

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
ENGENHARIA DE TRANSPORTES

MIRIAN GREINER DE OLIVEIRA PINHEIRO

**REDE DE CENTRALIDADES NO MUNICÍPIO DE POÇOS DE CALDAS: UMA
APLICAÇÃO DO MODELO DE REDES COMPLEXAS NO PLANEJAMENTO
INTEGRADO DE TRANSPORTES**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

BELO HORIZONTE
2019

MIRIAN GREINER DE OLIVEIRA PINHEIRO

**REDE DE CENTRALIDADES NO MUNICÍPIO DE POÇOS DE CALDAS: UMA
APLICAÇÃO DO MODELO DE REDES COMPLEXAS NO PLANEJAMENTO
INTEGRADO DE TRANSPORTES**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Graduação em Engenharia de Transportes do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme de Castro Leiva

BELO HORIZONTE
2019

FOLHA DE APROVAÇÃO

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, pela providência confiada neste tempo e por me acompanhar de perto em minha jornada até aqui, permitindo superar todas as dificuldades e desfrutar das alegrias.

Ao meu esposo, Rafael Pinheiro, por sempre me motivar, me inspirar e por sempre acreditar em meu potencial. Obrigada pelo amparo nos momentos de dificuldade, pela alegria que compartilha comigo em cada conquista, pelo orgulho demonstrado a cada passo dado nesta jornada, pelas palavras de afeto e consolo quando mais precisei, e por sempre me lembrar que toda dificuldade seria recompensada.

Aos meus pais, Alex Greiner e Valéria Armondes, por todo o esforço que fizeram para que eu chegasse até aqui, muitas vezes em sacrifício próprio, se fazendo presentes com o olhar e os gestos de carinho, evidências claras do amor familiar.

Aos meus amigos da faculdade, que tornaram esta jornada muito mais leve, gratificante e divertida.

À universidade, seu corpo docente e administrativo que oportunizaram a nós um novo horizonte através do ensinamento da técnica e da ética aqui presentes.

Ao meu orientador, Prof. Guilherme Leiva, pela confiança que sempre depositou em mim e pelo suporte dado desde que nos conhecemos, resultando em laços fraternos e na construção de uma amizade especial e sincera.

Ao Departamento de Engenharia de Transportes, sobretudo ao prof. Renato Ribeiro pelas oportunidades que me confiou, sempre acreditando em meu potencial, dando o suporte necessário para que pudesse me desenvolver, fatos que nos aproximaram e na simplicidade fortalecemos até aqui grande amizade.

Ao prof. André Guerra que tanto me auxiliou na aplicação e operacionalização deste problema de pesquisa, agradeço imensamente por sua disponibilidade, gratuidade e generosidade ao compartilhar seu conhecimento, contribuindo muito para que pudesse fazer desse trabalho algo verdadeiramente especial nesse encerramento de um ciclo.

À Comunidade Missionária de Villaregia, que através de sua formação humana e espiritual me preparou para enfrentar todo este percurso com uma visão mais singela da humanidade das relações em todos os âmbitos.

E a todos os amigos e familiares que em suas pequenas ou grandes ações, sendo elas concretas ou através de palavras, me edificaram para que me tornasse mais motivada e feliz por todos os passos dados rumo a essa conquista de formação com conhecimentos sólidos e capacidade de discernir sobre os próximos degraus que buscarei para evoluir sempre mais, o meu muito obrigada.

“You never change things by fighting the existing reality. To change something, build a new model that makes the existing model obsolete” Richard Buckminster Fuller (1895–1983)

RESUMO

PINHEIRO, M. G. O. **Rede de centralidades no município de Poços de Caldas: uma aplicação do modelo de redes complexas no planejamento integrado de transportes**. 2019. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia de Transportes. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2019.

A expansão da área urbanizada se apresenta, atualmente, de duas formas a princípio antagônicas, a primeira delas como um desenvolvimento inteligente e compacto das cidades e a segunda de maneira espalhada. Da mesma forma têm se discutido dois modelos de planejamento de transportes, sendo o primeiro deles o planejamento tradicional e o segundo uma nova forma de planejar o sistema de transportes levando em consideração os aspectos de uso e ocupação do solo. Frequentemente encontram-se análises comparativas entre as vertentes do planejamento de transportes ou entre as formas e desenvolvimento da área urbanizada, no entanto, é preciso avaliar o conjunto, de forma a conhecer os diferentes modelos de desenvolvimento do uso do solo dentro de uma rede equilibrada de transporte. Neste sentido, os fluxos de viagem se apresentam como um indicador de intensidade e natureza das relações conformadas entre unidades espaciais.

Posto isto, o presente estudo buscou, por meio de conceitos de planejamento integrado de transportes incorporar as características topológicas da rede de transporte público coletivo por ônibus no cálculo das medidas de centralidade de grau, proximidade e intermediação.

Os resultados obtidos apontam que a utilização destas medidas topológicas trazem informações importantes a serem consideradas no planejamento de transportes, sobretudo na fase inicial de projeção do desenho das linhas pois essa estrutura e sua topologia são capazes de induzir a melhoria da acessibilidade nas regiões e conceber cidades com tamanha qualidade que as pessoas não sintam falta de utilizar o automóvel dada a qualidade da oferta de transporte público e às condições de conectividade que este modo é capaz de oferecer aos seus utilizadores.

Palavras-chave: uso do solo, transporte urbano, redes complexas, centralidades, acessibilidade, planejamento integrado de transportes

ABSTRACT

PINHEIRO, M. G. O. **System of centralities in the municipality of Poços de Caldas: an application of the complex system model in the integrated transportation planning.** 2019. 71 f. Final Project (Bachelor's Degree) – Transporting Engineering. Program - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2019.

The expansion of urbanized area currently presents itself in two ways that seems in the beginning antagonistic, the first of them as an intelligent and compact development of cities and the second in a sprawling manner. In the same way two transportation planning models have been discussed, with the first being the traditional planning and the second a new way of planning the transportation system considering the land use aspects. Comparative analyzes are often found between the transportation planning slopes or between the forms and development of the urbanized area. However, it is necessary to measure the set, getting to know the different land use development models within a balanced transportation system. In this sense the journey flows are an indicator of the intensity and nature of the relationships formed between the spatial units.

For this reason, the present study seeks, through integrated transportation planning concepts to incorporate the topological characteristics of the public bus transport system in the calculation of measures of degree centrality, closeness centrality and betweenness centrality measures.

The results obtained point out that the use of these topological measures bring important information to be considered in the transportation planning, mainly in the early stage of the design of the bus routes since this structure and its topology are able to induce the improvement of accessibility in the regions and are able, as well, to conceive cities with such calibre that people do not miss using the car given the quality of public transportation supply and due to the connectivity conditions that this mode is able to offer to its users.

Keywords: land use, urban transportation, complex system, centralities, accessibility, integrated transportation planning

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo dinâmico bidirecional entre o sistema de uso do solo e o sistema de transportes	25
Figura 2 – Estrutura do modelo sequencial de transportes	40
Figura 3 – Relações das decisões domiciliares no modelo baseado em atividades ..	43
Figura 4 - Localização do município de Poços de Caldas na mesorregião do Sul e Sudoeste de Minas.....	51
Figura 5 - Perímetro urbano Poços de Caldas.	52
Figura 6 – Mapa Regiões Urbanas Homogêneas	53
Figura 7 - Esquema simplificado da rede linhas.....	54
Figura 8 – Rede de Transporte de Poços de Caldas	55
Figura 9 - Loteamentos até 1940. Fonte: Autoria própria.....	56
Figura 10 – Loteamentos até 1950. Fonte: Autoria própria	56
Figura 11 – Loteamentos até 1960. Fonte: Autoria própria	56
Figura 12 - Loteamentos até 1970. Fonte: Autoria própria.....	56
Figura 13 – Loteamentos até 1980. Fonte: Autoria própria	56
Figura 14 – Loteamentos até 1990. Fonte: Autoria própria	56
Figura 15 - Loteamentos até 2000. Fonte: Autoria própria.....	56
Figura 16 – Loteamentos a partir de 2000. Fonte: Autoria própria	56
Figura 17 - Polos geradores de viagem do município de Poços de Caldas	57
Figura 19 - Centralidade de Grau.....	65
Figura 20 – Centralidade de Proximidade	67
Figura 21 - Centralidade de Intermediação	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modelos baseados em Lowry.....	46
Tabela 2 - Modelos Econométricos	48
Tabela 3 - Modelos baseados em simulação	50
Tabela 4 - Degree centrality - RUH Poços de Caldas	61
Tabela 5 – Closeness centrality – RUH Poços de Caldas.....	62
Tabela 6 - Betweenness centrality – RUH Poços de Caldas.....	63

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Contextualização e objetivo geral do trabalho	18
1.2	Delimitação do tema e objetivos específicos	18
1.3	Justificativa e relevância	18
1.4	Estrutura do trabalho	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	Expansão da área urbanizada	19
2.2	Desenvolvimento ilimitado da mancha urbana	21
2.3	O desenvolvimento compacto como uma (velha) nova vertente de expansão urbana	22
2.4	Relação entre transporte e uso do solo	24
2.5	Fatores que influenciam o padrão de viagem	26
2.5.1	Fatores institucionais	27
2.5.2	Fatores individuais e sociodemográficos	28
2.5.3	Fatores do ambiente construído	29
2.5.4	Fatores relacionais e a Acessibilidade	32
2.6	Características da rede	33
2.7	Definição e medidas de centralidades	34
2.7.1	Degree Centrality (grau da centralidade)	35
2.7.2	Closeness Centrality (centralidade de proximidade)	36
2.7.3	Betweenness centrality (centralidade de intermediação)	37
2.8	Sistematização de fatores em modelos de planejamento	39
2.8.1	Planejamento tradicional de transportes baseado em demanda	39
2.8.2	Planejamento de transportes baseado em atividades	42
2.8.3	Planejamento Integrado de transportes e uso do solo	43
3	MÉTODOS	50
3.1	Caracterização da área de estudo	51
3.2	Obtenção de dados	53
3.3	Modelagem no TransCAD	58
4	RESULTADOS	64
5	CONCLUSÃO E ESTUDOS FUTUROS	70
6	BIBLIOGRAFIA	72

1 INTRODUÇÃO

Uma das consequências da expansão da área urbanizada são as transformações trazidas à mobilidade urbana. O aumento das velocidades gerados a partir da evolução tecnológica trouxe, como um de seus produtos, a independência da proximidade física à diversas relações, favorecendo o fenômeno de espraiamento que, pautado em um amplo sistema viário, incentiva a utilização do transporte individual em detrimento do transporte público e ativo.

Em contrapartida a este modelo de desenvolvimento urbano surgem as “Cidades compactas” que consistem em um agrupamento de diretrizes urbanísticas com objetivo de promover o desenvolvimento de unidades territoriais eficientes e conectadas entre si por sistemas de transporte público eficazes.

O contraste entre estas formas de desenvolvimento urbano bem como os modos de transporte favorecidos por cada uma delas sugerem que os sistemas de transporte e uso do solo se relacionam e essa inter-relação vem sendo estudada desde a década de 1950 até os dias atuais.

Além da forma de desenvolvimento da mancha urbana, outros fatores influenciam o sistema de transportes e como as pessoas se deslocam no espaço urbano, dentre os quais podemos citar aspectos institucionais, individuais e sociodemográficos, de ambiente construído, relacionais e, por fim, da rede de transporte disponível, sendo este último, tratado de maneira detalhada neste trabalho.

Entende-se por rede, um conjunto de vértices (nós) ligados por um conjunto de arestas (*links*) modelados pela teoria dos grafos. Um dos elementos críticos para a compreensão de redes, consiste em suas medidas topológicas. A topologia de uma rede é definida por sua estrutura e conectividade, consiste na disposição física ou interligação de seus elementos e em casos de problemas de transporte, essas medidas de topologia podem diferenciar-se de acordo com o tipo de transporte que circulará na rede e do tipo de serviço pretendido.

No contexto de redes complexas, um tema significativo é a avaliação da relevância dos nós únicos na estrutura geral e os instrumentos utilizados para identificar essa relevância em uma rede complexa são chamados de medidas de centralidade que derivam das análises topológicas da rede.

Em geral, as medidas de centralidades são definidas como quantitativos absolutos que fornecem uma descrição objetiva da importância dos nós,

individualmente na rede. Diversas são as medidas existentes sendo que cada uma delas aborda uma necessidade específica. Neste estudo objetiva-se, para as Regiões Urbanas Homogêneas do município de Poços de Caldas, calcular três dessas medidas de centralidade, sendo elas a centralidade de grau (*degree centrality*), a centralidade de proximidade (*closeness centrality*) e a centralidade de intermediação (*Betweenness centrality*) respectivamente.

O intuito final desse estudo está na análise integrada entre o sistema de transportes e o sistema de uso do solo de um município considerando apenas a estrutura topológica das linhas de ônibus existentes na cidade. Neste primeiro momento não serão considerados dados operacionais destas linhas como tarifa, frequência de viagens, demanda, dentre outros, apenas serão levados em consideração os desenhos das linhas de ônibus e atributos como distância percorrida, sequência de links acessados pelas linhas de ônibus e como se dá a conexão entre regiões urbanas homogêneas mediante utilização desta infraestrutura de transportes existente.

Os resultados obtidos indicam que além dos fatores que influenciam no deslocamento das pessoas no espaço urbano poderem ser sistematizados em modelos de planejamento de transportes, as medidas de centralidade também devem ser consideradas pois elas possibilitam fazer uma leitura pura e imparcial de como as conexões entre unidades espaciais têm acontecido a partir de um determinado desenho de rede. Esses resultados são capazes de auxiliar no diagnóstico da mobilidade e na avaliação de intervenções de transportes.

Abordagens tradicionais de modelagem do sistema de transportes, sejam elas baseadas em demanda ou atividades, embora largamente utilizadas na prática, possuem uma característica estática que desconsidera as alterações sofridas pelo uso do solo em função das condições de transporte, e por isso têm sofrido muitas críticas.

Em contrapartida aos modelos tradicionais, novas estruturas de modelos de planejamento que integram os sistemas de transportes, localização de atividades e uso do solo foram e vêm sendo desenvolvidos, com objetivo de prever os padrões de desenvolvimento destes sistemas e como eles se relacionam. Em modelos tradicionais, o uso do solo é definido de forma exógena a partir da localização de atividades as quais definem os fluxos, deslocamentos e demanda por transportes, já nas abordagens do modelo integrado, o uso do solo também é modelado

endogenamente, sendo afetado pela política de transportes e também a afetando, numa interação em ciclos até que se chegue em um equilíbrio.

Dito isso, deve-se considerar, portanto, que uma modificação na rede de transportes é capaz de alterar também as unidades espaciais, dada sua função no território, podendo otimizá-las ou torná-las desequilibradas e as medidas de centralidade podem auxiliar durante a fase de planejamento, sobretudo inicialmente na projeção do desenho das linhas de ônibus, a compor um planejamento integrado que desenvolva as unidades espaciais e favoreçam a acessibilidade em todas as regiões da cidade, concebendo assim cidades de tamanha qualidade e a uma escala tão adequada que as pessoas não precisem ter um automóvel ou não sintam falta de sua utilização.

Por fim, como indicação de continuidade deste estudo, destaca-se o cálculo de um indicador de grupo que concentre todas as medidas isoladas de centralidade (grau, proximidade e intermediação) aplicadas às unidades espaciais de forma a “quantificar” a associação de um nó perante a rede a um valor de centralidade. Em outras palavras, além de mensurar a importância dos nós por meio de medidas individuais derivadas das características topológicas da rede, é importante captar o quanto um vértice tem um papel central em relação ao grafo inteiro através de seu índice de grupo, sendo esta, também uma informação importante para o processo de planejamento de transportes pois permite que o planejador faça modificações no grafo existente para melhorar os serviços e desenvolver a ideia de centralidade desejada para a cidade e suas unidades espaciais.

1.1 Contextualização e objetivo geral do trabalho

A análise comparativa dos modelos de expansão urbana, pouco têm contribuído para a análise geral de uma rede complexa. É preciso avaliar o conjunto da forma e reconhecer os diferentes modelos de desenvolvimento do uso do solo dentro de uma rede de transportes equilibrada. Nesse sentido, os fluxos de viagens indicam, mais que o grau de produção e atração, a natureza das relações conformadas entre unidades espaciais.

Deve-se considerar, portanto, que uma modificação na rede de transportes é capaz de alterar também as unidades espaciais, dada sua função no território, podendo otimizá-las ou torná-las ineficientes dado o padrão de uso do solo existente.

Posto isto, a proposta deste trabalho consiste na obtenção de medidas de centralidade das unidades espaciais do município de Poços de Caldas a partir de atributos e características topológicas da rede de transporte por ônibus e identificar, a partir dos resultados, como a rede de transporte pode interferir no padrão de deslocamento das pessoas no espaço urbano e, conseqüentemente, agir na conformação de centralidades.

1.2 Delimitação do tema e objetivos específicos

De forma específica, objetiva-se com este trabalho:

- i. Obter medidas de centralidade das Regiões Urbanas Homogêneas do município de Poços de Caldas;
- ii. Analisar os resultados da etapa anterior a partir de características da rede de transporte público por ônibus e do uso do solo;

1.3 Justificativa e relevância

A justificativa para realização desta pesquisa, se dá devido à possibilidade de se fazer uma leitura pura e imparcial dos impactos que as características topológicas da rede de transportes são capazes de causar nas unidades espaciais podendo ser uma estratégia eficaz no processo de planejamento do sistema de transportes, sobretudo na etapa de desenho de rede e definição de itinerários. A partir dos resultados obtidos

é possível comparar diversas redes e entender, estrategicamente, qual delas deverá ser adotada.

