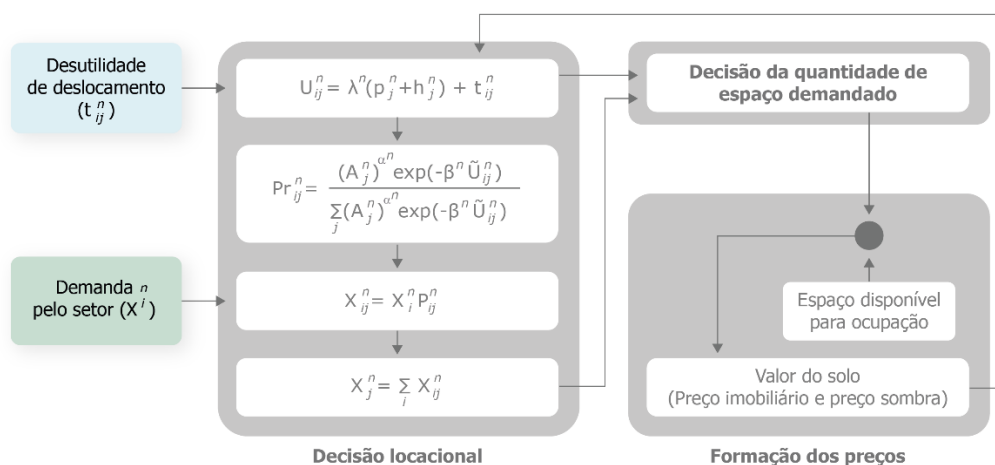


Figura 3: Modelagem do uso do solo no TRANUS. Fonte: Autoria própria

A decisão locacional também é influenciada pela atratividade da zona (A_j^n), que pode ser vinculada à quantidade do setor que já existe na região, tangenciando assim o componente de uso do solo da acessibilidade. Ao reconhecer a localização dos setores, tem-se início o segundo momento: o de prever a quantidade de solo demandada. Para esse fim, utiliza-se um outro modelo de escolha discreta que estima a probabilidade de um determinado setor consumir um tipo de solo, além de um modelo elástico que estima a quantidade de solo consumido em função da desutilidade de consumo do solo. Uma vez que todos os setores desejam se localizar onde as desutilidades são menores, e consumindo a maior quantidade de espaço possível, o modelo atua de maneira interativa modificando o valor do solo e reaplicando todos os modelos até que os setores sejam localizados respeitando os limites de solo disponível (de la Barra, 2012).

Nesses termos, é possível dizer que o TRANUS reconhece a influência dos seguintes componentes da acessibilidade: de transportes, de uso do solo e individual na medida em que, ao permitir a segmentação da população, essa plataforma reconhece as características particulares de cada um desses grupos, evidenciando a existência de diferentes poderes aquisitivos. Contudo, no que concerne aos preços imobiliários, salienta-se que o TRANUS prevê oscilações somente nos preços de produção; de modo que a simulação do valor do solo para cenários futuros não abrange todos os tipos de renda (absoluta, diferencial e de monopólio).

4.2.2. Inter-relações entre as decisões locacionais da baixa e alta/média renda

As formulações inerentes às decisões locacionais são rígidas, no sentido de que suas variáveis são pré-definidas. Apesar disso, entende-se que a possibilidade de segmentar os grupos populacionais permite uma modelagem mais detalhada do processo decisório. Por um lado, a população de alta/média renda consegue se localizar em áreas mais caras, e com melhores níveis de acessibilidade; por outro, a população de baixa renda busca regiões baratas, apesar de mais distantes das centralidades. Esses dois extremos evidenciam um processo locacional regido por preço e acessibilidade, mas com pesos distintos para cada um dos grupos. Esse tipo de simulação é possibilitado pelo TRANUS graças a presença do fator de preço (λ^n) na função desutilidade, um parâmetro que é capaz de regular o peso desses atributos para cada setor.

De maneira similar, grupos distintos possuem sensibilidades (β^n) diferentes à variação das utilidades na busca de se alocar na melhor região. As camadas de renda mais elevadas não aceitam nada diferente da melhor localidade, enquanto as camadas mais baixas são menos sensíveis a tais variações. Para ilustrar o significado desse fator, apresenta-se na tabela abaixo os resultados obtidos na modelagem realizada para Fortaleza, que simulou os cenários dos anos 2000 e 2015 (Sousa *et al.*, 2020). Como pode ser observado, nota-se que as elasticidades da decisão locacional possuem valores mais baixos para o grupo definido como baixa renda e valores mais elevados para o grupo de alta renda. Isso sugere que pequenas variações na desutilidade são mais importantes para o grupo mais rico.

