

SHEILA ELISÂNGELA MENINI

**ÍNDICES DE MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL: ESTUDO DE CASO PARA
O CÂMPUS VIÇOSA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Taciano Oliveira da Silva

Coorientadores: Heraldo Nunes Pitanga
Afonso de Paula dos Santos

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2020**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade Federal de
Viçosa - Campus Viçosa

T

M545i
2020 Menini, Sheila Elisângela, 1972-
Índices de mobilidade urbana sustentável : estudo de caso para o
câmpus Viçosa da Universidade Federal de Viçosa / Sheila Elisângela
Menini. - Viçosa, MG, 2020.
202 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexo.

Inclui apêndices.

Orientador: Taciano Oliveira da Silva.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Transporte. 2. Transporte urbano - Aspectos ambientais.
3. Modelo decisório por critério múltiplo. 4. Campi universitários.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Civil.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. II. Título.

CDD 22 ed. 711.7

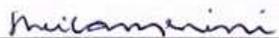
SHEILA ELISÂNGELA MENINI

**ÍNDICES DE MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL: ESTUDO DE CASO PARA
O CÂMPUS VIÇOSA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

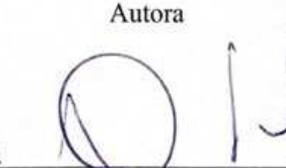
Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 19 de março de 2020.

Assentimento:



Sheila Elisângela Menini
Autora



Taciano Oliveira da Silva
Orientador

*Ao amor mais puro que se pode ter, Maria Eduarda, amo você, filha!
À amiga, Edna Gouvêa Abrão, que apesar de ter-nos abandonado de modo tão prematuro,
sempre torceu por esta conquista. Viverá para sempre em nossos corações.*

AGRADECIMENTOS

A Deus por nortear os meus caminhos.

Aos professores da Comissão Orientadora Taciano Oliveira da Silva, Heraldo Nunes Pitanga e Afonso de Paula dos Santos, pela confiança, dedicação e orientações.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram e torceram para a concretização desta conquista.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais - câmpus Juiz de Fora, por ter me proporcionado a possibilidade da licença remunerada para a capacitação.

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

RESUMO

MENINI, Sheila Elisângela, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2020. **Índices de mobilidade urbana sustentável: estudo de caso para o câmpus Viçosa da Universidade Federal de Viçosa.** Orientador: Taciano Oliveira da Silva. Coorientadores: Heraldo Nunes Pitanga e Afonso de Paula dos Santos.

O objetivo deste estudo foi propor um método para cálculo de índices de mobilidade urbana sustentável em câmpus universitários brasileiros, por meio do levantamento de informações e da análise de cinco aspectos relacionados a essa área do conhecimento: (i) infraestrutura para os deslocamentos às edificações, (ii) modos de transporte não motorizados, (iii) tráfego de veículos e circulação de pessoas, com ênfase na segurança viária, (iv) sistema de transportes urbanos e (v) infraestrutura para transportes motorizados. O processo de construção dos índices teve como ponto inicial um levantamento de dados em campo, seguido de uma pesquisa de opinião, aplicados ao câmpus Viçosa da Universidade Federal de Viçosa. Utilizou-se do geoprocessamento no mapeamento de atributos de campo e de um sistema de informação geográfica para ordenamento de critérios e realização de cálculos, por meio da análise multicritério de apoio à decisão (AMAD). Este processo permite que as informações sejam atualizadas periodicamente, gerando relatórios com maior consistência. Por meio da lógica *Fuzzy*, foram gerados os mapas para cada critério em escala padronizada. Utilizou-se o método de Combinação Linear Ponderada (WLC) para gerar o mapa final do índice de cada um dos estudos. A influência dos critérios (fatores), por meio dos pesos atribuídos, teve importância significativa no mapa final do índice de mobilidade urbana sustentável em cada análise. A apresentação dos resultados obtidos em mapas de adequabilidade possibilitou identificar quais critérios e locais necessitam de mais interferências para atendimento às condições estudadas. Dentre os estudos realizados, percebe-se que o índice que obteve menor nota foi o relacionado aos modos não motorizados. As infraestruturas para os deslocamentos às edificações obtiveram maior nota. O índice se constitui em uma ferramenta de suporte à proposição de políticas públicas que visem à mobilidade urbana sustentável em câmpus universitários. Sua aplicação pode se dar em toda a área do câmpus universitário ou em regiões específicas, permitindo uma avaliação comparativa e o desenvolvimento de ações apropriadas, a fim de proporcionar a melhoria das condições de mobilidade em termos sociais, econômicos e ambientais.

Palavras-chave: Mobilidade urbana sustentável. Análise multicritério. Câmpus universitários.

ABSTRACT

MENINI, Sheila Elisângela, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2020. **Sustainable urban mobility index: case study for the Viçosa campus at the Federal University of Viçosa.** Adviser: Taciano Oliveira da Silva. Co-advisers: Heraldo Nunes Pitanga and Afonso de Paula dos Santos.

This study sought to propose a method for calculating sustainable urban mobility indexes in Brazilian university campuses, by gathering information and analyzing five aspects related to this area of knowledge: (i) infrastructure for movements to buildings, (ii) non-motorized modes of transportation, (iii) vehicle traffic and people circulation, with an emphasis on road safety, (iv) urban transportation system and (v) motorized transportation infrastructure. The index construction process started with a survey of data in the field, followed by an opinion survey, applied to the campus Viçosa at the Federal University of Viçosa. Geoprocessing was used in the mapping of field attributes and a geographic information system for ordering criteria and performing calculations was applied, through multiple criteria decision analysis (MCDA). This process allows the information to be updated periodically, generating reports with greater consistency. Through Fuzzy logic, maps for each criterion were generated on a standardized scale. The Weighted Linear Combination (WLC) method was used to generate the final map of the index for each of the studies. The influence of the criteria (factors), by means of the assigned weights, had significant importance in the final map of the sustainable urban mobility index in each analysis. The presentation of the results obtained in adequacy maps made it possible to identify which criteria and locations need more interference to meet the studied conditions. Among the studies carried out, it is clear that the index with the lowest score was that related to non-motorized modes of transportation. The infrastructures for movements to buildings received higher marks. The index is a tool to support the proposition of public policies aimed at sustainable urban mobility on university campuses. Its application can occur in the entire area of the university campus or in specific regions, allowing a comparative evaluation and the development of appropriate actions, in order to improve the conditions of urban mobility in social, economic and environmental terms.

Keywords: Sustainable urban mobility. Multicriteria analysis. University campuses.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	15
1.1 Considerações iniciais	15
1.2 Hipótese	18
1.3 Objetivos da pesquisa	18
1.3.1 Objetivo geral	18
1.3.2 Objetivos específicos	18
1.4 Justificativa	19
1.5 Organização do trabalho	19
REFERÊNCIAS	20
2 METODOLOGIA DE ANÁLISE ESPACIAL PARA MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL	24
2.1 Considerações iniciais	24
2.2 Metodologia do trabalho	26
2.3 Métodos adotados para o tratamento de dados	27
2.3.1 Mapa de distâncias	28
2.3.2 Polígonos de <i>Thiessen</i> ou Diagramas de Voronoi	30
2.3.3 Densidade de <i>Kernel</i> ou mapas de superfícies	31
2.4 Mapa de Combinação Linear Ponderada	32
REFERÊNCIAS	33
3 ÍNDICE DE MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL PARA CÂMPUS UNIVERSITÁRIOS COM ÊNFASE NAS INFRAESTRUTURAS PARA OS DESLOCAMENTOS ATÉ AS EDIFICAÇÕES	37
3.1 Introdução	38
3.1.1 Contextualização do problema	38
3.1.2 Revisão da literatura	39
3.2 Método proposto	40
3.2.1 Descrição do método	40