1.4 Estrutura do trabalho

Para tal, o presente trabalho está dividido em seis principais seções, sendo elas a introdução o referencial teórico, a metodologia utilizada para obter medidas de centralidade, os resultados obtidos, a conclusão do estudo com indicações de trabalhos futuros, e por fim, as referências utilizadas para embasamento teórico do tema apresentado. Cada uma destas seções possui subseções que delimitam especificamente o tema a ser tratado em cada uma delas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção tem por objetivo fornecer o embasamento teórico necessário para entender como o planejamento integrado de transportes pode ser utilizado para repensar uma rede de transporte coletivo equilibrada, que garanta além de uma acessibilidade adequada das pessoas ao espaço urbano, a conformação de novas centralidades pensadas não apenas sob a ótica do ambiente construído e de seus equipamentos mas também sob o enfoque da rede de transportes.

Para tal, esta seção está dividida em oito subseções que tratarão, respectivamente, da expansão da área urbanizada, do desenvolvimento espraiado e compacto da mancha urbana, da relação entre transporte e o uso do solo bem como dos fatores que influenciam o padrão de viagem, das características da rede de transporte, da definição e medidas de centralidade e por fim da sistematização destes fatores em modelos de planejamento.

2.1 Expansão da área urbanizada

Segundo Rykwert (2006 *apud* Pescatori, 2015) a limitação da cidade em termos populacionais e territoriais originou-se no início do processo de urbanização e é representada, no planejamento urbano do século XXI, por intermédio da figura do

“perímetro urbano” que em seu escopo, delimita geográfica e tributariamente as áreas urbanas, separando-as das rurais.

Por outro lado, Cavararo (2017) afirma que embora exista no Brasil o Decreto Lei n. 311, de 02.03.1938 que dispõe sobre a divisão territorial do país e trata sobre a delimitação das zonas rurais e urbanas, o dinamismo inerente às mudanças sociais e econômicas traz modificações à configuração espacial difíceis de serem acompanhadas pela legislação, que permanece estática ao longo do tempo.

Ainda que seja complexa a determinação eficaz dos limites urbanísticos em termos territoriais, Paulo (2010) afirma que uma intensa urbanização, advinda da mudança da economia agrícola para a industrial, foi observada no Brasil em meados dos séculos XIX e XX. Este fluxo migratório rural-urbano, fenômeno no qual os trabalhadores começaram a migrar para as áreas urbanas em busca de melhores empregos e condições de vida foi responsável por 53% do crescimento urbano observado no país entre o período de 1950 a 1980, considerado como o período auge do crescimento da população urbana no Brasil. Além do fluxo migratório, as altas taxas de fecundidade observadas neste período também foram essenciais para o crescimento demográfico da população urbana no país (Carvalho *et al*, 1994 *apud* Brito *et al*, 2001).

De acordo com Banister (2018) as rápidas mudanças na estrutura econômica e a crescente urbanização, trazem como uma de suas consequências transformações na mobilidade urbana, isto porque durante o período em que a maior concentração populacional se dava em áreas rurais, as atividades eram realizadas localmente dentro das aldeias ou na cidade local, porém, com o advento da revolução industrial e com a migração populacional para a área urbana, as distâncias percorridas pela população para realizarem estas mesmas atividades, tornaram-se maiores e continuam crescendo progressivamente.

Banister (2018) afirma ainda que, este aumento da distância percorrida, observado na transição econômica da agricultura para a economia industrial, coincidentemente foi observado na passagem para uma economia baseada em serviços e, mais recentemente, para uma sociedade baseada em tecnologia. Este fato está intimamente relacionado com o aumento do conjunto de modos de transporte disponíveis desde 1800, quando o transporte a pé ou a cavalo proporcionavam as únicas opções, até os dias atuais cuja modernização dos modos de transporte e o

surgimento de novas tecnologias possibilitaram o aumento nas velocidades de viagem, que no século XIX se restringiam a 5 km/h (caminhada) e 10 km/h (cavalo).

2.2 Desenvolvimento ilimitado da mancha urbana

Como afirma Banister (2010) a distância percorrida parece ter aumentado ao longo do tempo, isso porque o aumento de velocidade proporcionado por novas tecnologias de transporte, permitiu vencer distâncias cada vez maiores, dado um orçamento fixo de tempo de viagem. Esse desejo insustentável de percorrer distâncias cada vez maiores traz como consequência a independência da proximidade física a certas interações, como por exemplo as relacionadas ao trabalho, estimulando assim a dispersão de atividades no espaço urbano.

De acordo com Cervero (2001), em uma distância fixa, há uma correspondência de um para um entre as mudanças nos tempos médios de viagem e nas velocidades médias, portanto, o aumento na velocidade observado neste período trouxe consigo a oportunidade de compensação dos custos generalizados das viagens, expressos em termos de distância percorrida e tempo de viagem.

Pescatori (2015) expõe que, juntamente com o aumento da velocidade de viagem, a insaciável sede do mercado imobiliário por novas (e mais baratas) áreas de ocupação também se constitui como uma premissa à dispersão urbana pós industrialização. O preço estipulado pelo mercado para uma parcela de terra urbana é influenciado por diversas características físicas do terreno, mas sobretudo por sua localização no espaço urbano como um todo, como afirma (Nascimento *et al*, 2011). Observa-se, portanto, que nesta fase, as compensações entre o preço da terra em regiões periféricas e os custos de transporte, favorecidos com o aumento das velocidades de viagem, regem o modelo de desenvolvimento territorial urbano.

Essa dispersão de atividades observada durante a pós industrialização constitui-se como uma das características do fenômeno de espraiamento urbano, definido por Brunner (2017 *apud* Martins *et al* 2018) como “expansão além dos limites urbanos”. Uma das características do espraiamento urbano, como afirma Nadalin *et al* (2015) é a periferização da população devido ao desenvolvimento, residencial ou não, de baixa densidade que ocorre em direção às áreas periféricas de forma ilimitada apoiado em um amplo sistema de infraestrutura viária que permite que as pessoas, mesmo

distantes, se deslocem até os centros urbanos para realizarem suas atividades (Monclús, 1998; Reis Filho, 2006; Sposito, 2007 *apud* Pescatori, 2015).

Embora a periferização possa atingir às classes de alta renda, atraídas por promessas de maior segurança, em geral, a maior parte deste movimento cabe à população de baixa renda, como afirma Nadalin *et al* (2015) tornando-se assim um problema relevante pois como os moradores das zonas geograficamente periféricas tendem a dispendar maior tempo em seus deslocamentos pendulares (casa-trabalho) e a ter menos acesso à infraestrutura urbana a desigualdade socio-espacial surge como uma realidade para este grupo de pessoas.

Considerando os dois princípios fundamentais acerca da realização de viagens, definidos por Banister (2007), o primeiro de que a viagem é uma demanda derivada, ocasionada apenas pela utilidade ofertada no destino e o segundo de que as pessoas almejam minimizar seus custos de viagem mediante uma combinação do dispêndio monetário e do tempo imposto para sua realização, deve-se considerar que o desenvolvimento urbano disperso aliado à facilidades de acesso ao automóvel e a investimentos em infraestruturas rodoviárias trouxeram ao transporte público uma posição de desvantagem, tornando-o cada vez menos atraente.

A medida que o transporte público torna-se menos atraente é possível observar uma redução na demanda e, conseqüentemente na receita, são necessários mais veículos para prestar o mesmo serviço e os custos aumentam e são refletidos na tarifa prejudicando, mais uma vez, a população de baixa renda considerada como usuários cativos do transporte público e desestimulando usuários potenciais, ou seja, aqueles que podem transferir-se para o transporte particular o fazem, aumentando assim o congestionamento e alimentando o ciclo vicioso (ANTP, 1997)

2.3 O desenvolvimento compacto como uma (velha) nova vertente de expansão urbana

De acordo com Bruegmann (2011 *apud* Pescatori 2015), após os anos 1990, houve um período de forte campanha contra a dispersão urbana, seguido de uma ampla bibliografia crítica dessa forma de desenvolvimento motivada pelos argumentos de que o espraiamento traz elevados custos econômicos e ambientais além de crescimentos urbano e de uso do automóvel ilimitados.

Nesse contexto, em contrapartida ao modelo espraído de desenvolvimento urbano, a resposta desenvolvida pelos críticos relaciona-se ao retorno das formas mais compactas de urbanização, resgatando as formas “tradicionais” da cidade pré-industrial sob a bandeira futurista do desenvolvimento de “cidades compactas” (Pescatori, 2015).

Ainda de acordo com Pescatori (2015) “Cidade compacta” não constitui um conceito em si, mas sim um agrupamento de diretrizes urbanísticas, que buscam de acordo com Newman *et al* (2008) promover o desenvolvimento de unidades territoriais conectadas entre si por sistemas de transportes públicos eficazes, com formas urbanas compactas que minimizem o uso do solo e maximizem o espaço verde, com desenvolvimento urbano policêntrico, centros transitáveis e voltados ao transporte ativo e público coletivo e com altas densidades de forma a permitir a proximidade entre as localidades garantindo a acessibilidade das pessoas à todas as áreas da cidade. Essa modalidade de desenvolvimento urbano contrasta com a expansão urbana orientada a automóveis, característica do espraçamento.

O desenvolvimento urbano sustentável, concentrar-se-á na cidade, visto que é nesse espaço que a maioria das pessoas e das atividades econômicas se concentram e tendem a permanecer (Banister *et al*, 2006). Ainda segundo Banister *et al* (2006), a principal diferença entre uma cidade compacta e uma cidade espraída é a condição favorável de fornecimento de transporte público, caminhada e ciclismo, enquanto a cidade mais dispersa está inclinada ao modo de transporte individual.

De acordo com Brunner (2017) em geral a densidade populacional de uma cidade diminui à medida que a distância do centro da cidade aumenta o que torna autêntica a afirmação de que densidades mais altas estão fortemente relacionadas a menores distâncias de viagem e, conseqüentemente, ao uso crescente de modos alternativos ao automóvel.

Nesse sentido, em termos de sustentabilidade, a cidade compacta tem mais a oferecer, trazendo melhores condições de utilização do transporte público e mostrando-se acessível à todas as pessoas, inclusive àquelas que não possuem carro. Tais formas urbanas manteriam a duração média das viagens compatíveis com a utilização de modos de transporte ativo e permitiriam igualmente níveis elevados de serviços inovadores e de prioridade para o transporte público. Dessa forma, as cidades podem ser concebidas à escala pessoal permitindo uma acessibilidade de elevada qualidade.

Banister *et al* (2006) afirmam ainda que, concomitantemente ao debate sobre a compactidade das cidades e o padrão de viagens está a premissa de que densidades mais elevadas são capazes de aproveitar melhor o recurso, muitas vezes escasso, da terra disponível proporcionando assim uma redução nas distâncias de viagem e um aumento na intensidade e diversidade das atividades ofertadas.

Por esta razão, o Novo Urbanismo surge como uma proposta de planejamento urbano cujo sistema de transporte público incorpore melhorias no uso do solo, tornando-o menos dependente do automóvel. No cerne dessa abordagem do planejamento está um processo de reconexão entre o transporte e o uso do solo e o imperativo político de ultrapassar os aspectos negativos da dependência do automóvel (Newman *et al*, 1996).

A intenção, nesse caso, como afirma Banister (2007) não é proibir o uso do automóvel, uma vez que esta atitude vai de encontro às noções de liberdade de escolha. A intenção é conceber cidades de tamanha qualidade e a uma escala tão adequada que as pessoas não precisem ter um automóvel ou não sintam falta de sua utilização.

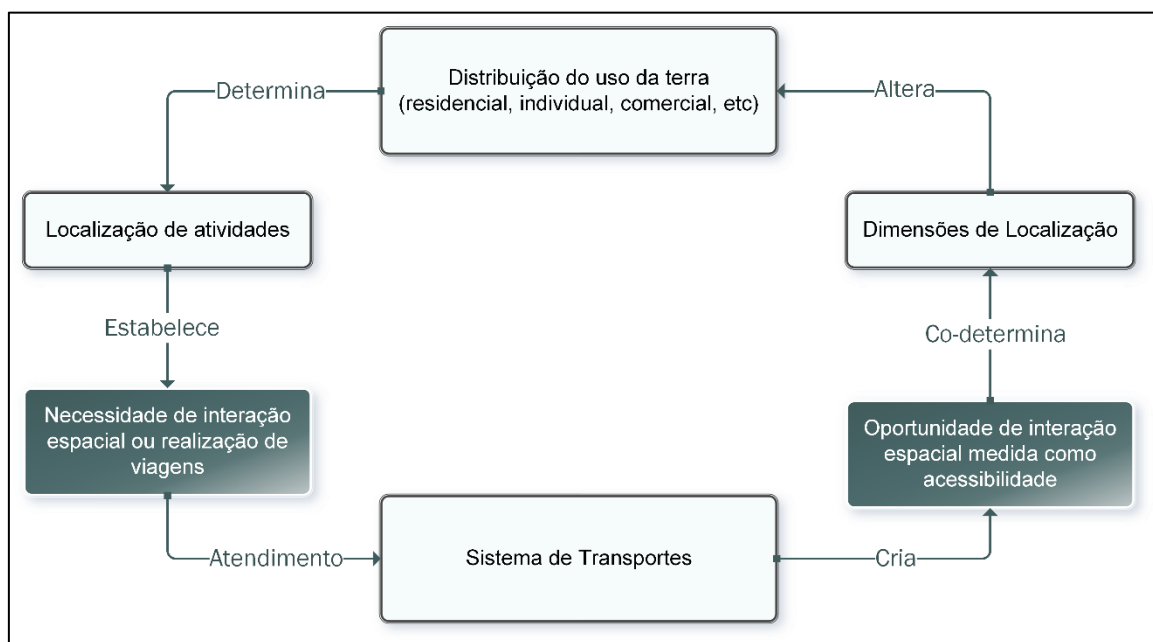
2.4 Relação entre transporte e uso do solo

Os primeiros estudos acerca da inter-relação entre o sistema de transportes e o sistema de uso do solo no desenvolvimento das cidades surgiram na década de 1950 nos EUA (Dieleman *et al*, 2004). Hansen (1959) em seu estudo denominado “*How accessibility shapes land use*” foi um dos primeiros autores a enunciar que locais com boa acessibilidade e maiores densidades tinham maiores chances de desenvolvimento, em comparação com locais remotos. Desde então, a interação entre estes dois sistemas e o reconhecimento de que o transporte é parte essencial das cidades capaz de propiciar um ambiente sustentável e justo, tem sido amplamente reconhecida e estudada

A compreensão da natureza do vínculo existente entre transporte e uso do solo perpassa por diversas proposições conceituais. Wegener (2004) trouxe em um de seus trabalhos uma importante contribuição para a compreensão desta relação. Utilizando uma estrutura simples e refinada, o autor conceitua esse complexo elo bidirecional entre os sistemas de transportes e uso do solo por meio do modelo denominado por ele de “*land-use transport feedback cycle*”.

De acordo com Wegener (2004) o reconhecimento de que as decisões de viagem e localização co-determinam-se e que, diante disso, o planejamento de transportes e do uso do solo precisavam ser coordenados, rapidamente se alastrou. O conjunto de relações entre estes dois sistemas pode ser observado na Figura 1 que apresenta um esquema adaptado de “*land-use transport feedback cycle*” publicado por Wegener (2004).

Figura 1 – Ciclo dinâmico bidirecional entre o sistema de uso do solo e o sistema de transportes



Fonte: Adaptado de Wegener (2004)

Conforme apresentado na Figura 1, a distribuição do uso da terra está diretamente ligada à localização de atividades e ao sistema de transportes, consequentemente. Essa relação indica que, independentemente da forma de desenvolvimento da expansão urbana, seja ela compacta ou espraiada, consequências são observadas na oferta de transportes, seja potencializando o uso do transporte individual num contexto de cidade espraiada ou desenvolvendo o uso do transporte público coletivo ou ativo, nas cidades compactas.

De acordo com Wegener (2004), este ciclo pode ser entendido da seguinte forma:

- i. A organização de uso do solo como residencial, comercial, dentre outras, determinam a localização de atividades a serem desempenhadas

cotidianamente pelos indivíduos no espaço urbano, como trabalhar, fazer compras ou estudar.

- ii. Esta distribuição de atividades, citadas na etapa anterior, estabelece a necessidade de interações espaciais visto que estas atividades não necessariamente ocorrerão todas no mesmo local. Esta interação, portanto, será realizada mediante as viagens no espaço, que podem ser viabilizadas pelo sistema de transportes (capaz de transpor a distância entre os locais de origem e destino).
- iii. Esta capacidade do sistema de transportes de criar oportunidades de interações espaciais podem ser medidas pela acessibilidade, entendida de acordo com Jones (1981) como “a oportunidade ou o potencial disponibilizado pelo sistema de transportes e uso do solo, para que diferentes tipos de pessoas desenvolvam suas atividades”.
- iv. Por fim, esta distribuição de acessibilidade no espaço co-determina as decisões de localização resultando assim em novas alterações do sistema de uso do solo.

Dessa forma, o ciclo bidirecional e dinâmico existente entre o sistema de uso do solo e o sistema de transportes, apresentado por Wegener (2004) é completado.

2.5 Fatores que influenciam o padrão de viagem

Mediante o entendimento da relação entre o ambiente construído e os padrões de deslocamento é possível notar que o espaço se comporta de maneira ambivalente, conforme enunciado por Geaquinto (2018), pois ao mesmo tempo em que se comporta como território e possibilita que as atividades humanas aconteçam, se comporta como conexão entre as vizinhanças, sob a ótica da rede de transportes.