Tabela 1: Elasticidade da decisão locacionais – Fortaleza

Parâmetro	Segmento socioeconômico		
	Baixa renda	Média renda	Alta renda
Elasticidade (2000)	0,55	0,37	0,74
Elasticidade (2015)	0,28	0,30	0,52

Fonte: Adaptado de Sousa, Castro e Loureiro (2020)

Percebe-se também uma redução desses valores para todos os segmentos entre os cenários analisados. Em alguma medida, isso pode ser justificado pela expansão dos comércios e serviços em áreas pericentrais, já que novas regiões da cidade (não necessariamente as mais apropriadas) tiveram sua importância reconhecida e começaram a atrair mais domicílios e atividades econômicas. Além disso, destaca-se que o segundo grupo de formulações, referente à quantidade de solo demandada, pode contribuir com as discussões apresentadas. No geral, espera-se que essa demanda seja diretamente proporcional ao poder aquisitivo dos segmentos. Em Fortaleza, tanto em 2000 quanto em 2015, verificou-se que maior renda implica em menor sensibilidade às variações do preço do solo (Sousa *et al.*, 2020). Dessa forma, o aumento de uma unidade no preço do solo implica uma redução menos acentuada da quantidade de solo consumido pela alta/média renda.

Isto posto, é possível dizer que a plataforma consegue simular mudanças na distribuição socioespacial da população com base em oscilações nos preços e nos níveis de acessibilidade. Contudo, deve-se salientar que o TRANUS não modela as intervenções realizadas pelo Estado (nem mesmo as de transporte). Essas devem ser introduzidas como dados exógenos e geralmente o são para fins de avaliação. Desse modo, retomando a representação da Figura 2, tem-se que outras intervenções do tipo A que possam ser induzidas pelos interesses das camadas privilegiadas não são modeladas. Além disso, cabe ressaltar que os preços sombras (que indicam preferências espaciais dos setores) são calibrados para o ano base, sendo mantidos

constantes nos cenários futuros. Dessa forma, as simulações são realizadas com base em preferências percebidas no tempo presente, o que dificulta a previsão tanto da quantidade de espaço demandado em cada zona, como das alterações nos preços imobiliários. Logo, processos como a autosegregação (geralmente da população de alta renda) só podem ser modelados se forem previamente conhecidos. De maneira similar, o TRANUS não consegue prever novos processos de segregação involuntária. No máximo, ele irá revelar a intensificação dos processos socioespaciais percebidos no cenário base.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base na discussão conceitual aqui realizada, observa-se que a modelagem operacional LUTI tem evoluído ao longo dos anos, com destaque para a incorporação das dinâmicas inerentes ao uso do solo. Em geral, percebe-se que a distribuição espacial das atividades já não é mais visualizada como um simples dado de entrada, tendo se tornado objeto dos esforços de modelagem. Contudo, no que tange à simulação das decisões locacionais, ainda é possível constatar algumas inadequações na representação desses processos. Nesse sentido, o presente artigo evidencia os preços imobiliários e a acessibilidade (compreendida para além de seu componente de transporte) como as principais determinantes da escolha de localização. Além disso, nota-se a existência de um conjunto de fatores intangíveis que são capazes de influenciar não só a escolha, mas também a própria formação dos preços imobiliários.

Tratando-se de grupos socioeconômicos distintos, é preciso reconhecer que essas determinantes assumem pesos igualmente diferenciados, principalmente em contextos de notória desigualdade social, nos quais a liberdade de escolha aumenta conforme o poder aquisitivo. Observa-se também que a população de renda mais elevada consegue fomentar oscilações no valor do solo, ao atrair intervenções estatais para as suas regiões de interesse, sejam elas áreas consolidadas ou não. Vale dizer que essa dinâmica envolve a ação de diferentes atores, que produzem e modelam o espaço, considerando seus aspectos físicos e sociais. Como resultado, tem-se modificações no padrão de uso do solo, na forma e na estrutura urbana, sendo possível constatar uma série de processos socioespaciais que envolvem as decisões locacionais de populações socioeconômicas diferentes. Essas decisões são, em larga medida, interligadas pelos preços imobiliários.