3.2.2 Área para aplicação piloto do método	42
3.2.3 Aplicação do método em um estudo piloto	45
3.2.3.1 Deslocamento a partir da rede de transporte público até às edificações	45
3.2.3.2 Deslocamento a partir da rede de transporte público para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida até às edificações	45
3.2.3.3 Deslocamento a partir das faixas de travessia de pedestres adaptadas para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida até às edificações	46
3.2.3.4 Deslocamento a partir dos espaços abertos até às edificações	47
3.2.3.5 Deslocamento a partir das vagas de estacionamento para pessoas portadoras de deficiência e com dificuldade de locomoção até às edificações.....	47
3.2.3.6 Deslocamento a partir dos edifícios públicos com entradas acessíveis.....	48
3.2.3.7 Fragmentação físico-territorial	49
3.2.3.8 Índice de mobilidade urbana sustentável proposto.....	49
3.3 Resultados e discussões	51
3.3.1 Deslocamento a partir da rede de transporte público até às edificações	51
3.3.2 Deslocamento a partir da rede de transporte público para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida até às edificações	53
3.3.3 Deslocamento a partir das faixas de travessia de pedestres adaptadas para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida até às edificações	54
3.3.4 Deslocamento a partir dos espaços abertos até às edificações	56
3.3.5 Deslocamento a partir das vagas de estacionamento para pessoas portadoras de deficiência e com dificuldade de locomoção até às edificações.....	57
3.3.6 Deslocamento a partir dos edifícios públicos com entradas acessíveis.....	59
3.3.7 Fragmentação físico-territorial	60
3.3.8 Mapa do índice de mobilidade urbana sustentável em função de infraestruturas para os deslocamentos às edificações.....	61
3.4 Conclusões.....	63
REFERÊNCIAS	65

4 MÉTODO PARA UTILIZAÇÃO DE MODOS NÃO MOTORIZADOS COMO ÍNDICE DE MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL EM CÂMPUS UNIVERSITÁRIOS	68
4.1 Introdução.....	69
4.2 Método proposto.....	72
4.2.1 Descrição do método	72
4.2.1.1 Considerações iniciais	72
4.2.1.2 Descrição dos processos de avaliação para geração dos critérios	73
4.2.1.2.1 Extensão de infraestruturas cicloviárias	73
4.2.1.2.2 Características físicas das infraestruturas cicloviárias.....	74
4.2.1.2.3 Conectividade de infraestruturas cicloviárias.....	75
4.2.1.2.4 Localização de estacionamentos para bicicletas.....	76
4.2.1.2.5 Vagas de estacionamentos para bicicletas	77
4.2.1.2.6 Sinalização viária para modos não motorizados.....	78
4.2.1.2.7 Vias com calçadas	79
4.2.1.2.8 Fragmentação físico-territorial	80
4.2.1.3 Índice proposto	80
4.3 Experimento	82
4.3.1 Área para aplicação piloto do método proposto	83
4.3.2 Pesquisa exploratória.....	83
4.3.3 Resultados e discussões	85
4.3.3.1 Localização de estacionamentos para bicicletas.....	85
4.3.3.2 Vagas de estacionamentos para bicicletas	87
4.3.3.3 Sinalização viária para modos não motorizados.....	88
4.3.3.4 Vias com calçadas	89
4.3.3.5 Fragmentação físico-territorial	90
4.3.3.6 Mapa do índice para os modos não motorizados.....	91
4.4 Conclusões.....	93

REFERÊNCIAS	94
5 ÍNDICE DE MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL PARA CÂMPUS UNIVERSITÁRIOS COM ÊNFASE NA SEGURANÇA VIÁRIA.....	98
5.1 Introdução.....	99
5.2 Método proposto.....	100
5.2.1 Descrição do método	100
5.2.1.1 Considerações iniciais	100
5.2.1.2 Descrição dos critérios (fatores e restrição)	102
5.2.1.2.1 Acidentes de trânsito	102
5.2.1.2.2 Acidentes com pedestres	103
5.2.1.2.3 Acidentes com ciclistas	103
5.2.1.2.4 Prevenção de acidentes.....	103
5.2.1.2.5 Congestionamento	104
5.2.1.2.6 Velocidade média de tráfego	105
5.2.1.2.7 Taxa de ocupação de veículos	106
5.2.1.2.8 Fragmentação físico-territorial	107
5.2.1.3 Índice proposto	107
5.3 Experimento	109
5.3.1 Área para aplicação piloto do método	109
5.3.2 Resultados e discussões	111
5.3.2.1 Acidentes de trânsito	111
5.3.2.2 Acidentes com pedestres	113
5.3.2.3 Acidentes com ciclistas	114
5.3.2.4 Prevenção de acidentes.....	115
5.3.2.5 Congestionamento	117
5.3.2.6 Velocidade média de tráfego	118
5.3.2.7 Taxa de ocupação de veículos	121

5.3.2.8 Fragmentação físico-territorial	123
5.3.2.9 Mapa do índice de mobilidade urbana sustentável para o câmpus universitário analisado	123
5.4 Considerações finais	125
REFERÊNCIAS	126
6 ÍNDICE DE MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL PARA CÂMPUS UNIVERSITÁRIOS COM ÊNFASE NOS SISTEMAS DE TRANSPORTES URBANOS	129
6.1 Introdução	130
6.2 Método proposto	131
6.2.1 Descrição do método	131
6.2.1.1 Considerações iniciais	131
6.2.1.2 Descrição dos critérios	133
6.2.1.2.1 Distribuição de pesos segundo a Lógica <i>Fuzzy</i>	133
6.2.1.2.2 Extensão da rede de transporte público	135
6.2.1.2.3 Frequência de atendimento do transporte público	135
6.2.1.2.4 Pontualidade	135
6.2.1.2.5 Idade média da frota de transporte público	136
6.2.1.2.6 Satisfação do usuário com o serviço de transporte público	136
6.2.1.2.7 Diversidade de modos de transporte	137
6.2.1.2.8 Transporte público x transporte privado	137
6.2.1.2.9 Modos motorizados x modos não motorizados	138
6.2.1.2.10 Fragmentação físico-territorial	138
6.2.1.3 Índice proposto	138
6.3 Área para aplicação piloto do método proposto	140
6.4 Pesquisa exploratória	140
6.5 Resultados e discussões	141
6.5.1 Considerações iniciais	141
6.5.2 Extensão da rede de transporte público	142

6.5.3	Frequência de atendimento do transporte público.....	143
6.5.4	Pontualidade	145
6.5.5	Idade média da frota de transporte público	146
6.5.6	Satisfação do usuário com o serviço de transporte público.....	147
6.5.7	Diversidade de modos de transporte.....	148
6.5.8	Transporte público x transporte privado.....	149
6.5.9	Modos motorizados x modos não motorizados	150
6.5.10	Fragmentação físico-territorial	151
6.5.11	Mapa do índice para os sistemas de transportes urbanos para o câmpus universitário analisado	152
6.6	Conclusões.....	153
REFERÊNCIAS		154
7	MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DE ÍNDICE DE MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL A PARTIR DE ANÁLISE DE INFRAESTRUTURAS PARA TRANSPORTES MOTORIZADOS	157
7.1	Introdução.....	158
7.2	Método proposto.....	160
7.2.1	Descrição do método	160
7.2.1.1	Considerações iniciais	160
7.2.1.2	Descrição dos critérios (fatores e restrição)	161
7.2.1.2.1	Densidade viária	161
7.2.1.2.2	Grau de conectividade	162
7.2.1.2.3	Vias pavimentadas.....	163
7.2.1.2.4	Sinalização viária para modos motorizados	164
7.2.1.2.5	Fragmentação físico-territorial	165
7.2.1.3	Índice de mobilidade urbana sustentável proposto.....	165
7.3	Experimento	168
7.3.1	Área para aplicação piloto do método proposto.....	168