Além da forma urbana, existem outros fatores que influenciam o padrão de deslocamento das pessoas. De acordo com Geaquinto (2018) a literatura, usualmente, tende a apresentar estudos associados ao desempenho técnico e financeiro do sistema de transportes como fatores que interferem no padrão de deslocamento sendo raras as investigações dos impactos sociais causados no sistema de transportes influenciados por processos sociológicos e antropológicos, ou

ainda por avaliações intersetoriais deste sistema envolvendo outras questões além das monetárias e ambientais frequentemente tratadas.

Diante disso, essa seção tem por objetivo apresentar alguns dos fatores expostos por Geaquinto (2018) que têm influência sobre os padrões de deslocamento, sendo eles: institucionais, individuais e sociodemográficos, ambiente construído e relacionais.

2.5.1 Fatores institucionais

O ambiente institucional, se torna um fator regularmente predominante na execução de políticas públicas e intervenções diretas no sistema de transportes, uma vez que existe multiplicidade, complexidade e, por vezes sobreposição ou embate nos objetivos do planejamento deste sistema (Geaquinto, 2018).

Ainda segundo Geaquinto (2018), um planejamento demasiadamente permissivo, por exemplo, é capaz de contribuir para uma fragmentação espacial e setorial de aglomerações produtivas, favorecendo a concentração do mercado em determinados locais que sejam oportunos e conseqüentemente, aumentando a segregação socioespacial.

De acordo com Nielsen *et al* (2006) o ponto chave para o sucesso do transporte público na concorrência com o automóvel consiste em um planejamento e desenvolvimento de uma rede de qualidade, integrada e de alta frequência, formando assim uma infraestrutura de transporte público fixa e estável o suficiente para formar a espinha dorsal do ordenamento e desenvolvimento do território urbano. Estas características, bem como as dimensões de continuidade e consistência do planejamento são determinadas, na construção histórica da rede de transportes e da estrutura espacial (Bertolini, 2008; Calthorpe, 1993 *apud* Geaquinto, 2018; Lin *et al*, 2015; Orrico Filho, 2013). Neste cenário, um formato de regulação menos controlado traria prejuízos a estes padrões de qualidade da rede de transportes. Diante disso, o ambiente institucional, disposto nos últimos estágios do processo decisório do planejamento, é um fator de peso na definição ou modificação dos padrões de viagem

Portanto, é recomendado que haja um sistema de planejamento efetivo que coordene o desenvolvimento econômico e a acomodação de populações crescentes, evitando os efeitos negativos de mudanças não coordenadas (An *et al*, 2014; Sinclair-Smith *et al*, 2012; Sinclair-Smith, 2015; Wu, 1998). Para isso, na busca de uma mobilidade sustentável, podem ser aplicadas ações diretas como por exemplo o

gerenciamento de demanda, que limitam a circulação do automóvel, ou indiretas como por exemplo o estímulo de desenvolvimento do uso do solo, uso melhorado da tecnologia, dentre outras (Banister, 2007).

2.5.2 Fatores individuais e sociodemográficos

Além dos fatores institucionais, características individuais e domiciliares também exercem influência sobre o padrão de deslocamento das pessoas na estrutura espacial. De acordo com Hanson (1982) a maioria dos tipos de padrões de viagens são alterados mais significativamente por fatores sociodemográficos como gênero, idade, renda, escolaridade e fatores individuais relacionados a atitudes e preferências, do que pelos padrões espaciais urbanos. De acordo com Lin *et al* (2015) o fato destes aspectos estarem diretamente ligados aos tomadores de decisão e refletirem sua essência no processo de realização das viagens, a capacidade explicativa em termos de mecanismos de causalidade, é maior neste grupo de fatores do que nos demais.

Para Lin *et al* (2015) o rendimento familiar está intimamente associado ao *trade-off* existente entre local de habitação e os custos generalizados do transporte e por isso essa variável afeta, diretamente, o tempo de deslocamento individual. Nesse contexto, famílias com maior rendimento têm maior capacidade de selecionar seu local de habitação em função de um menor tempo de viagem, opção da qual não participam as famílias de baixa renda, às quais são impostas condições de periferização devido ao preço da terra ser menor nestas áreas.

Ainda sobre a relação entre o rendimento e os padrões de deslocamento, Schwanen (2002) em seu estudo corrobora a relação positiva entre o rendimento e as distâncias percorridas nos deslocamentos pendulares realizados por automóveis particulares, ou seja, quanto maior o rendimento individual maior é a distância percorrida nos deslocamentos pendulares utilizando automóveis, uma possível explicação é que aqueles indivíduos pertencentes à categorias de renda mais altas, normalmente têm empregos mais especializados que muitas vezes não estão perto de suas casas. Esta relação, portanto, não se consolida nas viagens realizadas de transporte público sendo, normalmente, inversa para este tipo de transporte. Dessa forma, é possível observar que independentemente do estrato de renda do qual o indivíduo faz parte, seu padrão de deslocamento tende a alterar-se em função de seu rendimento.

Quanto à influência da idade no padrão de deslocamento, Levinson (1998) descobriu uma associação não linear entre essa variável e o tempo de deslocamento e que os tempos de viagem de trabalhadores de meia idade, durante os deslocamentos pendulares, são mais longos do que dos viajantes mais jovens e mais velhos.

Observa-se também, alteração nos tempos de viagem de acordo com o nível de escolaridade dos indivíduos. Como afirma Lin *et al* (2015), a correlação entre esta variável e a distância percorrida é considerável. A educação é um fator determinante dos salários, do tipo de emprego e por conseguinte da duração das viagens pendulares, Turner *et al* (1997) aponta que os níveis de ensino superior implicam em salários mais elevados e, conseqüentemente, trajetórias pendulares mais longas.

O gênero e, conseqüentemente às responsabilidades que cada um socialmente desempenha na organização familiar, também influenciam no comportamento pendular das viagens relacionadas ao trabalho (Lin *et al* 2015). Estudos sugerem que as mulheres tem uma distância e uma duração no deslocamento pendular mais curtas que os homens, de acordo com Gordon *et al* (1989), estas diferenças são, por vezes, denominadas “restrições patriarcais” cujo argumento é de que deveres tais como tarefas domésticas, necessidade de cuidar dos filhos e acesso limitado à automóveis fazem com que as mulheres tenham restrições de renda e ocupacionais, baixa remuneração e portanto, despesas de deslocamento restringidas. Além disso, Lin *et al* (2015) afirma que as mulheres com filhos viajam não só consideravelmente menos do que os homens, mas também substancialmente menos, do que as mulheres que não possuem filhos, indicando que, ter um filho também é um fator de impacto no padrão de deslocamento, sobretudo das mulheres.

Além dos fatores sociodemográficos apresentados, Lin *et al* (2015) reitera que as preferências e atitudes no nível individual e sociodemográfico também devem ser consideradas pois estas variáveis expressam os motivos pelos quais os indivíduos apresentam determinados comportamentos e conseqüentemente podem afetar a aceitação das políticas públicas e a efetividade dos fatores institucionais.

2.5.3 Fatores do ambiente construído

A caracterização do espaço urbano e suas dimensões, definidas por Ewing *et al* (2010) como “cinco D’s” influência não só a escolha de locação de unidades

habitacionais e postos de emprego, como afirma Geaquinto (2018), mas também os deslocamentos e os padrões de viagem dos indivíduos.

A primeira dimensão tratada por Ewing *et al* (2010) que exerce influência direta no padrão de viagem dos indivíduos é a da densidade. Essa é uma dimensão medida por unidade de área, que neste caso pode ser bruta ou líquida. Os atributos comumente usados são: densidade populacional, densidade de unidades de habitação e densidade de empregos (Zhang *et al* 2014).

De acordo com Banister (2007), densidades elevadas são vistas como pré requisitos para a provisão de cidades sustentáveis, e uma das consequências mais importantes dessa densificação é a geração de uma base de sustentação para que o transporte público torne-se mais eficiente por meio de uma rede qualificada, com maior capacidade e uma cobertura adequada do território mediante uma rede estruturada e equitativa e que garanta a integração com outros modos, como afirma Mello *et al* (2017).

Além da alta densidade, a forma urbana mais compacta também tem uma grande relevância na modificação dos padrões de viagem pois além de potencializar a geração de viagens de transporte coletivo, está relacionada com deslocamentos mais limpos por intermédio da maior utilização de transportes ativos, desestimulando a expansão urbana espraiada aludida pelo uso de automóveis. Como afirma Cervero *et al* (1997), ao aproximar origens e destinos, surgem muito mais oportunidades para deixar o carro em casa e andar a pé ou de bicicleta até um destino.

A segunda dimensão do ambiente construído definida por Ewing *et al* (2010) que influencia significativamente os padrões de viagem é a diversidade, também entendida como o uso misto do solo. A medida de diversidade, diz respeito ao número de diferentes utilizações do solo numa determinada área e ao grau em que estão representadas (Ewing *et al* 2010). Medidas de diversidade baixas indicam ambientes de uso único, enquanto valores mais altos indicam uma maior variedade de uso do solo e são amplamente utilizados em estudos de viagem para identificação do impacto do uso misto do solo. Para o cálculo da diversidade, as razões emprego/habitação ou emprego/população são frequentemente utilizadas (Zhang *et al* 2014).

Frank *et al* (1994) revelaram que tanto as distâncias quanto os tempos de viagem dos trabalhadores em áreas equilibradas são inferiores à das zonas desequilibradas. Burby *et al* (1976 *apud* Cervero 1989) define como equilibradas, áreas autocontidas e

autossuficientes dentro das quais as pessoas vivem, trabalham, se divertem e realizam suas compras, característica intrínseca do uso misto do solo.

A terceira dimensão definida por Ewing *et al* (2010) que está intimamente ligada aos padrões de viagem é o design do ambiente construído, esta dimensão está relacionada com as características viárias da área analisada que podem, por exemplo, serem classificadas como densas ou esparsas, com ruas retas ou curvas e com boa ou má interconexão entre as vias.

Como atributos desta variável, Zhang *et al* (2014) apresentam: tamanho médio das quadras, proporção de interseções de quatro vias, número de interseções por km², densidade de ciclovias, largura média das vias e o número de faixas de travessia de pedestres. O design também é frequentemente medido pela cobertura de calçadas, árvores ou outras variáveis físicas que diferenciam os ambientes voltados para pedestres ou para veículos.

A acessibilidade ao destino, tradução da terminologia utilizada em inglês como “*Destination Accessibility*”, constitui-se como o quarto “D” de Ewing *et al* (2010) e tem por objetivo medir a facilidade de acesso às atrações de viagem e aos sistemas de transporte. Essa dimensão, de acordo com Handy (1993) pode ser dividida em acessibilidade local e regional. Enquanto a primeira está relacionada com viagens locais curtas e relativamente frequentes, como às destinadas a supermercados e drogarias, onde a distância impacta significativamente na escolha do destino, a segunda está ligada a viagens destinadas a centros de varejo tais como shoppings ou áreas comerciais centrais, sendo estas mais longas e menos frequentes, onde a distância é menos preocupante na escolha do destino.

Hansen (1959) afirma que em geral, a acessibilidade é definida como uma medida de distribuição espacial das atividades em torno de um ponto e se ajusta de acordo com a capacidade e com o desejo das pessoas de superar a separação espacial existente entre o ponto de origem e o de destino. A mensuração da acessibilidade em um determinado ponto de origem, pode ser feita, por exemplo, pela distância deste ponto até o centro comercial ou ao polo de empregos ou mesmo pela quantidade de outras atrações alcançáveis dentro de um determinado tempo de viagem, que tendem a ser maiores em locais centrais e menores em locais periféricos (Zhang *et al* 2014).

Por fim, a distância até o trânsito, determinada por Ewing *et al* (2010) como a quinta e última dimensão do ambiente construído que influencia o padrão de viagem

dos indivíduos, pode ser mensurada pela média dos itinerários mais curtos a partir de residências ou locais de trabalho numa área, até uma estação de transporte coletivo mais próxima. Esta variável pode ser mensurada por meio da distância das residências ou locais de trabalho até a estação ferroviária ou ponto de parada de ônibus mais próximo, da densidade da rota de trânsito, da distância entre estações, do número de estações por unidade de área ou pela taxa de cobertura do serviço de ônibus (Zhang *et al* 2014).

Dessa forma, o ambiente construído tem a capacidade de promover condições coletivas de vida nas cidades por meio de suas múltiplas dimensões, apresentando-se como um conjunto de equipamentos coletivos e serviços urbanos que sustentam o espaço social e a cidade influenciando, inclusive, o padrão de viagem das pessoas (Ribeiro *et al* 2013).

2.5.4 Fatores relacionais e a Acessibilidade

Os fatores relacionais, ou seja, determinados a partir de relações entre mais de uma referência espacial, também exercem influência sobre o padrão de deslocamento. Dado que as relações socioeconômicas, especificamente as empresariais, não se limitam a conexões locais, vínculos externos podem ser também fortes independente da proximidade física (Vale 2007 *apud* Geaquinto 2018).

Nesse contexto, a acessibilidade, é definida por Hansen (1959) como o potencial de oportunidades de interação e por Geaquinto (2018), como um meio de articulação entre os lugares proporcionada não apenas pelo sistema de transportes, mas também pelo espaço urbano onde os indivíduos desenvolvem suas atividades. Jones (1981 *apud* Junior 2000) define acessibilidade a partir de sua relação direta com a oportunidade que um indivíduo, em um dado local, possui de realizar uma determinada atividade ou uma série delas, de acordo com seu interesse.

Todos os conceitos e medidas de acessibilidade, seja na escala macro, meso ou micro, estão relacionados com o potencial de movimento dos indivíduos e uma das propriedades da acessibilidade como atributo da essência relacional do transporte é sua capacidade de provocar efeitos distributivos e de se tornar desigual para diferentes segmentos espaciais, temporais e sociodemográficos. Diante disso, Jones *et al*, (2012) salientam que a disponibilidade da acessibilidade se torna importante

para o alcance de objetivos ligados à justiça social, como por exemplo a diminuição da exclusão socioespacial ou a distribuição igualitária do bem-estar urbano.

Nesse sentido, a acessibilidade urbana torna-se significativa para o planejamento urbano, regional e de transporte ao considerar que em um contexto socioeconômico urbano maior, o nível de acessibilidade gerado pela interação uso do solo/transporte não apenas afeta o acesso físico de pessoas às facilidades urbanas, e consequentemente, a qualidade de vida da população, mas também outros efeitos indiretos dentre os quais pode-se citar o mais importante deles: a viabilização do funcionamento da cidade pela facilitação de contatos e da aproximação de atividades que, por si só, tornam a provisão da acessibilidade um objetivo fundamental no processo de planejamento e desenvolvimento urbano (Junior 2000).

2.6 Características da rede

Além dos fatores apresentados na seção 2.5, a própria rede de transporte deve ser considerada na análise dos comportamentos de viagem dos indivíduos dada a premissa de que a relação entre os comportamentos de viagem dos utilizadores e a rede de transportes é indissociável e mudanças realizadas nessa estrutura alteram por consequência os padrões de comportamento deles (Silva 2009).

Entende-se por rede, um conjunto de vértices (nós) ligados por um conjunto de arestas (*links*) modelados pela teoria dos grafos, que tem sido amplamente aplicada em diversos campos da engenharia, incluindo a engenharia de transportes como forma de análise dos sistemas de transporte público (Hong *et al* 2019). Portanto, as redes de transporte público, de acordo com da Silva (2009) podem ser traduzidas por esta teoria como um conjunto de nós e arcos que representam a estrutura espacial da rede sobre a qual ocorrem os movimentos de pessoas e bens.

A melhor representação de uma rede pode ser feita por sua matriz adjacências (A_{ij}) que pode ser construída a partir da seguinte premissa:

$$A_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se houver conexão} \\ 0, & \text{se não houver conexão} \end{cases}$$

Dois pontos a serem observados sobre a matriz adjacência de uma rede para este estudo são que, primeiro os elementos da matriz diagonal serão nulos visto que,

neste caso não serão considerados caminhos que liguem um nó a ele mesmo, e o segundo que esta matriz será simétrica já que se já um caminho que liga i a j então haverá um caminho que liga j a i (Newman, 2018).

A análise de redes complexas na teoria dos grafos, tem sido definida como uma ciência que explica a conexão e interação existente entre os elementos de uma rede, podendo ser aplicada à estrutura de rede e suas propriedades no transporte urbano (Hong *et al* 2019).

Um dos elementos críticos para a compreensão de redes complexas, consiste na rede de medidas topológicas, que derivam da teoria dos grafos. A topologia de uma rede, como afirma da Silva (2009) é definida por sua estrutura e conectividade, consiste na disposição física ou interligação de seus elementos e em casos de problemas de transporte, essas medidas de topologia podem diferenciar-se de acordo com o tipo de transporte que circulará na rede e do tipo de serviço pretendido. Santos *et al* (2014) afirmam que diferentes topologias de rede de transporte coletivo proporcionam também diferentes condições conectivas para estimular o desenvolvimento urbano, enquanto redes radiocêntricas fornecem elementos para que haja uma concentração de pontos de conexões em áreas centrais, composições de arcos possibilitam a reorientação desses pontos para regiões mais periféricas (Geaquinto, 2018).

2.7 Definição e medidas de centralidades

No contexto de redes complexas, um tema significativo é a avaliação da relevância dos nós únicos na estrutura geral e os instrumentos utilizados para identificar essa relevância em uma rede complexa são chamados de medidas de centralidade (Cerqueti *et al* 2019).

Em geral, as medidas de centralidades são definidas como quantitativos absolutos que fornecem uma descrição objetiva da importância dos nós, individualmente na rede. Estas medidas podem ainda ser apresentadas em termos normalizados para que diferentes redes possam ser comparadas de acordo com sua relevância ou medida de centralidade (Cerqueti *et al* 2019).