No que concerne ao modelo operacional LUTI analisado, concluiu-se que ele reconhece a acessibilidade e os preços imobiliários como as principais determinantes do processo decisório. Contudo, o TRANUS não representa adequadamente as inter-relações supracitadas, apesar de permitir um processo locacional mais detalhado através da segmentação do setor populacional. Por essa razão, conclui-se que mesmo plataformas consolidadas, a exemplo do TRANUS, falham em representar o fenômeno urbano, de modo que análises atinentes a problemas socioespaciais não podem ser fundamentadas exclusivamente nos resultados simulados. Em vista disso, é importante que, ao longo dos esforços de planejamento territorial, sejam adotadas estratégias para prevenir ou mitigar fenômenos como segregação e fragmentação socioespacial, ainda que avaliações *ex-ante* baseadas nesse tipo de ferramenta analítica não indiquem externalidades nesse âmbito. Como recomendação para pesquisas futuras, sugere-se a ampliação dessa discussão para modelos LUTI desagregados, bem como para outros métodos de análise que possam ser utilizados em diferentes escalas espaciais.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, Sónia Cristina Nunes. *O social, o espacial e o político na pobreza e na exclusão: avaliação de iniciativas de regeneração de áreas urbanas “em risco” na cidade do Porto*. 2010. Tese (Doutorado em Sociologia) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2010.
- Arentze, T. A.; Timmermans, H. P (2009). *A need-based model of multi-day, multi-person activity generation*. *Transport Research part B: Methodological*, v. 43, n. 2, p. 251 – 265
- Batty, M. (2008). *Cities as complex systems: scaling, interactions networks, dynamics and urban morphologies*. UCL Working Papers Series, 131, 0–18. <http://www.springerlink.com/index/j3863x4mm7gu8645.pdf>
- Benko, G. B. (1984) *La ciencia regional: treinta años de evolucion*. *Revista Internacional de Ciencias Sociales*, vol. 36, no. 4, p. 739–753.
- Brömmelstroet, M. Te, Bertolini, L., Gudmundsson, H., Wegener, M., Curtis, C., Timmermans, H. J. P., Arentze, T. A., Waddell, P. A., Naess, P., Jonsson, D., Berglund, S., Almström, P., Algers, S., e Pfaffenbichler, P. C. (2013) *Transport Models in Urban Planning Practices: Tensions and Opportunities in a Changing Planning Context*. (M. Te Brömmelstroet & L. Bertolini, Eds). Routledge.
- Caldeira, T. P. R. (2000) *Cidade de muros: crime, segregação e cidadania em São Paulo*. São Paulo: Edições 34; Edusp
- Carlos, A. F. A (2014) Da "Organização" à "Produção" do Espaço no Movimento do Pensamento Geográfica. In: CARLOS, Ana Fani Alessandri; SOUZA, Marcelo Lopes de; SPOSITO, Maria Encarnação Beltrão (org.). *A Produção do Espaço: agentes e processos, escalas e desafios*. São Paulo: Contexto, Cap. 4. p. 53-73.
- Cascetta, E. (2009) *Transportation Systems Analysis*. (Second., Vol. 29). Springer US, Boston, MA.
- Corrêa, R. L. *O Espaço urbano*. São Paulo, Ática, 1989.
- de la Barra, T. (1989) *Integrated land use and transport modelling: Decision chains and hierarchies*. Cambridge University Press, New York, USA.
- de la Barra, T.; Franco, H.; Ramos, R. (2012) *El modelo de Chile: insumo-producto y asignación multimodal de carga y pasajeros*. *Ingeniería de Transporte*, v. 16, n. 2, p. 23–33
- Geurs, K.T.; B. van Wee (2004), ‘Accessibility evaluation of land- use and transport strategies: review and research directions’, *Journal of Transport Geography*, 12, 127–140.
- Geurs, K., van Wee, B. (2013) Land use and transporte. In: VAN WEE, B; ANNEMA, Jan Anne; BANISTER, David (org.). *Transport System and Transport Policy*. Cheltenham: Edward Elgar. Cap. 5. p. 78-100.
- Gonzales, S. F. N (2016). *A Renda do Solo Urbano: instrumento da política urbana*. Brasília: S.I.
- Hansen, W. G. (1959) How Accessibility Shapes Land Use, *Journal of the American Institute of Planners*, 25:2, 73-76
- Harvey, D. (2013) *Os limites do capital*. São Paulo: Boitempo
- Isard, W. (1952) *A General Location Principle of an Optimum Space-Economy*. *Econometrica*, vol. 20, no. 3, p. 406–430
- Kain, J. (1968). *Housing Segregation, Negro Employment, and Metropolitan Decentralization*. *The Quarterly Journal of Economics*, v. 82, n. 2, p.175–197
- Lefebvre, H. (2001) *O direito à cidade*. Tradução Rubens Eduardo Frias. São Paulo: Centauro
- Lojkin, J. (1979). “Existe uma renda fundiária urbana?” In: FORTI, R. (org.). *Marxismo e Urbanismo Capitalista: textos críticos*. São Paulo, Editora Ciências Humanas.
- Lowry, I. S. (1964) *A model of metropolis*. 1–150.
- Lucas, K. (2012). *Transport and social exclusion: Where are we now?* *Transport Policy*, 20, 105–113.
- Maricato, E. (2001). *Brasil, cidades: alternativas para a crise urbana*. 3. ed. Petrópolis: Vozes, v. 1. 204p
- Medeiros, S. R. F. Q. de. (2018). *Segregação e Gentrificação: os conjuntos habitacionais em natal*. EDUFERN.
- Morin, E. (2005) *Introdução ao Pensamento Complexo*. 4a. ed. Porto Alegre: Editora Sulina
- Ortúzar, J. D.; Willumsen, L. G. (2011) *Modelling Transport*. 4th Editio ed. [s.l.] John Wiley and Sons, Ltd
- Rodrigue, J.-P., Comtois, C., & Slack, B. (2013). *The Geography of Transport Systems* (3rd ed.). Routledge.
- Singer, P. (1979). O Uso do Solo Urbano na Economia Capitalista. In: MARICATO, Ermínia (org.). *A Produção Capitalista da Casa (e da Cidade) no Brasil Industrial*. 2. ed. São Paulo: Alfa-Omega
- Smolka, M. (1979) *O Preço da terra e valorização imobiliária urbana: esboço para o enquadramento conceitual da questão*. Rio de Janeiro: IPEA
- Sousa, F. F. L. de M., Castro, I. R., & Loureiro, C. F. G. (2020). *Evolução Comportamental nas decisões locacionais e de viagens em Fortaleza a partir da calibração de um modelo LUTI*. 34o ANPET.
- Sousa, F. F. L. de M., Loureiro, C. F. G.; Lopes, A. S. (2017) Representação do fenômeno urbano por meio de modelos integrados dos transportes e uso do solo: revisão da literatura e discussão conceitual. *Transportes*, 25(4), 96. <https://doi.org/10.14295/transportes.v25i4.1319>