7.3.2 Pesquisa exploratória.....	169
7.3.3 Resultados e discussões.....	170
7.3.3.1 Densidade viária.....	170
7.3.3.2 Grau de conectividade.....	172
7.3.3.3 Vias pavimentadas.....	173
7.3.3.4 Sinalização viária para modos motorizados.....	174
7.3.3.5 Fragmentação físico-territorial.....	175
7.3.3.6 Mapa do índice de mobilidade urbana sustentável em função de infraestruturas para transportes motorizados.....	176
7.4 Conclusões.....	177
REFERÊNCIAS.....	178
8 CONCLUSÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS....	181
APÊNDICE A – Formulário para levantamento de pontos de ônibus.....	183
APÊNDICE B – Formulário para levantamento de faixas de pedestres.....	184
APÊNDICE C – Formulário para levantamento de vagas de estacionamento.....	185
APÊNDICE D – Formulário para levantamento de acesso aos edifícios do câmpus Viçosa da UFV.....	186
APÊNDICE E – Formulário para levantamento de vias urbanas.....	187
APÊNDICE F – Questionário: Mobilidade urbana no câmpus Viçosa da Universidade Federal de Viçosa.....	188
APÊNDICE G – Formulário para levantamento de calçadas.....	191
APÊNDICE H – Formulário para levantamento de dispositivos de moderação de tráfego...	192
APÊNDICE I – Formulário para pesquisa de capacidade de interseção.....	193
APÊNDICE J – Formulário para pesquisa de velocidade de tráfego.....	194
APÊNDICE K – Formulário para pesquisa de ocupação visual para automóveis e utilitários.....	195
APÊNDICE L – Formulário para pesquisa de contagem classificada de veículos.....	196

APÊNDICE M – Formulário para pesquisa de frequência e pontualidade de transporte coletivo urbano	197
ANEXO A – Documentos complementares	198

1 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Considerações iniciais

A Lei nº. 12.587, instituída em 3 de janeiro de 2012, estabelece a Política Nacional de Mobilidade Urbana, com diretrizes condutoras do planejamento da mobilidade urbana sustentável (BRASIL, 2012). Esta política, que objetiva a integração entre os diferentes modos de transporte e a melhoria da acessibilidade e da mobilidade das pessoas e cargas no território do município, é o instrumento de desenvolvimento urbano retratado no inciso XX do artigo 21 e no artigo 182 da Constituição Federal. Aquele instrumento, em seu artigo 2º, define:

A Política Nacional de Mobilidade Urbana tem por objetivo contribuir para o acesso universal à cidade, o fomento e a concretização das condições que contribuam para a efetivação dos princípios, objetivos e diretrizes da política de desenvolvimento urbano, por meio do planejamento e da gestão democrática do Sistema Nacional de Mobilidade Urbana (BRASIL, 2012, pg. 1).

Ao longo das últimas décadas, o aumento não planejado do uso do transporte motorizado criou alguns problemas que impactam a qualidade de vida da população urbana, dentre os quais os grandes congestionamentos, o aumento do tempo de deslocamento, a piora da saúde, os acidentes e as poluições sonora e do ar. A partir da dificuldade de solucionar esses problemas, a mobilidade urbana sustentável no Brasil passou a ser pauta de estudo para que esses e outros assuntos sejam solucionados (ABENOZA, CATS e SUSILLO, 2017; LIMA e MACHADO, 2019).

Para mapear as principais dificuldades a serem solucionadas na mobilidade urbana sustentável, os Polos Geradores de Viagens (PGVs) e o seu entorno são bons locais de estudo, por se tratarem de pontos críticos. Isso porque os PGVs têm capacidade de gerar atratividade sobre a população, produzir alto número de viagens e demandar grandes espaços para estacionamento, carga e descarga de bens e desembarque de indivíduos (SILVA, GLAUSER e LIMA, 2019).

Um bom exemplo de PGV são os câmpus universitários, haja vista a grande e diversificada quantidade de veículos que circulam diariamente nessas áreas, o que tende a gerar impactos negativos à instituição e às áreas que estão no seu entorno, sobretudo quando localizados em áreas urbanas adensadas e em um sistema viário com limite de capacidade

(GOLDNER, BEPPLER e PRIM, 2018). Câmpus universitários apresentam sistemas viários complexos que podem se assimilar aos de pequenas cidades, produzindo e atraindo um número expressivo de viagens (TAN e SILVA, 2019). Pode-se observar, nesse contexto, a necessidade de se realizar o planejamento da mobilidade sustentável nesses locais.

Para o Ministério das Cidades:

A mobilidade urbana é um atributo das cidades que se refere à propriedade de deslocamentos de pessoas e bens no espaço urbano. O deslocamento urbano é realizado através de veículos, vias, calçadas e envolve toda a infraestrutura que possibilite o ir e vir das pessoas. De acordo com o que uma determinada área se desenvolve, é necessário que haja meios e infraestrutura adequados que promovam o deslocamento suficiente de bens e pessoas (BRASIL, 2005, p.3).

A mobilidade urbana sustentável é o resultado de um conjunto de políticas de transporte e circulação que visam a priorização dos modos não motorizados e coletivo de transporte, de forma efetiva, que não gere segregações espaciais, socialmente inclusiva e ecologicamente sustentável, ou seja, baseado nas pessoas e não nos veículos. Em adição, a mobilidade urbana sustentável deve ser entendida de uma forma ampla, como o resultado de um conjunto de políticas de transporte, circulação, acessibilidade e trânsito, além das demais políticas urbanas, cujo objetivo maior está em priorizar o cidadão na efetivação de seus anseios e necessidades, melhorando as condições gerais de deslocamentos na cidade (BRASIL, 2014, p.14).

Uma abordagem utilizada para o processo de planejamento é a aplicação de índices, que permitem o diagnóstico da situação corrente de maneira quantitativa. Índices de mobilidade caracterizam um estudo minucioso das condições de mobilidade do local em que eles são aplicados, devido ao fato de, em sua metodologia de cálculo, serem compostos por vários indicadores (OLIVEIRA e SILVA, 2016). Cada indicador analisa um aspecto importante referente ao estudo.

Para Siche *et al.* (2007), existe certa confusão sobre os respectivos significados de índice e de indicador, os quais muitas vezes são erroneamente utilizados como sinônimos. Segundo Mitchell (1996), indicador é uma ferramenta que permite a obtenção de informações sobre uma dada realidade. Para Mueller, Torres e Morais (1997), um indicador pode ser um dado individual ou um agregado de informações, sendo que um bom indicador deve conter os seguintes atributos: simples entendimento, quantificação estatística, lógica coerente e comunicação eficaz do estado do fenômeno observado. Para Shields, Solar e Martin (2002), um

índice revela o estado de um sistema ou fenômeno. Prabhu, Colfer e Dudley (1999) argumentam que um índice pode ser construído para analisar dados através da junção de um conjunto de elementos com relacionamentos estabelecidos.

No contexto do planejamento da mobilidade urbana sustentável, estudos e pesquisas (SILVA, COSTA e MACEDO, 2008; PONTES, 2011; MIRANDA e SILVA, 2012; MORAIS e SILVA, 2012; FELIX *et al.*, 2012; AZEVEDO FILHO e SILVA, 2013; ABDALA e PASQUALETO, 2013; ASSUNÇÃO e SORRATINI, 2014; MAIA, AZEVEDO FILHO e SILVA, 2014; COSTA e MORAIS, 2014; FERREIRA *et al.*, 2018) aplicaram o cálculo do Índice de Mobilidade Urbana Sustentável (IMUS). Este índice permite, além da avaliação global da mobilidade urbana, avaliar aspectos específicos para os domínios Social, Econômico e Ambiental, auxiliando na proposição de políticas setoriais e integradas, voltadas à promoção do conceito de mobilidade urbana sustentável. Pode-se concluir em face aos resultados apresentados, que o IMUS é um instrumento suficientemente robusto para a elaboração de diagnósticos precisos da mobilidade urbana e possui a vantagem adicional de contribuir para a consolidação de uma nova forma de se pensar e conceber modelos de planejamento urbano, de transportes e da circulação, capazes ao mesmo tempo de garantir a mobilidade de pessoas e bens e promover a sustentabilidade ambiental (MACEDO, ABDALA E SORRATINI, 2018). Logo, tendo em vista o êxito de sua aplicação em áreas urbanas, sugere-se que a determinação dos índices pode auxiliar no planejamento em câmpus universitários.

Assim, o resultado desse índice pode direcionar as intervenções e metas que devem ser tomadas, a fim de possibilitar a manutenção em pontos analisados como positivos e de trazer melhorias para aqueles negativos, de modo a dar boa condição ao sistema de mobilidade sustentável do local analisado. É nesse contexto que o estudo de caso do câmpus Viçosa da Universidade Federal de Viçosa, a partir de seus índices de mobilidade, pode contribuir para a comunidade.