Freeman (1978) apresenta em seu estudo diversas medidas de centralidade sendo que cada uma delas aborda uma necessidade específica. Para o objetivo deste estudo apenas três medidas de centralidade serão consideradas, sendo elas: o grau,

a proximidade e a interdependência da centralidade, para a identificação de nós centrais no estudo de caso que será apresentado como um problema de redes complexas aplicado ao transporte.

2.7.1 Degree Centrality (grau da centralidade)

Uma das medidas mais simples e direta, no entanto, muito útil, é a chamada medida de grau. O grau de um vértice em uma rede é o número de ligações diretas que ele possui com outros nós. Em muitos casos, vértices com graus mais altos, ou seja, vértices com muitas conexões, também desempenham papéis importantes no funcionamento do sistema e por isso o grau pode ser um guia útil para indicar para quais elementos deve ser direcionada atenção (Newman, 2018).

Em redes não direcionadas o grau é representado por apenas um número, mas em redes direcionadas existem dois graus distintos: o grau de entrada (*in-degree*) que corresponde ao número de conexões que aponta para dentro do vértice analisado e o grau de saída (*out-degree*) que diz respeito ao número de conexões que saem do vértice analisado em direção aos demais (Newman, 2018).

Para este estudo a rede será considerada como não direcionada, havendo, portanto, apenas uma medida de grau para cada vértice. Como afirma Newman (2018), o grau de um vértice pode ser escrito em termos de sua matriz adjacência como:

$$G_i = \sum_{j=1}^N a_{ij} \quad (1)$$

Onde,

G_i = grau do vértice;

N = número de vértices;

a_{ij} = matriz adjacência;

A medida de centralidade de grau calculada na equação (1) representa uma medida absoluta de centralidade cujo limite superior representa nós mais centrais e o limite inferior representa nós isolados e periféricos, no caso do espaço urbano. Caso seja necessário comparar redes de diferentes tamanhos, deve-se usar a medida

relativa de centralidade pois o mesmo valor absoluto de centralidade de grau analisado sob a ótica de redes diferentes pode significar maior ou menor impacto do nó analisado na rede como um todo. Para este estudo, as medidas absolutas serão utilizadas pois não haverá comparação entre redes distintas.

2.7.2 Closeness Centrality (centralidade de proximidade)

Uma medida diferente de centralidade é dada pela centralidade de proximidade que mede a distância média de um vértice a outros vértices. Essa distância pode ser encontrada com o auxílio do conceito de caminho geodésico, também conhecido como caminho mais curto, que representa o menor caminho através de uma rede entre dois vértices, não havendo nenhum outro mais curto que este.

É possível que não haja caminho geodésico entre dois vértices neste caso os vértices não são conectados e considera-se que a distância entre eles é infinita. É possível ainda que haja mais de um caminho mínimo entre dois vértices, neste caso estes caminhos terão igual comprimento e podem até se sobrepor ao longo de parte de seu comprimento. O caminho geodésico mais longo entre dois vértices de um grafo é denominado diâmetro do grafo.

A proximidade, portanto, é uma medida de centralidade que se assemelha muito a uma medida de acessibilidade pois refere-se à distância ou à facilidade de acesso deste nó a todos os outros nós na mesma rede.

Supondo que d_{ij} seja o caminho geodésico entre i e j , significando o número de arestas ao longo do caminho, a distância geodésica média de i a j calculada sobre todos os vértices da j da rede, segundo Newman (2018) é dada por:

$$L_i = \frac{1}{n} \sum_j d_{ij} \quad (2)$$

Segundo Newman (2018), quanto menor for a distância geodésica média entre os dois vértices, maior é a sua influência sobre os demais vértices da rede, ou seja, mais rapidamente as informações que partem deste vértice, chegam a outros vértices na rede. Na maioria dos casos, são excluídas da soma as distâncias na condição $i = j$ visto que a influência que um vértice exerce sobre si mesmo não é normalmente relevante para o funcionamento da rede. A distância do vértice para ele mesmo

também não é considerada, por definição, portanto, essa definição altera a equação (5) com relação ao divisor principal que passa de $1/n$ para $1/(n-1)$

$$L_i = \frac{1}{n-1} \sum_{j \neq i} d_{ij} \quad (3)$$

A distância média calculada nas equações (2) e (3) não é uma medida de centralidade que deve ser analisada como as outras, como afirma Newman (2018) pois essa medida dá valores baixos para vértices mais centrais e valores altos para vértices menos centrais, o que é oposto das demais medidas utilizadas. Portanto, na literatura comumente se calcula o inverso de L_i que é a chamada medida de centralidade de proximidade C_c , neste caso, o limite superior significa nós mais centrais enquanto o limite inferior nós menos centrais em termos de proximidade, como definido pela equação:

$$C_c = \frac{1}{L_i} = \frac{(n-1)}{\sum_{j \neq i} d_{ij}} \quad (4)$$

A centralidade de proximidade, segundo Hong *et al* (2019) descreve a facilidade e rapidez com que um nó pode ser alcançado e é uma medida muito natural de centralidade frequentemente utilizada em estudos sociais e outros estudos em rede, como afirma Newman (2018).

2.7.3 Betweenness centrality (centralidade de intermediação)

Um outro conceito bem diferente de centralidade é a centralidade de intermediação, que mede quantas vezes um vértice se encontra em caminhos geodésicos entre outros vértices (Newman, 2018).

Vértices com alta centralidade de intermediação podem ter influência considerável dentro de uma rede devido ao seu controle sobre a passagem de informação entre outros vértices. Além disso, os vértices com alto valor de centralidade de intermediação são aqueles cuja remoção da rede irá causar mais perturbações entre as comunicações dos outros vértices porque neles se encontram

a maior quantidade de caminhos geodésicos que ligam outros pares de vértices (Newman, 2018).

Desta forma, como afirma Newman (2018) a centralidade de intermediação torna-se um guia aproximado para avaliar a influência que um vértice tem sobre o fluxo de informações entre outros.

Para simplificar o problema a rede apresentada neste estudo será considerada como não direcionada a qual há no máximo um caminho geodésico entre qualquer par de vértices. Considerando o conjunto de todos os caminhos geodésicos desta rede, a centralidade de intermediação de um vértice será definida como sendo o número desses caminhos que passam pelo vértice i (Newman, 2018).

De acordo com Freitas (2010) a centralidade de intermediação de um determinado nó (i) nos caminhos mais curtos que conectam os nós (s) e (t) é definida pela seguinte formulação:

$$C_B = \sum_{st} n_{st}^i \quad (5)$$

Onde,

$$n_{st}^i = \begin{cases} 1, & \text{se o vértice } i \text{ está no caminho geodésico entre } s \text{ e } t \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Desconsiderando a distância do vértice para ele mesmo a equação (5) passa a ser tratada como:

$$C_B = \sum_{s \neq t} n_{st}^i \quad (6)$$

Formalmente, para uma rede, define-se por n_{st}^i o número de caminhos geodésicos de s para t que passam por i . E define-se como g_{st} o número total de caminhos geodésicos que ligam s a t , a partir dessa definição, Newman (2018) apresenta como formulação para a centralidade de intermediação do vértice i como:

$$C_B = \sum_{s \neq t} \frac{n_{st}^i}{g_{st}} \quad (7)$$

No caso deste trabalho, será considerado apenas um caminho geodésico entre dois pares de vértices, logo $g_{st} = 1$.

2.8 Sistematização de fatores em modelos de planejamento

Tanto as variáveis que influenciam o desempenho dos deslocamentos quanto as medidas de centralidade das unidades espaciais em uma rede de transportes podem contribuir sistematicamente, por meio do pensamento algorítmico, o estudo de configurações urbanas eficientes.

De acordo com Geaquinto (2018), é possível que esses argumentos se agrupem de forma sistêmica com o objetivo de transformar o conhecimento teórico-conceitual desta relação entre transporte e uso do solo em vínculos lógicos que possam ser utilizados de forma prática durante o processo de planejamento. Portanto, esta seção se destina à uma breve discussão de duas formas de modelar estes processos, o planejamento de transportes tradicional baseado em demanda e o planejamento de transportes integrado baseado em atividades.

A análise da demanda por viagens, de acordo com Misra *et al* (2000), pode ser baseada em dois paradigmas conceituais distintos: o paradigma baseado em viagens no qual a unidade de análise utilizada é a viagem individual e suas dimensões (modo utilizado, destino, etc.), desconsiderando as inter-relações que podem existir entre as escolhas feitas pelos indivíduos para uma série de viagens e a abordagem baseada em atividades, a qual vê a viagem como uma demanda derivada da necessidade de realizar atividades dispersas no espaço urbano. Nesse tipo de abordagem a ênfase é dada à participação nas atividades colocando como foco as sequências ou padrões de comportamento da atividade ao longo do tempo.

2.8.1 Planejamento tradicional de transportes baseado em demanda

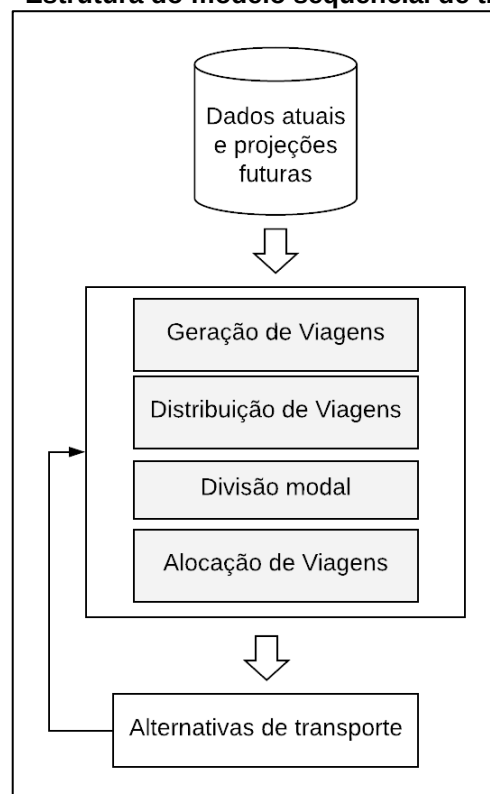
O enfoque tradicional do Planejamento de Transportes é direcionado ao tráfego de veículos e às questões de engenharia do sistema, com um caráter autocontido e

instrumental às demandas exógenas o objetivo principal é a minimização do tempo de viagens através de velocidades maiores ou de menor congestão (Geaquinto, 2018).

O modelo de planejamento baseado em demanda por viagens, subdividido em quatro etapas, conhecido por “Modelo Quatro Etapas” tornou-se uma ferramenta amplamente utilizada para a previsão de demanda e avaliação de desempenho de sistemas de transporte e de projetos de infraestrutura e ganhou notoriedade a partir dos anos 1950 (McNally, 2000).

Composto por dois estágios, o Modelo Quatro Etapas de planejamento de transportes, conforme apresentado na Figura 2 inicialmente busca avaliar, calibrar e validar o banco de dados por intermédio de submodelos de geração e distribuição de viagens e divisão modal e em um segundo momento busca atribuir as demandas projetadas na rede de transportes. Desta forma, os dados de entrada responsáveis pela demanda e pelo desempenho do sistema de transporte são recebidos externamente e integrados em um processo de equilíbrio que resultará em fluxos a serem alocados nas dimensões da rede de transportes (Geaquinto, 2018).

Figura 2 – Estrutura do modelo sequencial de transportes



Fonte: Retirado de Campos (2013)

De acordo com Campos (2013), este modelo sequencial contempla as etapas de geração e distribuição de viagens, escolha do modo de transporte e alocação de fluxos nas redes existentes. A geração de viagens é responsável por calcular o número de viagens que começam ou terminam em uma dada zona de tráfego, constituindo-se como ponto de partida para todo o modelo sequencial. A distribuição de viagens, por sua vez, aloca o número total de viagens obtido na etapa anterior a todos os pares origem-destino e a escolha modal distribui, percentualmente, estas viagens nos diferentes meios de transporte. Por fim, estas viagens são alocadas no sistema de transporte existente ou em novas alternativas, concebendo assim, a rede de transporte.

Cada etapa deste modelo tem por intenção capturar questões intuitivamente razoáveis relacionadas, respectivamente, a: quantos movimentos de viagem são feitos, de onde eles saem e para onde se direcionam, por qual modo a viagem será realizada e qual será a rota a ser tomada com base nos dados transversais agregados (Bates, 2000 *apud* Acheampong *et al*, 2015).

No entanto de acordo com Lopes (2010), embora este modelo seja largamente utilizado na prática sua característica estática, que desconsidera as alterações sofridas pelo uso do solo em função das condições de transporte, têm trazido muitas críticas à esta formulação. Conforme apresentado na Figura 1, o acréscimo ou a melhoria de infraestruturas de transporte tem o potencial de aumentar a acessibilidade de algumas zonas tornando-as mais atrativas e aumentando sua densidade populacional ou de atividades, conseqüentemente gerando a necessidade de infraestrutura adicional e completando um ciclo que não é considerado no tradicional modelo de planejamento de transportes.

Lopes (2010) salienta ainda o problema da disparidade entre a estabilidade temporal implícita no modelo e o desenvolvimento urbano dinâmico apontado por Lopes *et al* (2006), que faz com que projeções a longo prazo apresentem grandes erros nas estimativas. Ainda segundo Saraiva (2000 *apud* Lopes 2010) este problema é ainda mais grave em países em desenvolvimento como o Brasil, pois as populações e áreas urbanas são muito menos estáveis do que em países desenvolvidos.

Por fim, um problema conceitual dessa abordagem tradicional, como aponta Acheampong *et al* (2015) é a sua dependência de viagens como unidade de análise, ignorando o fato de que a viagem é uma demanda derivada, conforme apresentado

por Banister (2007). Portanto, ao desconsiderar essa premissa, a motivação para estas viagens não é explicitamente modelada bem como o potencial de viagens.

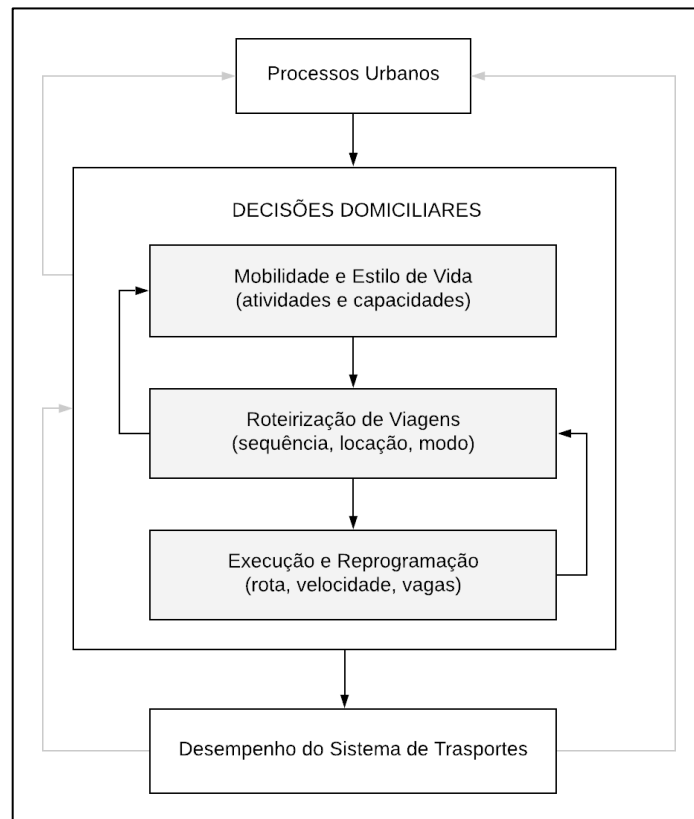
2.8.2 Planejamento de transportes baseado em atividades

De modo a suprir as falhas dos modelos tradicionais, uma nova estrutura de modelos de demanda começou a surgir nos anos 70: os modelos de demanda com base na teoria econômica e no comportamento de escolha individual (Arruda, 2005). Estas novas abordagens de planejamento, como afirma Banister (2007) diferentemente das abordagens tradicionais voltadas ao tráfego de veículos, direcionam-se às pessoas, motorizadas ou não.

Um dos princípios básicos dos modelos baseados em atividades, como aponta Banister (2007) é que a demanda por transportes é derivada da necessidade que as pessoas têm de realizar suas atividades diárias distribuídas no tempo e no espaço. Esses modelos buscam simular como os indivíduos em um domicílio organizam suas programações de atividades diárias no tempo e no espaço e, a partir daí, avaliam quais as viagens necessárias para que esta programação de atividades possa ser cumprida (Arruda, 2005).

Dessa forma como afirma Pendyala *et al* (1998), o objeto central do planejamento deixa de ser simplesmente a viagem e passa a ser a atividade geradora de demanda por transportes e o objetivo de entender o comportamento individual de viagem passa a ser considerado dentro das relações de causa e efeito que determinam as decisões de viagem.

Figura 3 – Relações das decisões domiciliares no modelo baseado em atividades



Fonte: Retirado de Bem-Akiva e Bowman (1998 *apud* Geaquinto 2018)

A partir dessa abordagem, de acordo com Misra *et al* (2000) é possível focalizar na sequência ou nos padrões de realização das atividades no território, e entender como os indivíduos e os domicílios modificam suas participações em atividades, em resposta à aplicação de determinadas políticas de transporte e uso do solo, além de entender como esse processo afeta a dinâmica urbana.

Nesse sentido essas abordagem de planejamento têm o potencial de contradizer o modelo tradicional de minimização de tempo de viagens criando o reconhecimento de uma possível diminuição do número de viagens motorizadas por meio da promoção de novas tecnologias de informação ou do estímulo ao transporte ativo, ou até mesmo pela aceitação de que pode haver um nível determinado de congestão em determinadas regiões que tragam à tona como afirma Banister (2007) a realidade de uma cidade acessível e sustentável.