- Southworth, F. (1995) *A Technical Review of Urban Land Use Transportation Models as Tools for Evaluating Vehicle Travel Reduction Strategies*.
- Sposito, M. E. B. (2013) Segregação socioespacial e centralidade urbana. In: Pedro de Almeida Vasconcelos; Roberto Lobato Corrêa; Silvana Maria Pintaudi. (Org.). *A cidade contemporânea*. Segregação Espacial. 1ed.São Paulo: Contexto, v. 1, p. 61-93
- United Nations Human Settlements Programme (2003). *The challenge of slums: global report on human settlements*. In Analytical Biochemistry (Vol. 238, Issue 1). Earthscan Publications Ltd.
- van Acker, V., van Wee, B. e Witlox, F. (2010) ‘When transport geography meets social psychology: Toward a conceptual model of travel behaviour’, *Transport Reviews*, 30(2), pp. 219–240.
- van Wee, B., e Geurs, K. (2011) *Discussing equity and social exclusion in acessibility evaluations*. European Journal of Transport and Infrastructure Research, 11(4), 350–367.
- Vasconcelos, P. A. (2004). A aplicação do conceito de segregação residencial ao contexto brasileiro na longa duração. *Revista Cidades*, v. 1, n. 2, p. 259-274
- Vasconcelos, P. A. (2013) Contribuições para o debate sobre processos e formas socioespaciais nas cidades. In: Pedro de Almeida Vasconcelos; Roberto Lobato Corrêa; Silvana Maria Pintaudi. (Org.). *A cidade contemporânea*. Segregação Espacial. 1ed.São Paulo: Contexto, v. 1, p. 17-38
- Villaça, F. (2001). Espaço intra-urbano no Brasil. Studio Nobel: FAPESP: Lincoln Institute.
- von Thünen, J. H. (1826). *Der isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie*. Hamburgo, Perthes
- Waddell, P. A. (2011) *Integrated Land Use and Transportation Planning and Modelling: Addressing Challenges in Research and Practice*. *Transport Reviews*, 31(2), 209–229. DOI:10.1080/01441647.2010.525671
- Wegener, M., Fürst, F. (1999) *Land-Use Transport Interaction: State of the Art*. Berichte aus dem Institut für Raumplanung 46. Institut für Raumplanung, Universität Dortmund, Dortmund.

Rebeca Froés de Assis (rebeca@det.ufc.br)

Francelino Franco Leite de Matos Sousa (francolms@gmail.com)

Carlos Felipe Grangeiro Loureiro (felipe@det.ufc.br)

Universidade Federal do Ceará - Departamento de Engenharia de Transportes

Campus do Pici, Bloco 703, CEP 60440-900 – Fortaleza, CE – Fone/Fax: (85) 3366 9488