Apesar de diversos estudos abordarem os problemas observados nos câmpus universitários no Brasil (PARRA e PORTUGAL, 2006; AGUIAR, RAMOS e SILVA, 2009; COTRIM *et al.*, 2012; CHAVES e DUARTE, 2013; TOBIAS, BORGES e BRITO, 2013; SANCHES e FERREIRA, 2013; NERI e COSTA, 2014; CORREIA e SILVA, 2015; STEIN e SILVA, 2018), ainda há uma carência no que tange ao planejamento, pois muitas universidades não possuem planos efetivos para a gestão da mobilidade sustentável. Alguns dos fatores que influenciam o desenvolvimento da mobilidade sustentável são internos e dependem da gestão e infraestrutura do câmpus, enquanto outros são externos e estão relacionados com questões econômicas, políticas e sociais. Tão importante quanto identificar estes fatores é quantificar a

influência de cada um deles no desenvolvimento da mobilidade, bem como na escolha do modo de transporte (TAN e SILVA, 2019).

Partindo da premissa que existe uma lacuna em índices e indicadores voltados para câmpus universitários e dada a importância destes locais como PGVs, este estudo irá propor uma contribuição à ciência, por meio da utilização da análise multicritério em um sistema de informação geográfica, para determinação de índices de mobilidade urbana sustentável em um câmpus universitário. Por meio do método proposto, será possível verificar qualidades e deficiências de forma espacializada.

1.2 Hipótese

Como hipótese, afirma-se que o cálculo do índice de mobilidade a partir de dados, análises ou levantamentos, por meio da utilização da análise multicritério em um sistema de informação geográfica, auxiliará no planejamento da mobilidade urbana sustentável de câmpus universitários.

1.3 Objetivos da pesquisa

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um método para cálculo de índices de mobilidade urbana sustentável para câmpus universitários, por meio da utilização da análise multicritério em um sistema de informação geográfica.

1.3.2 Objetivos específicos

São objetivos específicos deste trabalho:

- a) desenvolver um método para cálculo de um índice de mobilidade urbana sustentável a partir de análises das infraestruturas para os deslocamentos às edificações, visando a sua utilização em câmpus universitários;
- b) propor um método para calcular um índice de mobilidade urbana sustentável a partir do levantamento de dados pertinentes a modos não motorizados utilizados em câmpus universitários;

- c) criar um método para cálculo de um índice de mobilidade urbana sustentável a partir de dados pertinentes ao tráfego de veículos e à circulação de pessoas, visando a sua utilização em câmpus universitários;
- d) elaborar um método para o cálculo de um índice de mobilidade urbana sustentável com base no levantamento de dados pertinentes ao sistema de transportes urbanos de um câmpus universitário;
- e) sugerir um método para cálculo de um índice de mobilidade urbana sustentável a partir de análises de infraestruturas para transportes motorizados, para utilização em câmpus universitários.

1.4 Justificativa

A abordagem da gestão das políticas de mobilidade urbana é orientada para as pessoas que necessitam ter seu direito de ir e vir garantido, principalmente com segurança (SEMOB, 2006). A importância dos índices de mobilidade urbana sustentável para câmpus universitários se deve ao fato de que essas instituições são PGVs que atraem um grande número de pessoas.

A fim de elaborar uma metodologia capaz de avaliar as condições de mobilidade e auxiliar no planejamento sustentável, o presente trabalho propõe a identificação dos aspectos relevantes que contribuem, direta e indiretamente, para a mobilidade sustentável dos câmpus universitários. Esta abordagem será traduzida na forma de critérios, com foco na sustentabilidade, que expressam a qualidade da mobilidade nesses PGVs.

Existe uma lacuna em índices e indicadores voltados para câmpus universitários, e, dada a importância destes locais como PGVs, este estudo irá propor uma contribuição à ciência, por meio da utilização da análise multicritério em um sistema de informação geográfica, para determinação de índices de mobilidade urbana sustentável, os quais serão compostos por um conjunto de indicadores, neste trabalho denominados critérios. Os estudos realizados até então não realizaram um diagnóstico das reais condições de mobilidade sustentável para câmpus universitários.

1.5 Organização do trabalho

Apresenta-se, neste item, a estrutura geral do trabalho, com uma síntese do que trata cada capítulo. O trabalho é composto de 8 capítulos, incluindo este, Capítulo 1 – Introdução geral.

O capítulo seguinte trata da metodologia de análise espacial para mobilidade urbana sustentável, após vem cinco capítulos que foram escritos em formato de artigo, estruturados com introdução, método proposto, experimento, conclusões e referências. Do terceiro ao sétimo capítulos, serão calculados os índices de mobilidade urbana sustentável para câmpus universitários, a saber: índice de mobilidade urbana sustentável com ênfase nas infraestruturas para os deslocamentos às edificações; modos não motorizados como índice de mobilidade urbana sustentável; índice de mobilidade urbana sustentável com ênfase na segurança viária; índice de mobilidade urbana sustentável com ênfase nos sistemas de transportes urbanos e índice de mobilidade urbana sustentável a partir da análise de infraestruturas para transportes motorizados.

O Capítulo 8 apresenta as conclusões gerais obtidas a partir dos cinco estudos abordados nessa pesquisa e sugere proposições para trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

ABDALA, I. M. R.; PASQUALETTO, A. Cálculo do Índice de Mobilidade Urbana Sustentável em Goiânia, monitoramento e auxílio nas Políticas Públicas. In: XV Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional da ANPUR - ENANPUR, 2013, Recife - PE. **Anais...** Recife: ANPUR, 2013.

ABENOZA, R. F.; CATS, O.; SUSILO, Y. O. **Travel satisfaction with public transport: Determinants, user classes, regional disparities and their evolution.** Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2017. v. 95, p. 64– 84. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.11.011>. Acesso em: 15 jul. 2019.

AGUIAR, F. O.; RAMOS, R. A. R.; SILVA, A. N. R. da. **Cenários de avaliação das restrições à mobilidade dos pedestres em espaços públicos: o caso de um campus universitário.** Transportes, 2009. v. 17, n. 2, p. 5-15. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/transportes.v17i2.354>. Acesso em: 15 jul. 2019.

ASSUNÇÃO, M. A.; SORRATINI, J. A. **Indicadores de mobilidade urbana sustentável - IMUS Uberlândia.** 1. ed. Saarbrücken: Novas Edições Acadêmicas, 2014. 1-193p.

AZEVEDO FILHO, M. A. N. de; SILVA, A. N. R. da. **Uma Avaliação Retrospectiva de Belém do Pará sob a Ótica da Mobilidade Sustentável.** Revista Transportes, 2013. v. 21 (2), p. 13-20.

BRASIL. **Lei nº 12.587**, de 03 de janeiro de 2012. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112587.htm. Acesso em: 13 out.2016.

BRASIL. Ministério das Cidades; IBAM. **Mobilidade e política urbana: subsídios para uma gestão integrada.** Rio de Janeiro, 2005. Convênio nº 7/2004.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Política Nacional de Mobilidade Urbana Sustentável**. Brasília: Ministério das Cidades, 2014.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Transportes e Mobilidade Urbana (SEMOB). **Módulo 2 - Cidade, cidadão e mobilidade urbana sustentável**. Secretaria Nacional de Transportes e Mobilidade Urbana, Gestão Integrada da Mobilidade Urbana. Brasília: Ministério das Cidades, 2006.

CHAVES, T. S.; DUARTE, P. C. Acessibilidade e mobilidade: o campus da Universidade Federal do Pampa - Bagé/RS. In: XXVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2013, Belém. **Anais...** Belém: ANPET, 2013.

CORREIA, S. A. V. L.; SILVA, A. N. R. da. **Atributos de rede para pedestres com restrições de mobilidade em um modelo para avaliação da acessibilidade**. *Ciência & Engenharia (Science & Engineering Journal)*, 2015. 24 (2): 19, pp. 19-28. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/19834071.2015.30547>. Acesso em: 10 jul. 2019

COSTA, L. P. da; MORAIS, I. R. D. **Espaço, iniquidade e transporte público: avaliação da acessibilidade urbana na cidade de Natal/RN por meio de indicadores de sustentabilidade**. *Sociedade & Natureza (UFU. Online)*, 2014. v. 26, p. 237-251.