2.8.3 Planejamento Integrado de transportes e uso do solo

Além de considerar a existência de relações complexas entre a participação em atividades e o padrão de viagem dos indivíduos, é preciso ainda considerar que a participação em atividades dispersas no espaço urbano é o que determina a necessidade de viagem do indivíduo, dentro de um conjunto de opções disponíveis e de restrições impostas pela classe social, composição domiciliar, disponibilidade de transporte, dentre outras variáveis (Paiva, 2010).

De modo a suprir as falhas dos modelos tradicionais, novas estruturas de modelos de planejamento que integram os sistemas de transportes, localização de atividades e uso do solo foram e vêm sendo desenvolvidos, com objetivo de prever os padrões de desenvolvimento destes sistemas e como eles se relacionam. Em modelos tradicionais, o uso do solo é definido de forma exógena a partir da localização de atividades as quais definem os fluxos, deslocamentos e demanda por transportes, já nas abordagens do modelo integrado, o uso do solo também é modelado endogenamente, sendo afetado pela política de transportes e também a afetando, numa interação em ciclos como apresentada na Figura 1 até que se chegue em um equilíbrio (Pereira, 2013).

A evolução dos modelos integrados de uso do solo e transporte (*LUTI models*) pode ser dividida em três grupos distintos a partir da premissa que seguem. O primeiro é composto por modelos com interação espacial e gravitacional, o segundo por modelos econométricos e o terceiro por modelos baseados em microssimulação (Iacono *et al*, 2008).

Os dois primeiros modelos especificam a interação entre a rede de transporte e uso do solo a partir de um conjunto agregado de relações baseadas no comportamento de uma amostra da população, estes são os modelos mais utilizados na área de planejamento atualmente. Já o terceiro grupo, cobre um número de diferentes abordagens representando as dinâmicas entre a mudança do uso do solo e comportamento de viagens (Iacono *et al*, 2008).

2.8.3.1 Modelo gravitacional de Lowry e semelhantes

Um dos primeiros modelos integrados de uso do solo e transportes foi desenvolvido por Lowry, em 1964, denominado Modelo de Metrôpoles (*Model of Metropolis*). O principal aspecto considerado nestes modelos é o crescimento

populacional e urbano que ocorre em função da expansão do setor econômico básico (Silva *et al*, 2018)

Diversas limitações acompanham este modelo, dentre elas está o fato de ser considerado um modelo estático que não provê informações a respeito da evolução do sistema de transporte e uso do solo no tempo, além da ausência de teorias que descrevem o comportamento capturado no modelo (Rodrigue *et al.*, 2017 apud Silva *et al*, 2018; Iacono, 2008)

Um modelo muito utilizado desta etapa é o IRPUD desenvolvido por Wegener em 1977, neste modelo encontram-se seis submodelos que operam simultaneamente os sistemas de transportes, políticas públicas, construção, trabalho, mercado imobiliário residencial e de envelhecimento (Spiekermann *et al*, 2011). Além deste, outros modelos desta fase são apresentados na Tabela 1 com suas referências e características.

Tabela 1 - Modelos baseados em Lowry

Modelo	Referência	Características
Modelo de Metrópolis	Lowry (1964) Garin (1966)	Primeiro modelo operacional de uso do solo apresentado por Lowry (1964) e fornecido por Garrin (1966) em forma de representação matricial.
TOMM	Crecine (1964)	Este modelo traz a desagregação da população e a incorporação dos efeitos de inércia na alocação de atividades
PLUM	Goldner (1971)	Neste modelo houve uma troca do modelo de gravidade padrão pelo de oportunidade de intervenção, além do uso de parâmetros de dispersão específicos para condados.
ITLUP	Putman (1963)	Surgimento do primeiro pacote de <i>software</i> completo para modelagem integrada além do aparecimento de melhorias nas técnicas de calibração. O modelo de rede com modos múltiplos foi melhorado e houve também a consideração de efeitos de congestionamento na alocação de viagens
LILT	Mackett (1983)	Utilização da função de acessibilidade e de um submodelo de propriedade de carros. Nesta contribuição o modelo de uso do solo é capaz de considerar demolição, mudança de ocupação dos veículos e as taxas de vacância.
IRPUD	Wegener (1982)	Este modelo contém sete submodelos diferentes, conta com microssimulação de uso do solo e utiliza escalas espaciais diferentes para cada submodelo. Além disso, separa as viagens discricionárias das não discricionárias.

Fonte: Adaptado de Iacono *et al*, 2008

2.8.3.2 Modelos econométricos

De acordo com Silva *et al* (2018) a econometria consiste em um método estatístico de análise de dados que visa compreender a relação entre variáveis econômicas. Os modelos de uso do solo e transportes baseados em econometria objetivam aprimorar a teoria para descrever os comportamentos observados no sistema LUTI.

Este modelo promove a base teórica para modelar a economia espacial e conta com a junção entre modelos econômicos regionais e de mercado imobiliário para formar o núcleo do sistema de simulação que inclui a predição do fluxo de transporte. Os modelos econométricos utilizados são apresentados na Tabela 2 com suas referências e características.

Tabela 2 - Modelos Econométricos

Modelo	Referência	Características
CATLAS	Anas (1992)	Este modelo conta com a melhoria dos agentes econômicos e de tomada de decisão além do tratamento explícito do mercado imobiliário. Há também neste modelo capacidades de análises econômicas
MEPLAN	Echine et al (1990)	Neste modelo as viagens são tratadas como uma demanda derivada, há a incorporação de um modelo espacial de <i>inputs-outputs</i> com avaliação econômica e previsão de viagens comerciais.
TRANUS	De la Barra (1990)	Este é um modelo de viagens sofisticado com escolha modal e rotas combinadas, além disso conta com o desenvolvimento de modelos de demanda que simulam as escolhas dos tomadores de decisão.
MUSSA	Martinez (1992)	Incorporação da estrutura de oferta e demanda para o mercado imobiliário, representação detalhada da rede de trânsito no modelo de viagens e alto nível de desagregação de tipos de domicílios.
METROSSIM	Anas e Arnott (1994)	Modelo estendido para o mercado imobiliário comercial e adição do modelo dinâmico CHPMM.
NYMTC-LUM	Anas (1998)	Determinação endógena dos preços de habitação, renda e salários. Alto nível de desagregação espacial adequado para avaliação do trânsito e uso do solo.
DELTA	Simmonds (1999)	Aplicação de microsimulação de mudanças demográficas e tratamento da qualidade no mercado de terras.
PECAS	Hunt e Abraham (2005)	Modelo regional econométrico com microsimulação de desenvolvimento territorial em nível de parcelamento; Capacidade de utilizar um modelo de viagens baseado em atividades e aplicá-lo em um nível supra regional.

Fonte: Adaptado de Iacono et al., 2008

2.8.3.3 Modelos de Microssimulação

A partir dos avanços na capacidade de processamento de computadores surgiram modelos que superam algumas deficiências das etapas anteriores pois estes modelos desagregam os dados na escala micro ou individual (Werneck, 2015). Estes modelos utilizam ferramentas de microssimulação e são eficientes para modelar sistemas dinâmicos e complexos, tais como sistemas urbanos (Iacono *et al*, 2008). Os modelos baseados em microssimulação utilizados são apresentados na Tabela 3 com suas referências e características.

Tabela 3 - Modelos baseados em simulação

Modelo	Referência	Características
ILUTE	Salvani e Miller (2005)	Modelo abrangente de microsimulação do sistema urbano estruturado para captar os elementos temporais da modificação no espaço urbano. Modelo de viagens baseado em atividades considera iterações entre membros da família; Estrutura de modelo de desequilíbrio.
ILUMASS	Moekel <i>et al</i> (2003) Strauch <i>et al</i> (2003)	Descendente do modelo IRPUD, incorpora a simulação dinâmica microscópica dos fluxos de tráfego e movimentação de bens; desenhado com avaliação ambiental.
Ramblas	Veldhuisen <i>et al</i> (2003)	Estrutura de modelo baseada em regras; desenhado para simular populações muito grandes.
UrbanSim	Waddel <i>et al</i> (2005)	Modelo de uso do solo com microsimulações de processos demográficos para processar o desenvolvimento do uso do solo; representação do uso do solo no nível de parcelas; alto nível de desagregação do uso do solo; <i>software</i> de código livre desenvolvido para uso geral.

Fonte: Adaptado de Iacono *et al.*, 2008

3 MÉTODOS

A metodologia proposta para este trabalho se baseará, na análise topológica da rede de transporte coletivo por ônibus do município de forma a identificar como ela proporciona ligação entre as diferentes unidades espaciais.

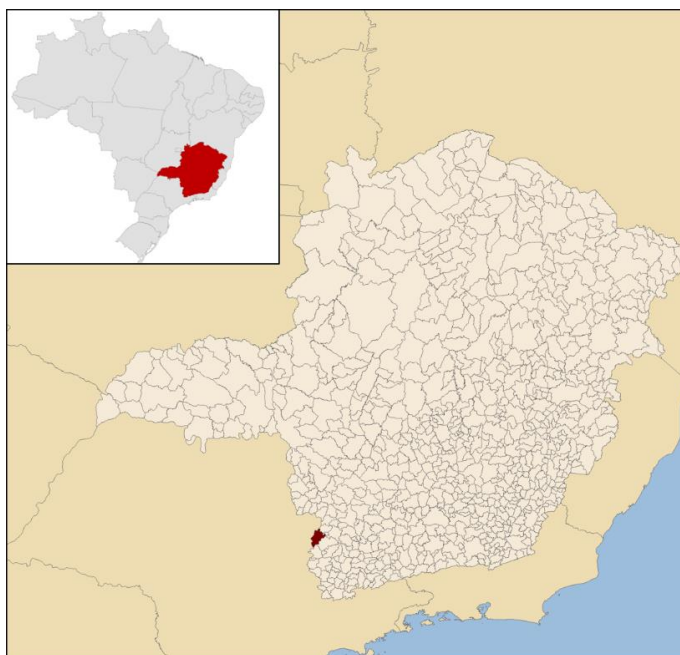
Por meio da análise topológica, as medidas de centralidade apresentadas na seção 2.7 (*degree centrality*, *closeness centrality* e *betweenness centrality*) serão aplicadas ao contexto real do município de Poços de Caldas. Diante disso, neste capítulo serão descritos os métodos utilizados para se obter essas medidas de centralidade.

3.1 Caracterização da área de estudo

As medidas de centralidade apresentadas na seção 2.7 serão aplicadas ao município de Poços de Caldas, e por isso se faz necessário entender a conformação da cidade e suas características socioespaciais para que os resultados obtidos matematicamente possam ser analisados de forma a representar a realidade do município.

Poços de Caldas é um município mineiro localizado em uma região vulcânica extinta na Serra de São Domingos na mesorregião do Sul e Sudoeste de Minas Gerais (Figura 4). Possui grande importância para sua vizinhança devido ao seu papel central no processo de distribuição de bens e serviços, caracterizando-se de acordo com o Plano Diretor de 2006 como “Capital Regional”.

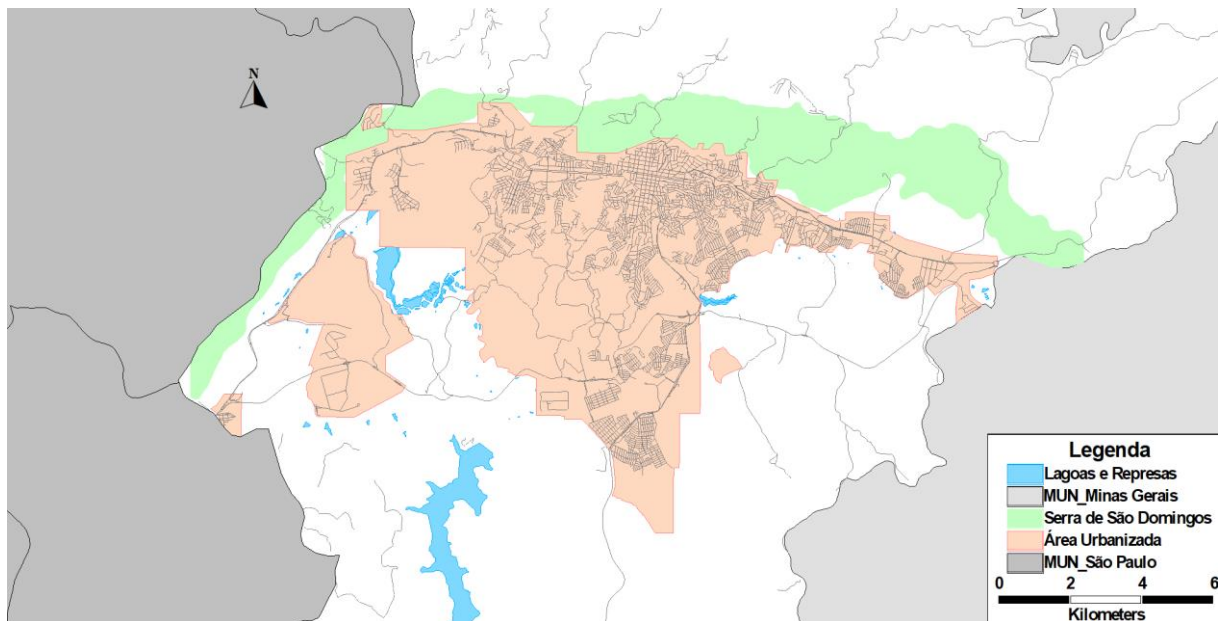
Figura 4 - Localização do município de Poços de Caldas na mesorregião do Sul e Sudoeste de Minas.



Fonte: Produzido pelo autor

Com uma população estimada pelo IBGE para o ano de 2019 de 167.397 habitantes, é considerado o 15º município mais populoso do estado e apresenta um grau de urbanização de 98% concentrado em uma extensão aproximada de 88 km² de área urbanizada (Figura 5), sendo o restante do território, 459 km², pertencente à zona rural.

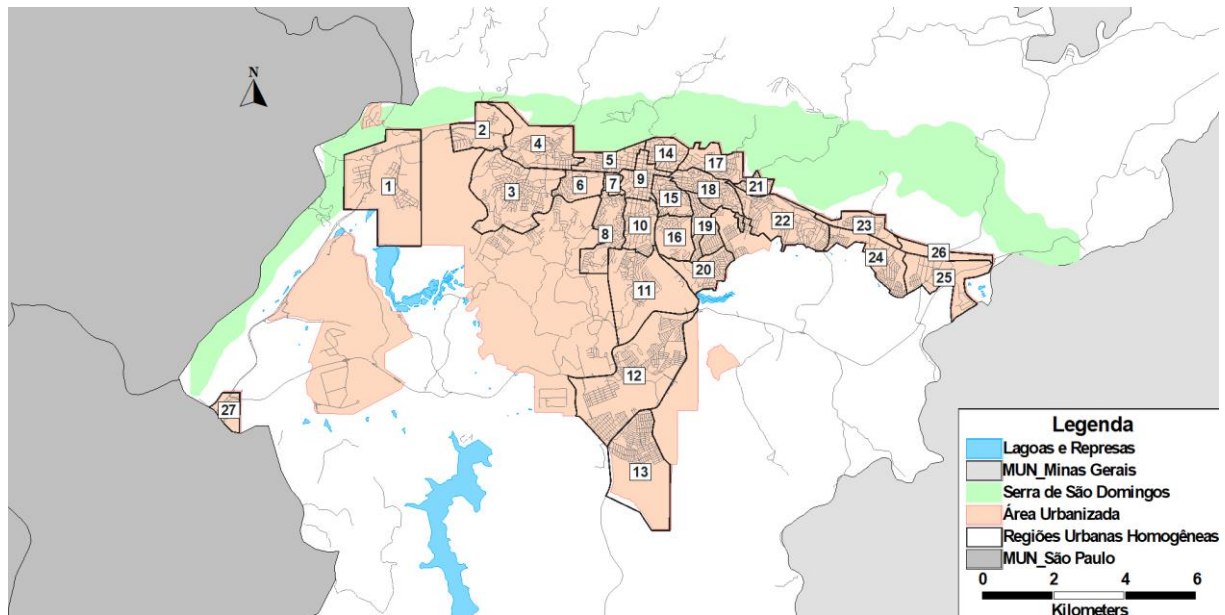
Figura 5 - Perímetro urbano Poços de Caldas.



Fonte: produzido pelo autor

A área urbanizada do município foi dividida em 27 (vinte e sete) Regiões Urbanas Homogêneas que tratam de setores censitários agregados em unidades espaciais com características uniformes. As RUH de Poços de Caldas foram definidas pelo Plano Diretor Municipal de 1992 e revisadas em 2006 e serão utilizadas neste estudo como os nós do grafo construído sobre os quais serão aplicadas as medidas de centralidade. A divisão da área urbanizada em Regiões Urbanas Homogêneas está apresentada na Figura 6.

Figura 6 – Mapa Regiões Urbanas Homogêneas



Fonte: Produzido pelo autor

3.2 Obtenção de dados

Neste tópico, serão apresentados os dados utilizados para calcular as medidas de centralidade e as metodologias aplicadas para obtê-las

3.2.1.1 Rede viária

O sistema de transporte público coletivo por ônibus da cidade Poços de Caldas é composto por linhas que realizam itinerários pré-estabelecidos em um serviço regular e uma linha especial composta de vans adaptadas para o transporte de cadeirantes que atua como um sistema de transporte sob demanda, não possuindo, portanto, itinerário, extensão ou número de viagem fixos, se moldando para atender a demanda existente.