COTRIM, S. L.; ASSUNÇÃO, M. E. P.; SIMÕES, F. A.; FILHO, D. A. M. Qualidade das calçadas no campus da Universidade Estadual de Maringá - PR. In: III Simpósio de Pós-graduação em Engenharia Urbana, 2012, Maringá – PR. **Anais...** Maringá, 2012.

FELIX, R. R. O. M.; SILVA, P. P. F.; SEYDELL, M. R. R.; LIMA, J. P. Estudo da Aplicabilidade de Indicadores de Mobilidade Urbana Sustentável para o Município de Itajubá – MG. In: Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável – PLURIS 2012: Reabilitar o Urbano, 2012, Brasília – DF. **Anais...** Brasília: Universidade de Brasília. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. 1ª edição. 2012.

FERREIRA, P.; GUARDA, E. L. A. da; LEÃO, M.; SANCHES, J. C. M.; OHIRA, L. S. **Índice de Mobilidade Urbana Sustentável (IMUS) para o Domínio Planejamento Integrado em Sinop-MT**. Cuiabá: E&S - Engineering and Science, 2018, 7:2.

GOLDNER, L. G.; BEPLER, F.; PRIM, J. Análise da mobilidade em um campus universitário. In: PLURIS 2012 - Congresso Luso-brasileiro de Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável, 2018, Brasília – DF. **Anais...** Brasília: 2018.

LIMA, J. P.; MACHADO, M. H. **Walking Accessibility for Individuals with Reduced Mobility: A Brazilian Case Study**. *Case Studies on Transport Policy*, 2019. v.7, p.1 – 20. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2019.02.007>. Acesso em: 20 mai. 2019.

MACEDO, M. H.; ABDALA, I. M. de R.; SORRATINI, J. A. Aplicação do índice de mobilidade sustentável (IMUS) no diagnóstico das condições de mobilidade em Goiânia. In: Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, 2013, Belém - PA. XXVII ANPET, 2013. **Anais...** Belém, ANPET, 2013.

MAIA, A. C. L.; AZEVEDO FILHO, M. A. N.; SILVA, A. N. R. da. **A contribuição do transporte público para a mobilidade urbana sustentável: o caso de Fortaleza e sua região metropolitana.** São Paulo: Revista dos Transportes Públicos, 2014. v. 1, p. 93-108.

MIRANDA, H. F.; SILVA, A. N. R. **Benchmarking sustainable urban mobility: The case of Curitiba, Brazil.** Lisboa: Transport Policy, 2012. v. 21, p. 141-151.

MITCHELL, G. **Problems and fundamentals of sustainable development indicators.** [S. l.]. Sustainable Development, 1996. v. 4, n. 1, p. 1-11.

MORAIS, T. C.; SILVA, A. N. R. da. Avaliação e seleção de alternativas para promoção da mobilidade urbana sustentável - o caso de Anápolis, GO. In: XXVI Congresso Nacional de Ensino e Pesquisa em Transporte - ANPET, 2012, Joinville - SC. **Anais...** Joinville, ANPET, 2012.

MUELLER, C.; TORRES, M.; MORAIS, M. **Referencial básico para a construção de um sistema de indicadores urbanos.** Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 1997.

NERI, H. C. F. R.; COSTA, A. D. L. Transporte não motorizado: o uso e potencialidade da bicicleta no entorno do campus da Universidade Federal do Amazonas - UFAM. In: XXVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2014, Curitiba – PR, **Anais...** Curitiba: ANPET, 2014.

OLIVEIRA, A. M.; SILVA, A. N. R. da. **Construção e validação de um índice para o planejamento da mobilidade com foco em polos geradores de viagens.** Rio de Janeiro: Transportes, 2016. v. 24, p. 29-37. Disponível em: <https://doi.org/10.4237/transportes.v24i3.1081>. Acesso em: 18 out. 2018.

PARRA, M. C.; PORTUGAL, L. S. **Gerenciamento da mobilidade dentro de um campus universitário: problemas e possíveis soluções no caso UFRJ.** Rio de Janeiro: Programa de Engenharia de Transportes (PET - COPPE/UFRJ), Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

PONTES, T. F. **Ocupação urbana da área metropolitana de Brasília versus mobilidade urbana sustentável.** Brasília: Universitas: Arquitetura e Comunicação Social, 2011. v. 8, n. 1.

PRABHU, R.; COLFER, C. J. P.; DUDLEY, R. G. **Guidelines for developing, testing and selecting criteria and indicators for sustainable forest management.** Indonesia: CIFOR. Toolbox Series, 1999. n. 1.

SANCHES, S. P.; FERREIRA, M. A. G. Mobilidade em um campus universitário. In: 19º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito, 2013, Brasília – DF. **Anais...** Brasília: ANTP, 2013.

SHIELDS, D.; SOLAR, S.; MARTIN, W. **The role of values and objectives in communicating indicators of sustainability.** Ecological Indicator, 2002. v. 2, n. 1-2, p. 149-160.

SICHE, R.; AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E.; ROMEIRO, A. **Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países**. Campinas: Ambiente & Sociedade, 2007. v. X, n.2, p. 137-148.

SILVA, A. N. R. da; COSTA, M. da S.; MACEDO, M. H. **Multiple views of sustainable urban mobility: The case of Brazil**. Transport Policy, 2008. v. 15(6), p. 350-360.

SILVA, C. C.; GLAUSER, R. C. A.; LIMA, J. P. Determinação do índice de mobilidade sustentável para campus universitário (IMSCAMP) da Universidade Federal de Itajubá. In: 33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET, 2019, Camboriú – SC. **Anais...** Camboriú: ANPET, 2019.

STEIN, P. P.; SILVA, A. N. R. da. **Barriers, motivators and strategies for sustainable mobility at the USP campus in São Carlos, Brazil**. Case Studies on Transport Policy. São Carlos, 2018. v. 6, p. 329-335. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2017.11.007>. Acesso em: 15 set. 2018.

TAN, F. M.; SILVA, A. N. R. da. **Potencial de transferência de um índice de mobilidade sustentável para campus universitário**. [S. l.]: Transportes, 2019. v. 27, n. 2, pp. 31-41.

TOBIAS, M. S. G.; BORGES, A. M.; BRITO, A. N. R. Desafios e soluções para mobilidade em campus universitário: um estudo de caso na UFPA - Belém - PA. In: XXVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2013, Belém – PA. **Anais...** Belém: ANPET, 2013.

2 METODOLOGIA DE ANÁLISE ESPACIAL PARA MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL

2.1 Considerações iniciais

Abreu *et al.* (2011) propõem como suporte a trabalhos que envolvam fenômenos que possam ser espacializados a aplicação de técnicas de análise espacial. A análise espacial é o conjunto de técnicas matemático-computacionais que operam sobre um conjunto de dados georreferenciados, de modo a auxiliar o analista no entendimento da dinâmica de determinado fenômeno, dando suporte para a tomada de decisões. No processo de tomada de decisão em um Sistema de Informação Geográfica (SIG), um dos métodos mais importantes é a análise multicritério. Nesse método, são possíveis duas técnicas: a) a análise booleana, na qual todos os critérios são combinados com a utilização de operadores lógicos de interseção e união (AND e OR, respectivamente), um resultado e/ou mapa booleano; e b) a técnica de combinação ponderada, sob a qual todos os critérios são normalizados de acordo com uma escala e agregados a partir de conjuntos de pesos. Na combinação ponderada, existem as técnicas de Combinação Linear Ponderada (*Weighted Linear Combination – WLC*) e de Média Ponderada Ordenada (*Ordered Weighted Average – OWA*) (CHEN e ZHU, 2010; JIANG e EASTMAN, 2000).

A análise booleana é dita conservadora, não assume riscos, pois uma área só é considerada apta para os fins avaliados se todos os critérios forem satisfeitos. Na WLC e na OWA, a falta de adequabilidade de um fator pode ser compensada por outro fator. Isso torna possível o balanceamento entre risco e compensação de adequabilidade entre os fatores. Na WLC o risco é médio e a compensação entre fatores é máxima, o que a torna a técnica de análise multicritério mais utilizada. Na OWA, esta compensação é realizada pela analista por meio dos pesos aplicados aos critérios; isso permite controlar o nível total de compensação entre eles, e o nível de risco na determinação da adequabilidade.