Atualmente opera na cidade um sistema composto pelos seguintes tipos de linhas:

- Radial: linhas que fazem a ligação da área central com um ou mais bairros;
- Troncal: linhas que conectam os terminais de integração;
- Perimetral: linhas que ligam regiões sem passar pelo centro;

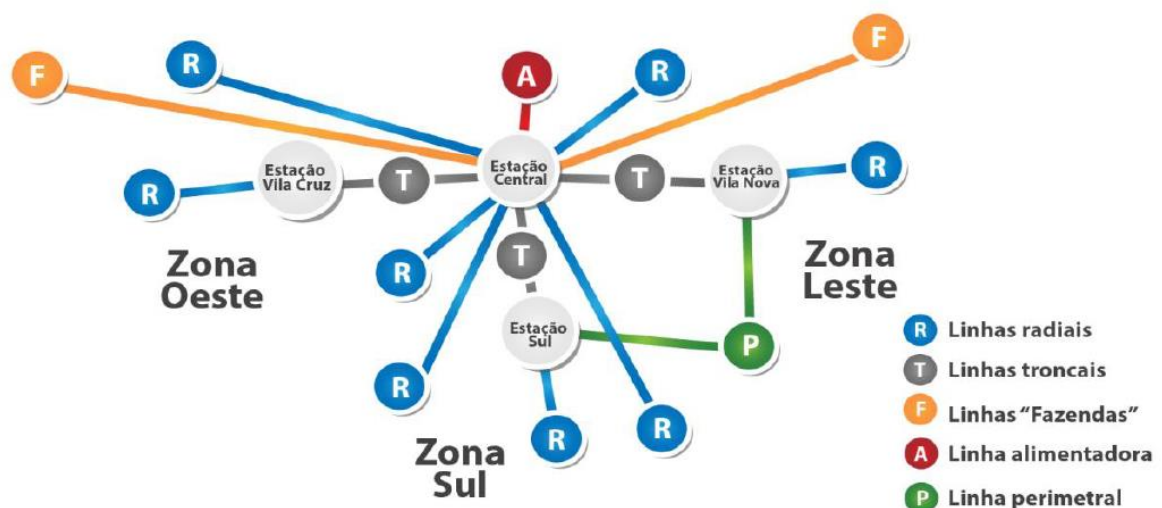
- Circular: linhas com trajeto circular tendo ponto inicial e final comuns; e
- Fazenda: linhas que conectam as fazendas localizadas nas áreas rurais do município com o centro da cidade.

Além disso, o sistema conta com quatro terminais urbanos, que funcionam como um ponto de parada, inclusive das linhas radiais sendo eles:

- Terminal central;
- Terminal Vila Cruz;
- Terminal Vila Nova;
- Terminal Sul.

Esta estrutura está apresentada na Figura 7. Destas linhas, foram excluídas para análise das medidas de centralidade as linhas de fazenda, noturnas e escolares

Figura 7 - Esquema simplificado da rede linhas



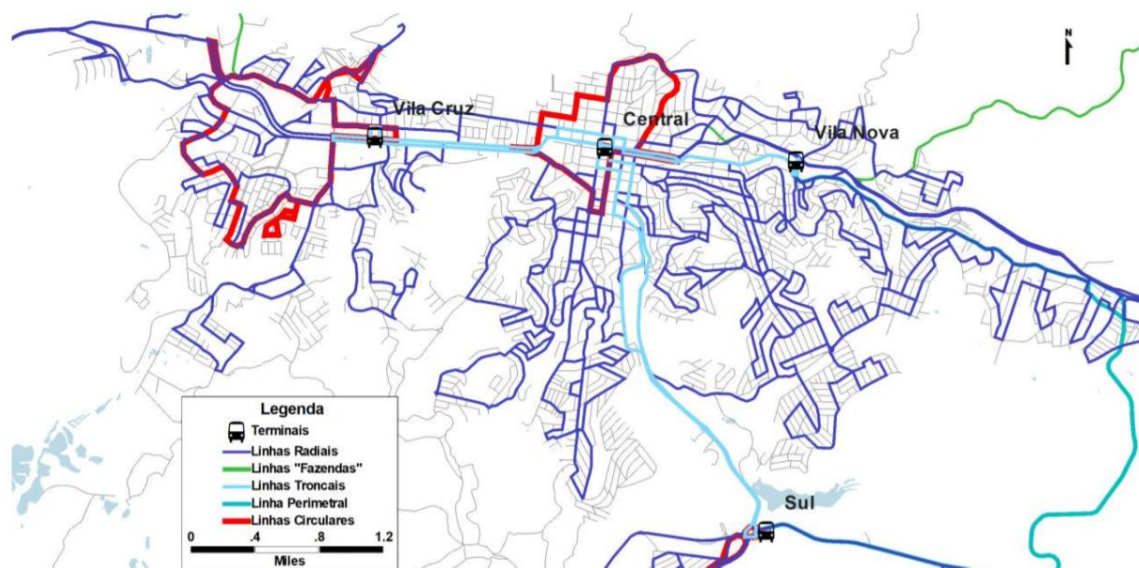
Fonte - PlanMob 2009

A cobertura da área urbanizada pelo conjunto de linhas existente é considerada boa, pois em sua maioria, todas as áreas urbanizadas são atendidas por pelo menos uma linha de ônibus dentro de uma distância de caminhada de 300 metros. Em regiões periféricas a cobertura do sistema mostra-se baixa pois a grande concentração de linhas está na região central.

A Figura 8 apresenta esquematicamente todas as linhas de ônibus do município classificadas por tipo, exceto a linha de transporte sob demanda que não possui

itinerário fixo. Além disso, estão apresentados, também na Figura 8 os terminais de integração existentes na rede.

Figura 8 – Rede de Transporte de Poços de Caldas



Fonte - Produzido por Fundação CEFETMINAS

3.2.1.2 Dados de uso do solo

Quanto ao uso do solo, há um expressivo adensamento construtivo e concentração de atividades econômicas nas áreas centrais e em seus entornos diretos, bem como ao longo dos principais eixos viários da malha urbana.

Por terem sido as primeiras regiões a serem adensadas, conforme apresentado nas figuras 9 a 16 houve a valorização imobiliária das áreas centrais e consequentemente a migração da população de baixa renda para áreas periféricas, indicando assim que o município de Poços de Caldas seguiu os padrões de desenvolvimento da mancha urbana observados nos anos 60 e 70 cuja expansão horizontal das cidades e a periferização foram marcadas pela migração dos mais pobres devido ao baixo valor da terra praticado nessas regiões.

No município de Poços de Caldas, esse crescimento horizontal da mancha urbana ao longo das décadas, a partir de 1940 até os anos 2000, pode ser observado na as figuras 9 a 16. Percebe-se, por meio da evolução dos loteamentos ao longo das décadas, o crescimento urbano centro-periferia em um primeiro momento na direção oeste que atualmente é ocupada por populações com melhores índices de renda,

seguido por leste e sul que são ocupadas predominantemente por populações de baixa renda.

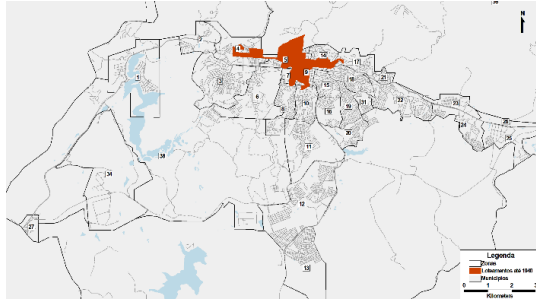


Figura 9 - Loteamentos até 1940.
Fonte: Autoria própria

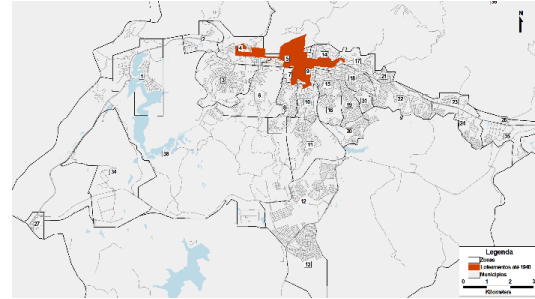


Figura 10 – Loteamentos até 1950.
Fonte: Autoria própria

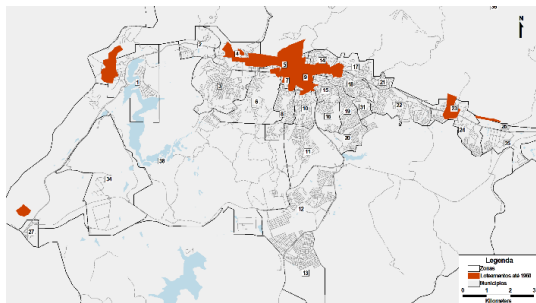


Figura 11 – Loteamentos até 1960.
Fonte: Autoria própria

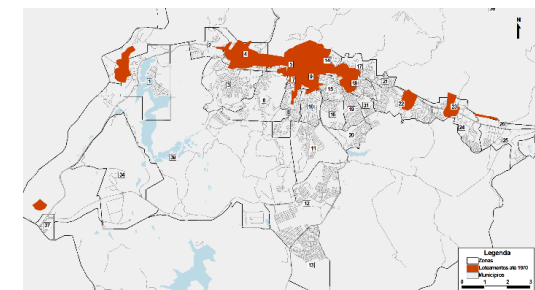


Figura 12 - Loteamentos até 1970.
Fonte: Autoria própria

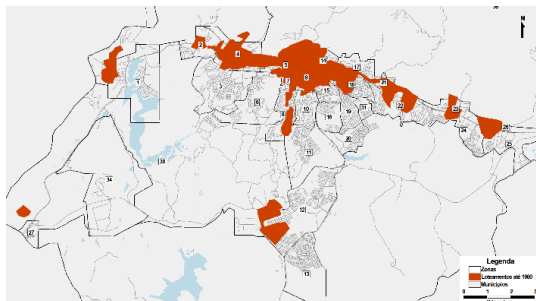


Figura 13 – Loteamentos até 1980.
Fonte: Autoria própria

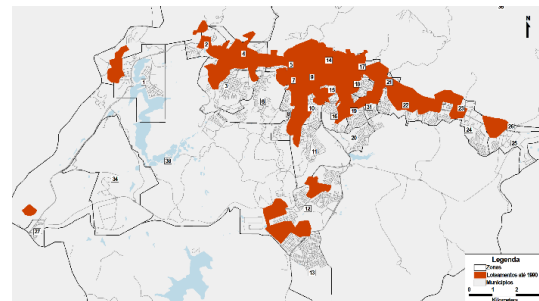


Figura 14 – Loteamentos até 1990.
Fonte: Autoria própria

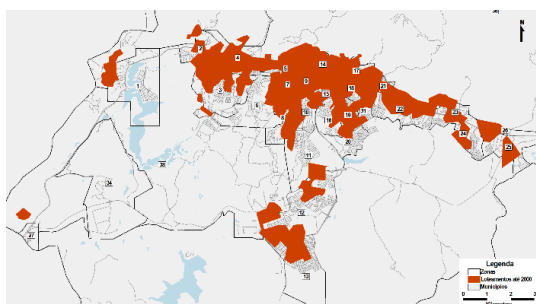


Figura 15 - Loteamentos até 2000.
Fonte: Autoria própria

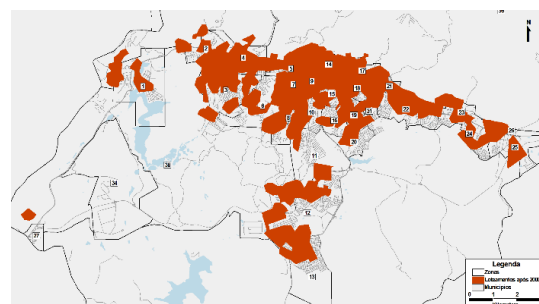


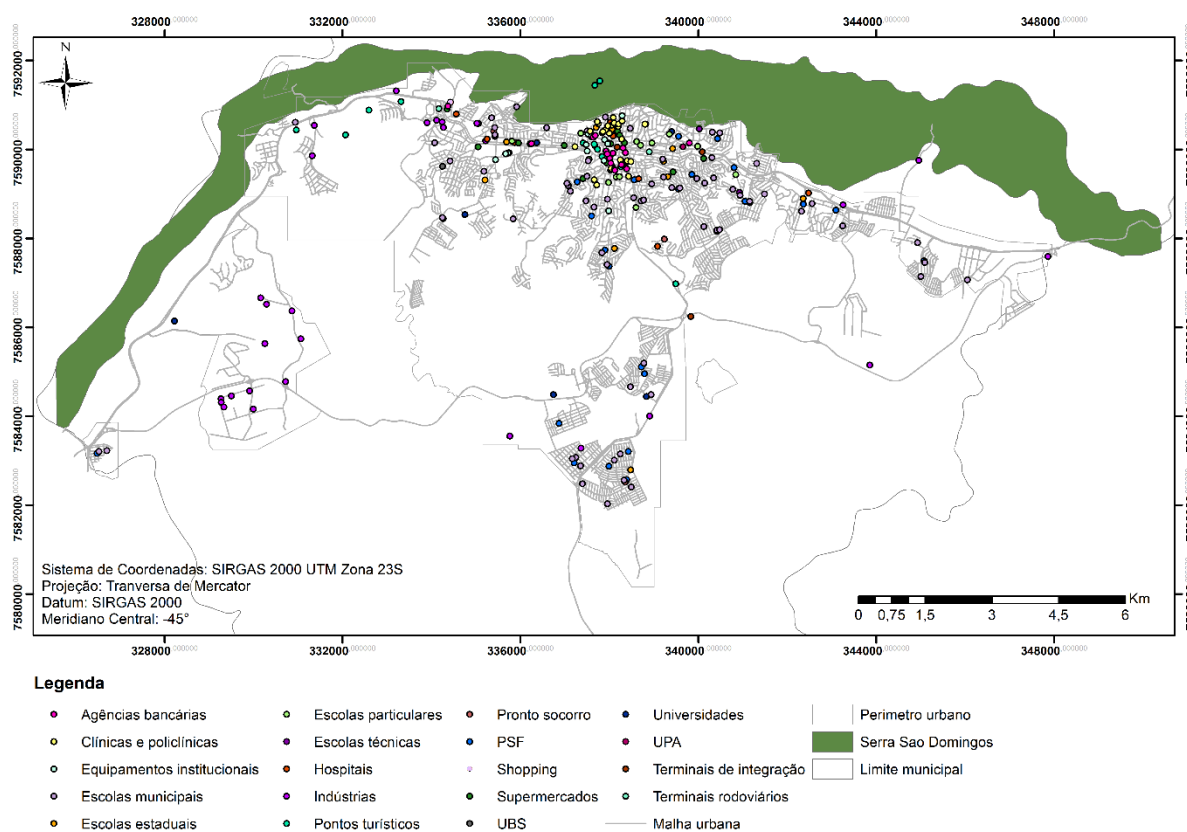
Figura 16 – Loteamentos a partir de 2000. Fonte: Autoria própria

O fenômeno do espraiamento normalmente ocorre antes da obtenção de uma densidade demográfica ideal nas áreas já consolidadas, como é o caso do município

de Poços de Caldas, com o passar do tempo o adensamento populacional no município foi consumindo cada vez mais espaço configurando assim a característica de cidade espalhada e consequentemente criando bairros dormitório, que são regiões da cidade que não possuem atividades suficientes para empregar e fixar sua população ativa, levando a maioria dos moradores a se deslocarem diariamente para outros locais, neste caso para a área central do município, para exercer sua profissão.

Por tratar-se de uma área que abriga a maior parte de atrativos turísticos e polos geradores de viagem (Figura 17), como estabelecimentos de hospedagem, recreação, alimentação, comércio, serviços e órgãos públicos, percebe-se a saturação da área central, no entanto, por contar com uma expansão planejada e adequada é possível observar nestas áreas boas condições de infraestrutura e moradia, ao contrário das regiões periféricas que evidenciam a ausência de planejamento urbano.

Figura 17 - Polos geradores de viagem do município de Poços de Caldas



Fonte – PlanMob, 2019

A região leste, por sua vez, conta com loteamentos de médio e baixo padrão bem como empreendimentos de programas populares de habitação que se espalham

em áreas periféricas da zona urbana diferentemente da região oeste, que é marcada pela implantação de diversos condomínios e loteamentos residenciais de alto padrão. Por fim, a região sul foi a que sentiu mais fortemente os efeitos da segregação espacial, nesta área prevalecem famílias de baixa renda e com menor acesso às oportunidades de modo geral. Os loteamentos nesta região são posicionados separadamente da malha urbana e acessados através de eixo viário com menores condições de trafegabilidade, estimulando a condição de isolamento e acentuando o distanciamento dessa região ao restante da cidade (PlanMob Poços de Caldas, 2019).

O uso residencial ocorre em todo o município desde sua urbanização, no entanto, em 1991 esse uso representava aproximadamente 90% do total de lotes ocupados e em 2006 esse valor caiu para aproximadamente 50%, demonstrando assim o crescimento de outras atividades no município (PlanMob Poços de Caldas, 2019). Atualmente as seguintes categorias de uso do solo são evidenciadas no município mediante Lei Complementar nº 92 (Poços de Caldas, 2007b) que estabelece as normas e condições para uso e ocupação do solo no município de Poços de Caldas:

- Residencial
- Não residencial, compreendendo atividades das seguintes subcategorias:
 - a) Serviços;
 - b) Industrial;
 - c) Comercial
- Misto, definido como o exercício concomitante dos usos residencial e não residencial.
- Rural.