Metodologicamente, a única diferença entre a WLC e a OWA ocorre na determinação dos pesos dos fatores, visando controlar a relação entre risco e compensação.

Na análise booleana existem os problemas relacionados à definição de limites (fronteiras) rígidos para os critérios, e o fato de que todos eles possuem igual importância no mapa de adequabilidade. Já na análise de combinação ponderada, é usual a utilização de técnicas *Fuzzy*, criada por Loft Zadeh em 1956, a qual tem como objetivo a indefinição de fronteiras entre as classes, além da normalização dos vários critérios em uma mesma escala. A técnica *Fuzzy* pode

reduzir significativamente a propagação de incertezas relacionadas a um limite do critério (CALIJURI *et al.*, 2007; BURROUGH, 1992). Uma maneira de padronizar valores de variáveis se dá por meio do processo de variáveis distintas, pela transformação de valores por emprego de funções *Fuzzy*. Essas funções transformam os valores originais para uma nova escala, com valores contínuos que representam graus de adequabilidade.

Segundo Rodrigues (2001), várias funções *Fuzzy* podem ser utilizadas para reger a variação entre o ponto mínimo (a partir do qual os valores dos critérios começam a contribuir para a tomada de decisão) e o ponto máximo. Algumas das funções *Fuzzy* mais utilizadas são a Sigmoidal, a Linear e a J Shaped. A seleção dos pontos de controle (máximos e mínimos da função) é um dos aspectos críticos no processo de normalização. Na análise multicritério, a “Decisão” é definida como a escolha de alternativas que podem representar diferentes ações, localizações, planos ou hipóteses. O “Critério” representa uma condição que pode ser quantificada ou avaliada. Os critérios podem ser: restrições ou fatores. Uma restrição é um critério que limita as alternativas em consideração na análise. Um fator é um critério que acentua ou diminui a aptidão de uma determinada alternativa para o objetivo em causa (EASTMAN *et al.*, 1995).

Segundo Rodrigues, Ribeiro e Nogueira (2015), o uso do SIG no gerenciamento dos sistemas de transportes permite a realização de uma ampla gama de análises espaciais e a representação gráfica dos resultados para posterior interpretação. Por exemplo, Agüero-Valverde e Jovanis (2006) estimaram a frequência anual de colisões usando modelos hierárquicos e mostrando resultados em mapas; Erdogan *et al.* (2008) utilizaram o mapa de densidade de *Kernel* para identificar pontos críticos; Kumaresan, Vasudevan e Nambisan (2009) desenvolveram um sistema baseado em SIG para ser usado na identificação de questões de segurança de tráfego rodoviário em San Diego, Califórnia, EUA; Prasannakumara *et al.* (2011) combinaram SIG e o método de autocorrelação espacial – índice de Moran – funções de agrupamento espacial de Getis-Ord e o mapa de densidade de *Kernel* para avaliar densidades de acidentes e pontos críticos; Chen (2012) trabalhou no mapeamento de acidentes; Lourenço (2019), utilizando um SIG, realizou a análise espacial de acidentes de trânsito na cidade do Porto (Portugal), nos anos de 2015 e 2017, utilizando métodos de engenharia de tráfego, a técnica *hot spot* e a estimativa de densidade de Kernel; Ayala Filho e Lopes (2018) verificaram a possibilidade de utilização de um SIG aplicado ao Transporte (SIG-T) *open source* na avaliação de parâmetros de acessibilidade para o transporte coletivo do município de Joinville (Santa Catarina); Abitante, Lima e Pons (2016) realizaram a análise multicritério da acessibilidade no município de Campos do Jordão (São Paulo), para a discussão da mobilidade

urbana de forma sustentável; Gobbo (2019) desenvolveu um método para a identificação de espaços urbanos voltados para pedestres, através do uso de análise multicritério (AHP) e de ferramentas de geoprocessamento (SIG); Young e Park (2014) trabalharam na identificação de zonas críticas com análise de triagem baseada em SIG, mostrando uma alternativa interessante para a metodologia *Highway Safety Manual* (HSM). Também pode ser usada para medir a vulnerabilidade da rede rodoviária considerando a extensão de manutenção de interseções críticas em áreas urbanas (BALIJAPALLI e OPPONG, 2014), a manutenção de rodovia (PANTHA, YATABE e BHANDARY, 2010) e a distribuição geográfica de estradas (SILVA, MANZATO e PEREIRA, 2014). Os resultados obtidos nesses estudos podem ser utilizados no processo de tomada de decisão técnica, especificamente para planejar intervenções na rede rodoviária, a fim de melhorar as condições de tráfego, tanto em termos de infraestrutura e sinalização quanto para reduzir a taxa de acidentes em algumas áreas ou seções do tráfego da rede viária.

2.2 Metodologia do trabalho

A metodologia utilizada neste trabalho está representada na Figura 1. Nessa metodologia, a partir do objetivo da modelagem, foram definidos os fatores e as restrições. Os fatores estão relacionados aos dados espaciais utilizados. Estes, por exemplo, podem ser relacionados ao uso do solo; mobilidade urbana; distância de uma rodovia; distância até o centro da cidade; declividade; distância das áreas urbanas; etc.; e indicam a adequabilidade ao objetivo do estudo. Já as restrições, que possuem valores binários (0 ou 1), indicam as áreas totalmente inadequáveis (0) ou não (1) ao propósito do trabalho.

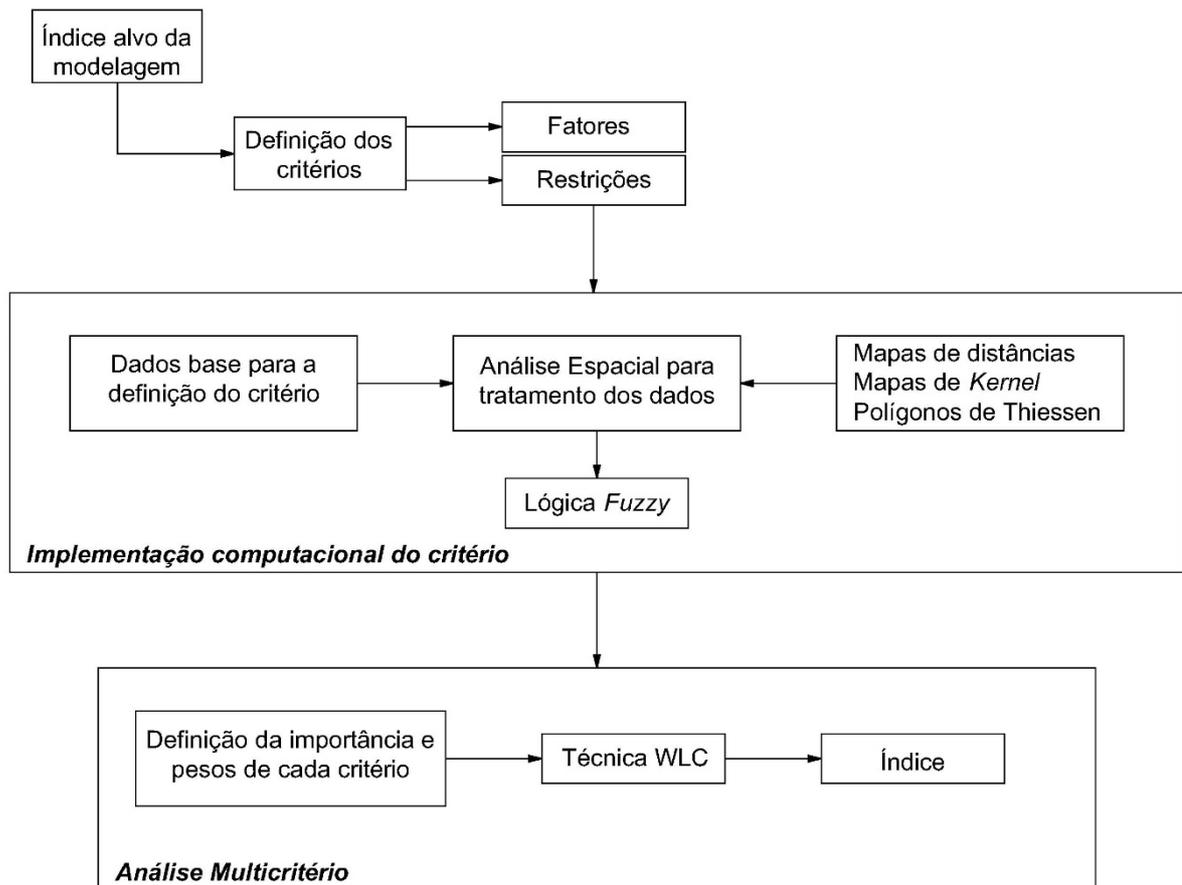
A partir dos dados que deram origem aos fatores e as restrições, foram utilizadas em um SIG algumas ferramentas para realizar a análise espacial. Neste estudo, as ferramentas utilizadas foram os Mapas de Distâncias, os Mapas de *Kernel* e os Polígonos de *Thiessen*; a descrição de sua implementação será detalhada no próximo item.