3.3 Modelagem no TransCAD

Para obter os dados necessários para o cálculo das medidas de centralidade apresentadas, foi utilizado o *software* TransCAD versão 4.5 e os seguintes *inputs*:

- Arquivo de camada geográfica do município de Poços de Caldas (base) que contém as informações de todos os *links* (vias urbanas) do município;
- Arquivo de rotas de transporte público coletivo por ônibus do município de Poços de Caldas;

- Arquivo georreferenciado em formato shape da delimitação das Regiões Urbanas Homogêneas.

Para iniciar a análise, algumas premissas foram consideradas de modo a simplificar a estrutura do problema:

- I. As Regiões Urbanas Homogêneas (RUH) do município representarão os nós do grafo.
- II. A rede viária bem como as linhas de ônibus que transitam sobre ela representarão os links.
- III. As linhas de transporte público coletivo por ônibus que possuírem o mesmo número serão consideradas a mesma linha, ou seja, não serão considerados nas análises os atendimentos que modificam, minimamente, a estrutura da linha principal;
- IV. Linhas com numeração diferente serão consideradas linhas distintas;
- V. A rede será tratada como uma rede não direcionada, portanto se a RUH (A) puder ser acessada a partir da RUH (B) por alguma linha de ônibus, considerar-se-á que o contrário também poderá ocorrer;

3.3.1.1 Cálculo das medidas de centralidade

Para calcular as medidas de centralidade as seguintes informações foram obtidas com o uso do software TransCAD versão 4.5:

- Sequência de *links* acessados por cada linha de ônibus e informação de qual RUH estão inseridos cada um destes *links*.
- Caminhos geodésicos entre pares de origem e destino e os atributos de cada caminho, sobretudo a distância;

O tratamento dessas informações foi realizado no software Excel, mediante aplicação das equações (1) a (7) que retornaram os valores de medidas de centralidade que serão apresentados nesta seção.

I. Centralidade de grau (Degree Centrality)

Para o cálculo da centralidade de grau, utilizou-se a sequência de links e, conseqüentemente, de regiões urbanas homogêneas pelas quais uma linha passa,

esta informação permitiu realizar a contagem de quantas RUH são conectadas diretamente, por meio de uma linha de ônibus, à RUH analisada mediante aplicação da equação (1).

Foram consideradas conectadas diretamente, para o cálculo da medida de grau, apenas as RUH que podem ser acessadas utilizando exclusivamente uma linha de ônibus, ou seja, caso haja a necessidade de integração para acessar determinada região, ambas foram consideradas como desconectadas.

A partir dessas informações, foi construída no software Excel a matriz adjacência a_{ij} para cada RUH considerando todas as linhas de ônibus disponíveis nesta região. As medidas absolutas de centralidade de grau para cada uma das 27 RUH estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Degree centrality - RUH Poços de Caldas

RUH	<i>Degree Centrality</i>
1	8
2	8
3	10
4	10
5	11
6	10
7	12
8	4
9	26
10	8
11	11
12	10
13	7
14	6
15	20
16	8
17	10
18	19
19	6
20	9
21	9
22	12
23	8
24	11
25	9
26	8
27	8

Fonte – Produzido pelo autor

II. Centralidade de proximidade (Closeness Centrality)

Para o cálculo da centralidade de proximidade, foram utilizados os caminhos geodésicos entre os pares origem e destino das regiões urbanas homogêneas. Os caminhos geodésicos foram obtidos no *software* TransCAD a partir da criação de uma rede de transporte (*transit network*) que considerou o sistema de rotas de transporte coletivo por ônibus da cidade de Poços de Caldas. A criação desta rede possibilita tanto encontrar a melhor rota de determinada origem para determinado destino como calcular os atributos deste melhor caminho.

Dentre os atributos obtidos pelo TransCAD de cada caminho geodésico, um deles é a distância deste caminho, variável que foi escolhida, neste trabalho, para calcular a centralidade de proximidade de cada nó. Após a definição de todos os caminhos geodésicos, foi utilizada a equação (3) para calcular a distância média de

cada nó a todos os outros nós da rede e em seguida, calculou-se o inverso dessa distância para encontrar os valores de centralidade de proximidade, como apresentado na equação (4).

A Tabela 5 apresenta os valores absolutos encontrados para a centralidade de proximidade das 27 RUH do município. Valores maiores de centralidade de proximidade indicam nós mais centrais enquanto valores menores significam nós menos centrais em termos de proximidade.

Tabela 5 – Closeness centrality – RUH Poços de Caldas

RUH	Closeness centrality
1	0,08
2	0,11
3	0,11
4	0,12
5	0,17
6	0,14
7	0,17
8	0,13
9	0,18
10	0,16
11	0,11
12	0,08
13	0,07
14	0,17
15	0,19
16	0,15
17	0,16
18	0,17
19	0,15
20	0,1
21	0,13
22	0,12
23	0,1
24	0,09
25	0,06
26	0,09
27	0,05

Fonte – Produzido pelo autor

III. Centralidade de Intermediação (Betweenness Centrality)

A rede concebida para o cálculo da medida anterior resultou nos caminhos mínimos de ligação dos pares origem/destino, diante disso, foram avaliados quantos desses caminhos passam por cada unidade espacial analisada, informação que corresponde ao somatório da variável n_{st}^i utilizada na equação (6). No caso deste estudo, apenas este somatório já representa o valor de centralidade de intermediação, visto que foi considerado existir apenas um caminho geodésico entre duas unidades espaciais e, neste caso, a variável g_{st} é igual a 1 e não interfere no valor a ser calculado pela equação (7).

A Tabela 6 apresenta os valores absolutos encontrados para a centralidade de intermediação das 27 RUH do município

Tabela 6 - Betweenness centrality – RUH Poços de Caldas	
Zona	<i>Betweenness centrality</i>
1	25
2	48
3	48
4	69
5	116
6	62
7	77
8	0
9	267
10	92
11	48
12	25
13	0
14	25
15	205
16	48
17	25
18	170
19	26
20	48
21	23
22	109
23	4
24	48
25	25
26	3
27	0

Fonte – produzido pelo autor

4 RESULTADOS

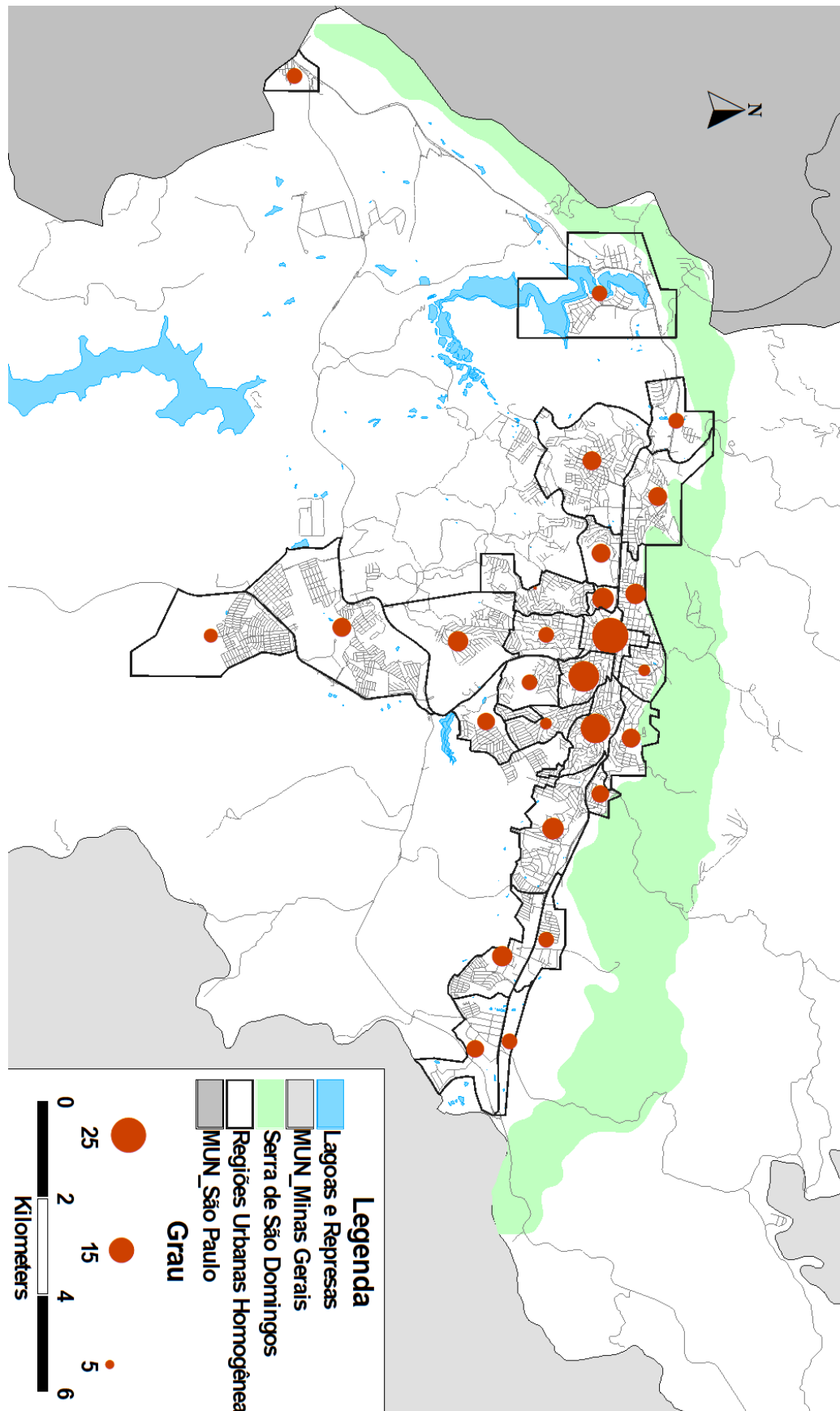
Esta seção tem por objetivo representar graficamente, por meio de mapas temáticos criados no *software* TransCAD, os produtos das medidas de centralidade obtidos e demonstrados na seção anterior.

Para a criação dos mapas temáticos foram utilizados os seguintes dados:

- Arquivos de camada geográfica do município de Poços de Caldas
- Arquivo em formato shape da delimitação das RUH.
- Arquivo em formato shape de informações ambientais como a localização da serra de São Domingos e a localização das principais represas existentes na cidade.

A Figura 18 apresenta a distribuição espacial dos valores de centralidade de grau expostos na Tabela 4. O grau é o parâmetro mais básico na análise de rede e representa o número total de conexões de determinada região em relação à rede. Valores mais altos de centralidade de grau indicam nós centrais, também conhecidos como hubs, enquanto valores mais baixos de centralidade de grau indicam nós isolados ou periféricos, considerando o espaço urbano.

Figura 18 - Centralidade de Grau



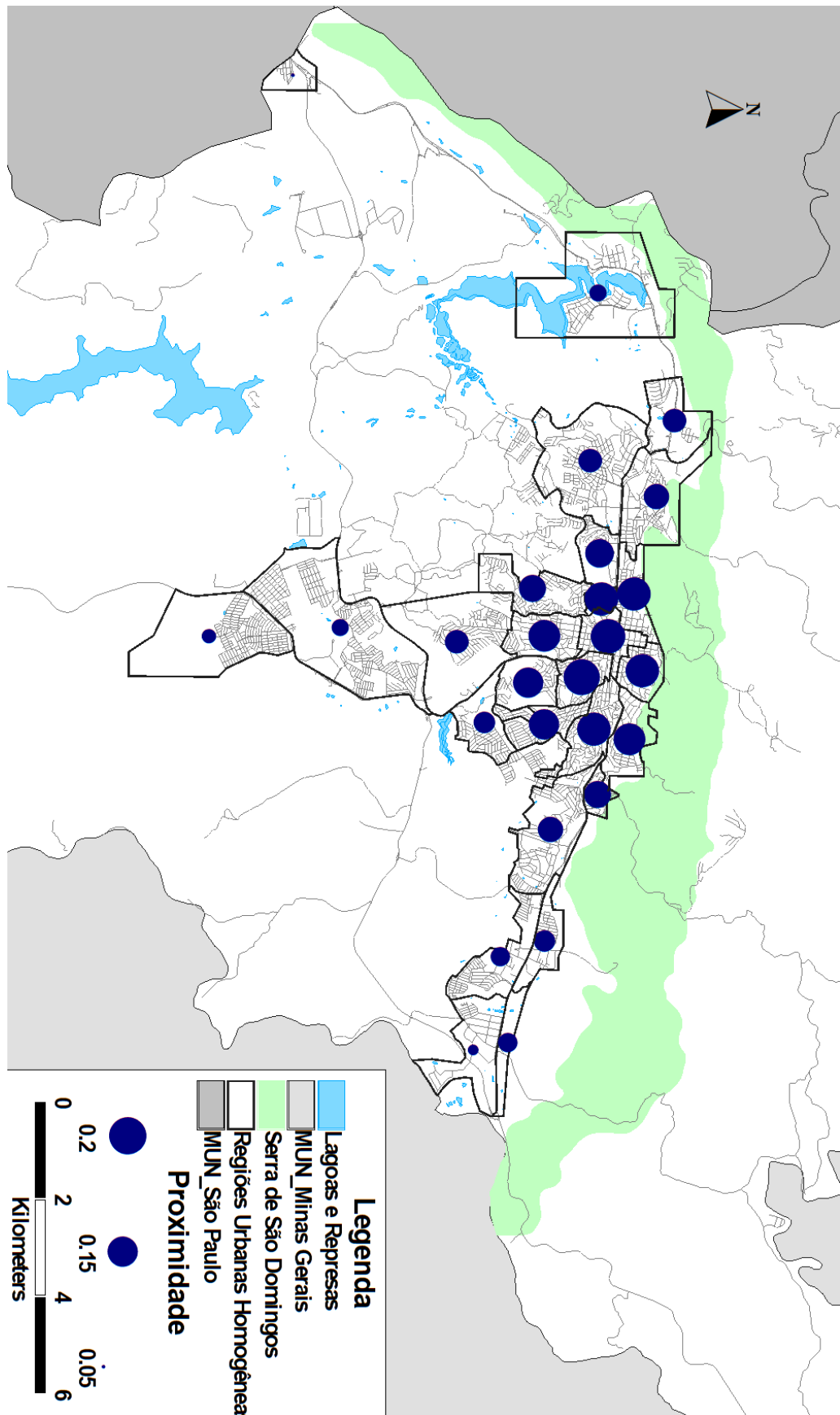
Fonte – Produzido pelo autor

Conforme apresentado na Figura 18 a rede de ônibus aponta como hub as regiões urbanas homogêneas 9, 15 e 18, as quais possuem 26, 20 e 19 conexões respectivamente. Também pela análise da Figura 18 é possível perceber que não há nenhuma região com centralidade de grau igual a zero, ou seja, a configuração das linhas de ônibus do município não deixa nenhuma região isolada, estando todas as regiões do município conectadas. O menor valor de centralidade de grau é atribuído à região 8, que conecta com apenas quatro outras regiões.

Ainda com relação às medidas de centralidade de grau, por meio da análise dos dados apresentados na Tabela 4, observa-se que o grau varia de 4 a 26, com um valor médio de 10,3. A proporção de regiões com centralidade de grau maiores que a média é de 30%.

A Figura 19 apresenta a distribuição espacial dos dados de centralidade de proximidade mostrados na Tabela 5. A centralidade de proximidade descreve a facilidade e rapidez com que uma unidade espacial pode ser alcançada em termos de distância. Quanto maior for a centralidade de proximidade de um nó mais próximo este nó está dos outros nós da rede e menor será a dificuldade de alcançá-lo.

Figura 19 – Centralidade de Proximidade

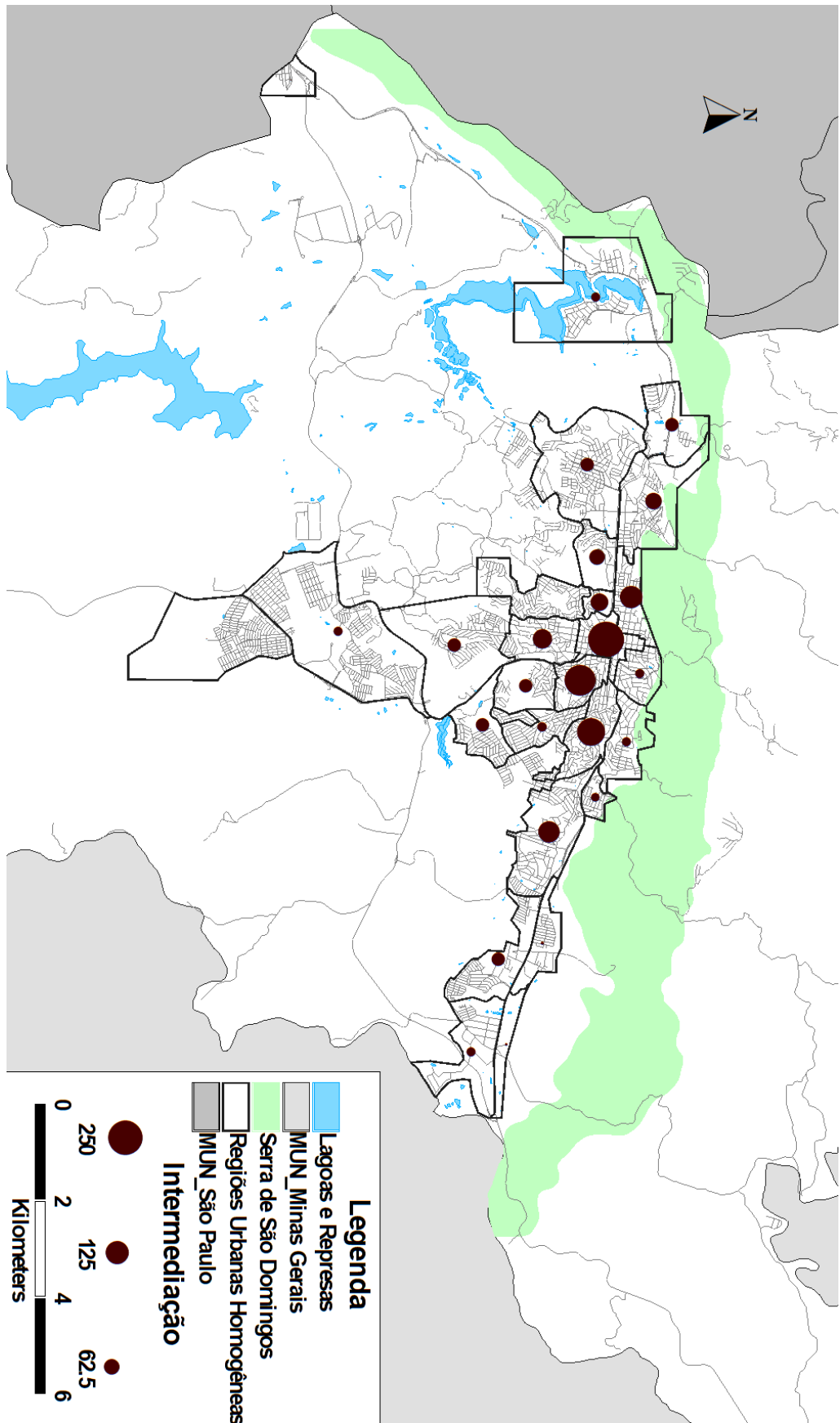


Fonte – Produzido pelo autor.