Como os fatores podem ser oriundos de diferentes tipos de dados, eles geralmente se encontram em escalas de adequabilidade diferentes entre si. Desse modo, a lógica *Fuzzy* tem o papel de converter os fatores para uma escala de adequabilidade única, a fim de se obter coerência para a comparação dos critérios.

Feito isso, deve-se então definir a importância de cada critério para o estudo em questão. Essa importância é retratada em pesos; quanto maior a importância para o estudo, maior será o peso do critério.

Por fim, utilizando a técnica WLC, torna-se possível unir as restrições, os fatores e os seus respectivos pesos, gerando um índice de adequabilidade único para cada estudo desta pesquisa.

Figura 1 – Metodologia do trabalho.



Fonte: Próprio autor.

2.3 Métodos adotados para o tratamento de dados

A mobilidade urbana sustentável é definida como o resultado de um conjunto de políticas de transporte e circulação que tem por objetivo propiciar o acesso amplo e democrático ao espaço urbano. Isso pode ser feito por meio da priorização dos modos não-motorizados e coletivos de transporte (BRASIL, 2004).

De acordo com Silva, Costa e Macedo (2008), a análise de um sistema de mobilidade urbana sustentável é realizada por meio de indicadores de sustentabilidade. Esses indicadores podem possuir características quantitativas (por exemplo: distância até os pontos de ônibus, disponibilidade de transporte público para pessoas com necessidades especiais, vagas de estacionamento para pessoas com necessidades especiais, acessibilidade a edifícios públicos,

etc.), qualitativas (por exemplo: estudos de impacto ambiental, despesas com a manutenção da infraestrutura de transportes, planejamento urbano, etc.) ou mistas (por exemplo: extensão e conectividade de ciclovias, vias para pedestres, tarifas de transporte, etc.).

Alguns desses indicadores podem ser obtidos por meio de operações utilizando ferramentas em algum SIG. Usualmente, para indicadores relacionados a distâncias, utiliza-se um Mapa de Distâncias; para a análise de densidade de ocorrências de algum evento, utiliza-se a Densidade de *Kernel*; e quando se deseja avaliar a região de influência de algum fator, utilizam-se os Polígonos de *Thiessen*.

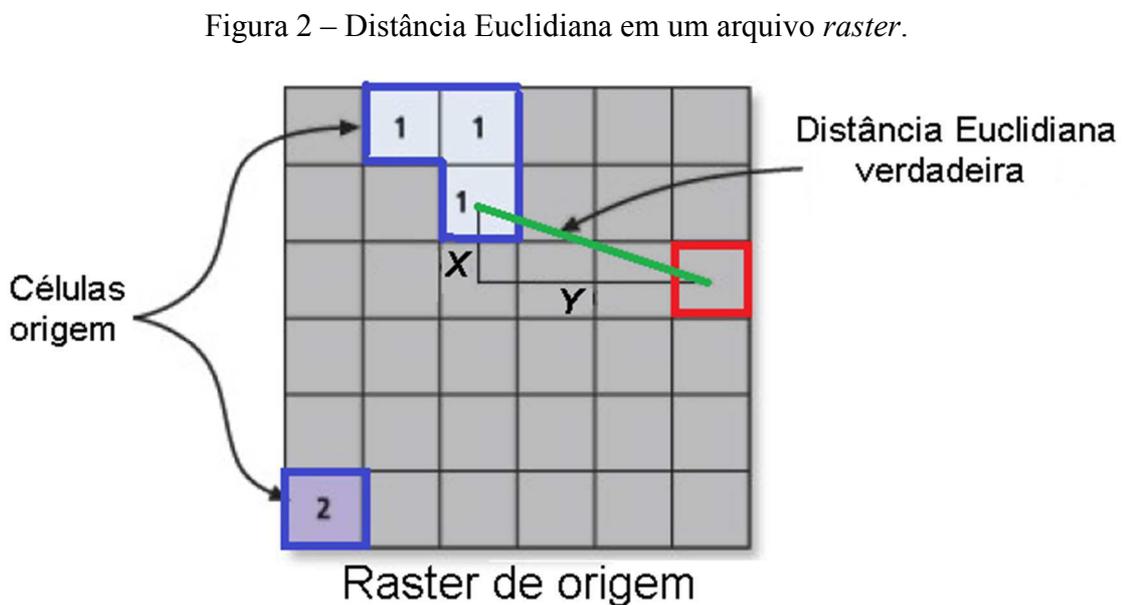
Essas ferramentas são as mais comuns em um SIG e, a seguir, serão detalhadas.

2.3.1 Mapa de distâncias

Um mapa de distâncias é uma representação gráfica que contém as distâncias de cada ponto do mapa a um objeto ou conjunto de objetos de referência. Trata-se de operação puramente geométrica (CÂMARA e MEDEIROS, 1996).

Para a determinação das distâncias entre pontos em um mapa de distâncias/imagem, podem-se utilizar diferentes métricas. A métrica mais natural, e também a mais utilizada em processamento de imagens, é a distância euclidiana, principalmente porque ela é invariante à rotação (LOTUFO e ZAMPIROLI, 2001).

Para ilustrar o funcionamento do algoritmo da distância euclidiana implementada em um SIG, considere a Figura 2.



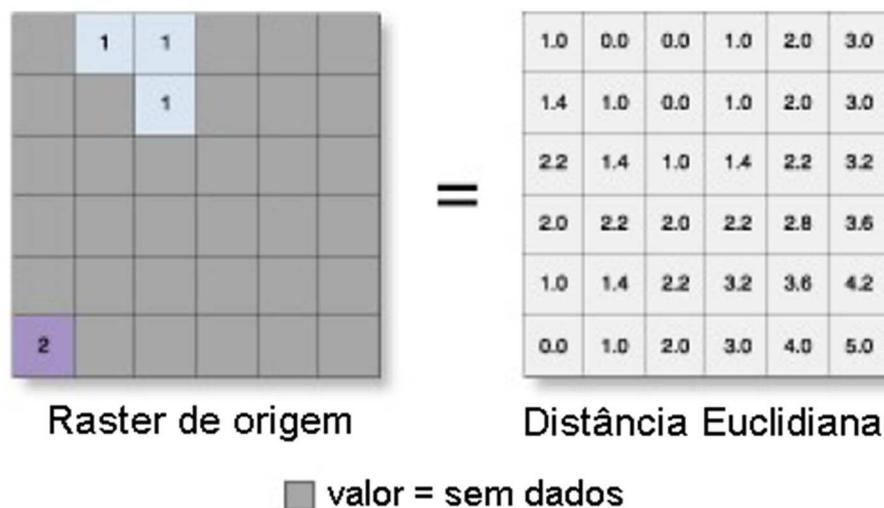
Fonte: Adaptado de ArcGis (2018).

A distância euclidiana é calculada a partir do centro das células de origem até o centro de cada uma das células vizinhas. Essas células de origem se referem à localização dos objetos de interesse. No caso deste estudo, pode ser a localização de pontos de ônibus acessíveis, faixas de travessia de pedestres adaptadas para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, localização de paraciclos, etc. Na Figura 2, as células de origem da distância euclidiana estão destacadas com a cor azul.