Os nós com maior valor de centralidade de proximidade são as regiões urbanas homogêneas 15, 9, 5, 7 e 18 com valores (0,19), (0,18) e (0,17) respectivamente. Esse resultado demonstra que o movimento destas regiões, utilizando as linhas de ônibus, para as demais é mais fácil e rápido em termos de distância. De acordo com a Tabela 5, os valores de centralidade de proximidade variam de 0,05 a 0,19 com uma média de 0,12. A proporção de regiões com centralidade de proximidade maiores que a média é de 48%, a medida que os valores de centralidade de proximidade aumentam, os movimentos entre pares origem e destino tornam-se mais rápidos.

A Figura 20 apresenta a distribuição espacial dos dados de centralidade de intermediação mostrados na Tabela 6. A centralidade de intermediação representa a frequência com que um nó ocorre nos caminhos mais curtos entre os outros nós da rede

Figura 20 - Centralidade de Intermediação



Fonte – Produzido pelo autor.

Conforme apresentado na Figura 20 os nós com maior valor de centralidade de intermediação são as RUH 9, 15, 17, 5 e 22 com valores 267, 205, 170, 116 e 109 respectivamente. Esse resultado indica que essas regiões aparecem em muitos caminhos geodésicos que ligam outras regiões e, portanto, esses vértices podem ter uma influência considerável dentro dessa rede. Além disso, como afirma Newman (2018) vértices com alto valor de intermediação são aqueles cuja remoção da rede irá causar mais perturbações nas relações espaciais entre outros vértices.

De acordo com a Tabela 6, os valores de centralidade de intermediação variam de 0 a 267 com uma média de 60,6. A proporção de regiões com centralidade de intermediação maiores que a média é de 33%, os vértices que possuem maiores valores de centralidade de intermediação além de serem vértices cuja remoção causaria maior perturbação na rede, também atuam como um centro de transferência, sendo um guia aproximado para os vértices que têm alta influência sobre o fluxo de informação entre os outros.

5 CONCLUSÃO E ESTUDOS FUTUROS

A disposição estrutural dos objetos em um grafo ajuda a simplificar os problemas e permite ao planejador fazer modificações no grafo existente para melhorar os serviços. Portanto, essa análise se faz importante, sobretudo na primeira fase do planejamento do sistema de transportes para verificar se a disposição dos elementos do grafo corrobora com a ideia de centralidade desejada para a cidade e suas unidades espaciais.

Uma das formas de planejar o sistema de transporte público para que ele se apresente competitivo frente ao crescimento do transporte individual é avaliar se a topologia da rede traçada proporciona uma acessibilidade desejada aos utilizadores do serviço, essa avaliação pode ser feita utilizando-se as medidas de centralidade apresentadas neste estudo pois elas são capazes de dizer, apenas avaliando o design das linhas, qual a conectividade e a proximidade que o sistema proporciona aos passageiros e quais são os nós mais acessados pelos caminhos mínimos de deslocamento entre origens e destinos.

Ao comparar a localização das centralidades e das atividades existentes no espaço urbano, é possível observar uma correlação entre elas pois a centralidade frequentemente determina a localização das atividades. Desta forma é possível observar que há uma forte correlação entre a estrutura funcional da cidade e as medidas de centralidade e que diferentes centralidades correspondem a diferentes usos do solo.

Diante disso, é razoável considerar que uma análise conjunta entre as medidas de acessibilidade e centralidade pode trazer melhorias significativas para as abordagens tradicionais de modelagem do uso do solo e do sistema de transportes.

Nestes estudo medidas tradicionais de centralidade foram aplicadas às unidades espaciais do município de Poços de Caldas e entende-se que é igualmente interessante abordar estas medidas pela criação de um indicador de grupo que concentre todas as medidas isoladas de centralidade (grau, proximidade e intermediação) aplicadas às unidades espaciais de forma a “quantificar” a associação de um nó perante a rede a um valor de centralidade

Além de mensurar a importância dos nós por meio de medidas individuais derivadas das características topológicas da rede, é importante captar o quanto um vértice tem um papel central em relação ao grafo inteiro através deste índice de grupo, sendo esta, também uma informação importante para o processo de planejamento de transportes pois permite que o planejador faça modificações no grafo existente para melhorar os serviços e desenvolver a ideia de centralidade desejada para a cidade e suas unidades espaciais

Além disso, pretende-se aplicar as medidas obtidas neste estudo tanto na comparação de redes distintas, lidando com medidas relativas e não absolutas diferentemente das apresentadas neste estudo, e mais do que isso, pretende-se comparar redes que sofreram modificações a partir de projetos de engenharia de transportes, de forma a verificar como a mudança no desenho de rede pode modificar a conformação de centralidades em um município.

6 BIBLIOGRAFIA

- ACHEAMPONG, R. A., & SILVA, E. A. (2015). **Land-use transport interaction modeling: a review of the literature and future research directions**, 2015.
- AN, Q., GORDON, P., & MOORE II, J. E. **A note on commuting times and city size : Testing variances as well as means**. *Journal of Transport and Land Use*, 105-110, 2014.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS - ANTP. **Transporte Humano – cidades com qualidade de vida. Coordenadores:** Ailton Brasiliense Pires, Eduardo Alcântara Vasconcellos, Ayrton Camargo e Silva. Apresentação: Rogério Belda. São Paulo, A N T P, 1997
- ARRUDA, F. S. **Aplicação de um modelo baseado em atividades para análise da relação uso do solo e transportes no contexto brasileiro**. São Carlos 2005.
- ARRUDA, J. B. **Determinação do impacto de projetos de transportes na acessibilidade do trabalhador às principais zonas de emprego urbano**. *Transporte em Transformação II*, 1999.
- BANISTER, D. **The sustainable mobility paradigm**. *Transport Policy*, 73-80, 2007
- BANISTER, D. **The trilogy of distance, speed and time**. *Journal of Transport Geography* , 310, 2010
- BANISTER, D. **Inequality in Transport**, 2018.
- BANISTER, D., & HICKMAN, R. **How to design a more sustainable and fairer built environment: transport and communications**. *IEE Proceedings - Intelligent Transport Systems*, 2006.
- BRITO, F., HORTA, C. G., & AMARAL, E. F.. **A urbanização recente no Brasil e as aglomerações metropolitanas**. *XXIV General Population Conference of the International Union for the Scientific Study of Population (IUSSP)*, pp. 18-24, 2001.
- BURCHELL, R. W., & MUKHERJI, S. **Conventional development versus managed growth: the costs of sprawl**. *American journal of public health*, 2003
- CAMPOS, V. B. **Planejamento de Transportes**. *Conceitos e Métodos*, 2013..
- CAVARARO, R. **Classificação e caracterização dos espaços rurais e urbanos do Brasil, uma primeira aproximação** (11 ed.). Rio de Janeiro, , Brasil: Estudos e pesquisas informação geográficas, 2017.
- CERQUETI, R., CLEMENTE G. P. & GRASSI, R. **Influence measures in subnetworks using vertex centrality**. *Soft Computing*, 2019.
- CERVERO, R. **Jobs-housing balancing and regional mobility**, 1989.
- CERVERO, R. **Road expansion, urban growth, and induced travel: a path analysis**, 2001.
- CERVERO, R., & KICKELMAN, K. **Travel demand and the 3Ds: Density, Diversity and Design**. *Transportation research part D*, 1997.
- DA SILVA, R. B. **Desenho de redes de transporte público de passageiros**. Porto, 2009.
- DIELEMAN, F., & WEGENER, M. **Compact city and urban sprawl**. *Built enviroment*, 30, 2004.
- EWING, R., & CERVERO, R. **Travel and the built environment**. *Journal of the American Planning Association*, 2010.

- FRANK, L. D., & PIVO, G. **Impacts of mixed use and density on utilization of three modes of travel: single-occupant vehicle, transit and walking.** *Transportation Research Record*, 1994.
- FREEMAN, L. C. **Centrality in social networks: conceptual clarification**, 1978.
- GEAQUINTO, P. D. **Efeitos relacionais no planejamento integrado de transportes.** UFRJ, COPPE, Rio de Janeiro, 2018.
- GONÇALVES, J. A., PORTUGAL, L. D., & NETTO, P. O. **As potencialidades de indicadores de centralidades no estudo de um corredor ferroviário**, 2005.
- GORDON, P., KUMAR, A., & RICHARDSON, H. W. **Gender differences in metropolitan travel behaviour**, 1989.
- HANDY, S. **Regional versus local accessibility: implications for nonwork travel.** *Transportation research record*, 1993
- HANSEN, W. G. **How accessibility shapes land use.** *Journal of the American Institute of Planners*, 73-76, 1959.
- HANSON, S. **The determinants of daily travel-activity patterns: relative locations and sociodemographic factors.** *Urban geography*, 1982.
- HONG, S., TAMAKLOE, R., LEE, S. & PARK, D. **Exploring the topological characteristics of complex public transportation networks: focus on variations in both single and integrated systems in the Seoul Metropolitan Area.** *Sustainability*, 2019.
- IACONO, M.; LEVINSON, D.; EL-GENEIDY, A. **Models of Transportation and Land Use Change: A Guide to the Territory.** *Journal of Planning Literature*, v. 22, n. 4, p. 323– 340, 2008
- JONES, P., & LUCAS, K. **The social consequences of transport decision-making: clarifying concepts, synthesising knowledge and assessing implications**, 2012.
- JORGENSEN, J. **Demanda de transporte e centralidade: um estudo da distribuição espacial de viagens na cidade do Rio de Janeiro.** *Tese de mestrado. PET-COPPE/UFRJ*, 1998.
- JUNIOR, A. A. **Acessibilidade e mobilidade na estimativa de um índice de potencial de viagens utilizando redes neurais artificiais e sistemas de informações geográficas**, 2000.
- LEGISLATIVA, S. D. **DECRETO-LEI N. 311 – DE 2 DE MARÇO DE 1938 - Dispõe sobre a divisão territorial do país e á outras providências.** Brasil, 1938.
- LEVINSON, D. M. **Accessibility and the journey to work.** *Journal of Transport Geography*, 1998
- LIN, D., ALLAN, A., & CUI, J. **The impacts of urban spatial structure and socio-economic factors on patterns of commuting: a review**, 2015.
- LOPES, S. B. **Uma ferramenta para planejamento da mobilidade sustentável com base em modelo de uso do solo e transportes**, 2010.
- LOPES, S. B., BRONDINO, N. C., & SILVA, A. N. **Análise do desempenho de modelos de regressão espacial na previsão de demanda por transportes.** *XIV CONGRESSO PANAMERICANO DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO Y TRANSPORTE*, 2006.
- MARTINS, M. D., & DA SILVA, A. R. **Uma estratégia para avaliação da resiliência na mobilidade urbana.** *Transportes*, 2018.
- MCNALLY, M. G. **The activity approach**, 2000.

- MELLO, A., & PORTUGAL, L. **Um procedimento baseado na acessibilidade para a concepção de Planos Estratégicos de Mobilidade Urbana: o caso do Brasil**, 2017.
- MISRA, R., & BHAT, C. **Activity-travel patterns of non-workers in the San Francisco bay area: an exploratory analysis**, 2000.
- MONTE-MÓR, R. L. **O que é urbano, no mundo contemporâneo**. *Revista paranaense de desenvolvimento*, 111, 09-18, 2006.
- NAESS, P. 2004. **Residential location affects travel behavior - but how and why? The case of Copenhagen metropolitan area**. *Progress in Planning*, 167-257, 2004.
- NADALIN, V. & IGLIORI D. **Espraiamento urbano e periferização da pobreza na região metropolitana de São Paulo: evidências empíricas**. *EURE*, 91-110, 2015.
- NASCIMENTO, E., & MATIAS, L. F. **Expansão urbana e desigualdade socioespacial: uma análise da cidade de ponta grossa (PR)**. 65-97, 2011.
- NEWMAN, M. E. J, **Networks an introduction**, *Oxford university press*, 2018.
- NEWMAN, P. E., & KENWORTHY, J. R. **The land use-transport connection**, 1996.
- NEWMAN, P., & JENNINGS, I. **Cities as sustainable ecosystems principles and pratices**, 2008.
- NIELSEN, G., LANGE, T., OSLO, C. C., MULLEY, C., & NELSON, J. D. **Network planning and design for public transport success - and some pitfalls**, 2006.
- ORRICO FILHO, R. D. **Redes de transporte público coletivo urbano: um roteiro metodológico para sua concepção**, 2013.
- PAIVA, C. **Modelos Tradicionais Transporte e Tráfego**. ANTP. 2010
- PAULO, R. F. **O desenvolvimento industrial e o crescimento populacional como fatores geradores do impacto ambiental**. *Veredas do Direito*, 7, 173-189, 2010.
- PENDYALA, R. M., & KITAMURA, R. **Application of an activity-based travel-demand model incorporating a rule-based algorithm**. *Enviroment and planning B: planning and design*, 25, 753-772, 1998.
- PEREIRA, L. S. F, **Proposta metodológica para estimativas de fluxos de carga a partir de dados secundários: uma aplicação em Belo Horizonte**, 2013.
- PESCATORI, C. **Cidade compacta e cidade dispersa: ponderações sobre o projeto do Alphaville Brasília**. *R. B. ESTUDOS URBANOS E REGIONAIS*, 17(2), 40-62, 2015
- POÇOS DE CALDAS. Lei Complementar nº 92. **Dispõe sobre o uso e ocupação do solo do município de Poços de Caldas e dá outras providências**. Poços de Caldas: Prefeitura Municipal de Poços de Caldas, 2007b. Disponível em: http://200.195.60.10/leis/leiscomplementares/leiscomplementares_92.pdf. Acesso em: 22 jul. 2018.
- POÇOS DE CALDAS. **Plano de Mobilidade Urbana do Município de Poços de Caldas**. Poços de Caldas: Prefeitura Municipal de Poços de Caldas, 2019
- POLIDORO, M., BARROS, M. V., LOLLO, J., & BARROS, O. N. **Urban sprawl and the challenges for urban planning**. *Journal of Environmental Protection* , 3, 1010-1019, 2012.
- RIBEIRO, L. C., & RIBEIRO, M. G. **IBEU - Índice de Bem-Estar Urbano**, 2013.

ROBULOTTA, E., IGNACCOLO, M., INTURRI, G., & ROFÉ, Y. **Accessibilitu and centrality for sustainable mobility: regional planning case study**, 2013.

SANTOS, L. C., & GUTIERREZ, D. M. **A influência da conectividade na configuração da rede metroferroviária e no desenvolvimento da cidade** In: 20a Semana de Tecnologia Metroferroviária, 2014.

SCHEFFER, S. M. **Espaço urbano e política habitacional: uma naálise sobre Ponta Grossa**. *Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais Aplicadas), Universidade Estadual de Ponta Grossa*, 2003.

SCHWANEN, T. **Urban form and commuting behaviour: A cross-European perspective**. *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 2002.

SINCLAIR-SMITH, K. **Polycentric development in the Cape Town city-region: Empirical assessment and consideration of spatial policy implications**. *Development Southern Africa*, 131-150, 2015.

SILVA, A. A. & NÓBREGA, B. G., **Modelagem integrada de transportes e uso do solo na região de expansão sul/sudeste do distrito federal**. *Brasília*, 2018.

SINCLAIR-SMITH, K., & TUROK, I. **The changing spatial economy of cities: An exploratory analysis of Cape Town**. *Development Southern Africa*, 391-417, 2012.

SPIKERMANN & WEGENER. **The IRPUD Model**. *Urban and Regional Research*, 2011.

TURNER, T., & NIEMEIER, D. (1997). **Travel to work and household responsibility: new evidence**. *Transportation*, 24, 397-419.

WEGENER, M. **Overview of land-use transport model**. Em D. A. Hensher, J. B. Kenneth, E. H. Kingsley, & R. S. Peter, *Transport geography and spatial system*, 2004.

WU, F. **Polycentric urban development and land-use change in a transitional economy: the case of Guangzhou**. *Environment and Planning A*, 1077-1100, 1998.

ZHANG, Y., WU, W., LI, Y., LIU, Q., & LI, C. **Does the Built Environment Make a Difference? An Investigation of Household Vehicle Use in Zhongshan Metropolitan Area, China**. *Sustainability*, 2014.