A distância euclidiana é a distância em linha reta e pode ser calculada usando o teorema de Pitágoras, se for o caso de um sistema de referência bidimensional, como acontece com um *raster*. Em um SIG, o algoritmo da distância euclidiana calcula, para cada célula, a distância até cada uma das células de origem. Um exemplo é apresentado na Figura 2, quando se deseja obter a distância euclidiana da célula com destaque vermelho. Esse cálculo é feito por meio da determinação da hipotenusa (destaque verde) a partir dos catetos (X e Y da Figura 2). A partir desse cálculo é obtida a distância euclidiana verdadeira, ao invés da distância da célula. A menor distância até uma origem é determinada e, então, esse valor é atribuído ao local da célula na geração do *raster* de saída, produzindo, assim, o mapa de distâncias.

Esse processo é repetido para todas as células do *raster* de origem para compor o mapa de distâncias, em um processo de varredura. Os valores de saída para a varredura de distância euclidiana são os valores da menor distância até a célula de origem mais próxima. Se uma célula estiver a mesma distância de duas ou mais células de origem, ela terá como valor atribuído a distância da origem que foi encontrada primeiro no processo de varredura. A Figura 3 mostra um exemplo do resultado de um processo de varredura.

Figura 3 – Processo de varredura da distância euclidiana.



Fonte: Adaptado de ESRI (2018).

Na elaboração dos mapas de distâncias empregados neste estudo foi utilizada a ferramenta de análise espacial “*Euclidean Distance*” presente no *software* ArcGIS 10.5. A partir do arquivo *raster* (imagem) ou feição (*shapefile*) de entrada, é feita a leitura dos *pixels* ou pontos, e posteriormente é gerada a saída *raster* com as distâncias euclidianas.

Como cada critério possui um parâmetro ou objeto de interesse, os resultados que utilizaram o mapa de distância poderiam se encontrar em diferentes escalas. Sendo assim, o arquivo *raster* de saída foi, posteriormente, padronizado de acordo com a aplicação da lógica *Fuzzy*, a qual realizou a padronização dos critérios/fatores para uma escala única de valores variando entre 0 e 10. Somente depois da padronização de cada variável analisada foi possível realizar a Combinação Linear Ponderada dos Planos de Informação utilizados.

2.3.2 Polígonos de *Thiessen* ou Diagramas de Voronoi

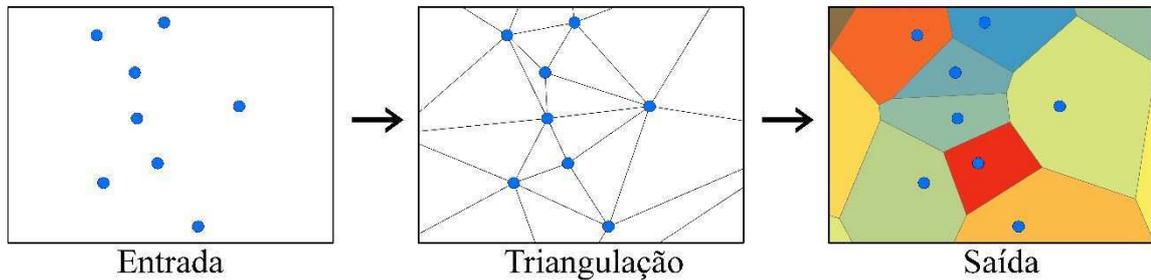
O método dos **Polígonos de Thiessen** foi desenvolvido em 1911 pelo meteorologista americano Alfred H. Thiessen, que aplicou a teoria do diagrama de Voronoi para o cálculo da precipitação média em determinada área de estudo (MARCIANO, BARBOSA e SILVA, 2018). Apesar da sua origem, os Polígonos de *Thiessen* têm aplicabilidade em diversas áreas do conhecimento e são amplamente utilizados atualmente, com destaque para as aplicações em estudos relacionados a recursos hídricos e previsão climática.

A sua ideia central é a criação de regiões de influência a partir de eventos pontuais. Para a implementação desse método e a criação dos polígonos, Thiessen (1911) e Marciano, Barbosa e Silva (2018) apresentam as seguintes etapas:

1. Inicialmente, deve-se unir os eventos pontuais de interesse por meio de linhas, formando uma triangulação. Geralmente, para uma triangulação mais eficiente, utiliza-se a triangulação de Delaunay;
2. Em seguida, deve-se criar retas perpendiculares cortando ao meio os lados dos triângulos (criação de mediatrizes);
3. Os encontros das retas formam os Polígonos de *Thiessen*; e
4. Por fim, o polígono recebe o atributo do ponto que nele está contido.

A Figura 4 apresenta um exemplo da elaboração dos Polígonos de *Thiessen*.

Figura 4 – Elaboração do polígono de *Thiessen*.



Fonte: Próprio autor.

Para a elaboração dos mapas que utilizaram essa metodologia neste estudo, foi utilizada a ferramenta de análise chamada “Create *Thiessen* Polygons”, disponível no *software* ArcGIS 10.5. Diferente do que ocorre com outras metodologias utilizadas nesta pesquisa, o arquivo de entrada necessariamente deve ser uma feição (*shapefile*); posteriormente é gerada a saída, que também é um arquivo de feição (*shapefile*), contendo os Polígonos de *Thiessen* (ou Diagrama de Voronoi).

2.3.3 Densidade de *Kernel* ou mapas de superfícies

A Densidade de *Kernel* calcula a densidade de feições pontuais ou lineares na vizinhança em torno destas feições (ESRI, 2020). É uma alternativa simples para analisar o comportamento de padrão de pontos quando se trata da densidade (DRUCK *et al.*, 2004).

A Densidade de *Kernel* é uma função de aglomeração bidimensional, cuja ideia central é realizar uma contagem de todos os pontos dentro de uma região de influência, ponderando-os pela distância de cada um à localização de interesse.

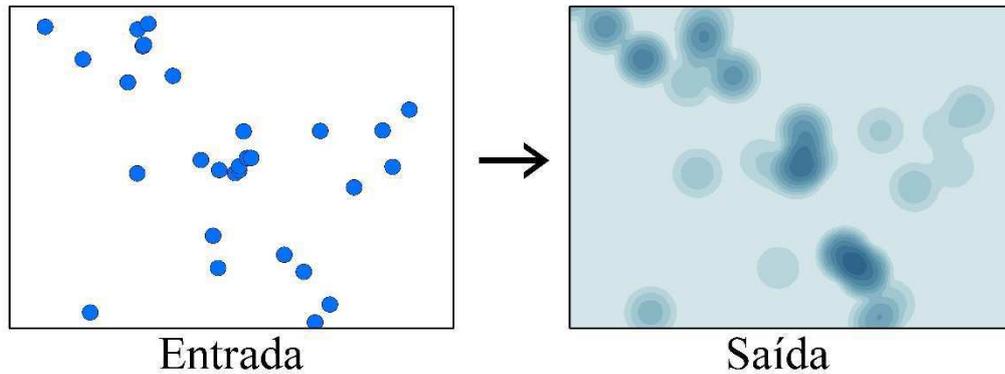
A saída da ferramenta Densidade de *Kernel* é um *raster* em que cada célula possui como valor a densidade de pontos no seu entorno. A Figura 5 apresenta um exemplo da aplicação dessa ferramenta, cuja entrada foi de feições pontuais.

Beato (2008) destaca que os mapas de *Kernel* ajudam a analisar padrões complexos de pontos sem perda de informação. É possível a identificação de *hotspots*, seja por inspeção visual ou significância estatística. Além disso, são úteis para analisar mudanças de padrões através do tempo. O método estatístico para a geração dos mapas de *Kernel* pode ser resumido como um algoritmo da seguinte forma.

É criada uma grade sobre o mapa a ser analisado; para cada ponto da grade identificam-se os pontos que estão a uma distância menor ou igual ao raio do círculo centrado nele, e para

cada ponto encontrado dentro do círculo é calculada a função *Kernel* nesse ponto e é acumulado o resultado; o resultado da soma acumulada é o *Kernel* do ponto da grade.

Figura 5 – Representação da densidade de *Kernel*.



Fonte: Próprio autor.

Para a elaboração dos mapas que utilizaram essa metodologia, foi utilizada a ferramenta de análise espacial chamada “*Kernel Density*”, disponível no *software* ArcGIS 10.5. A partir do arquivo de feição (*shapefile*) de entrada é realizada a leitura dos pontos ou linhas e, posteriormente, é gerada a saída de um *raster* em que cada *pixel* possui o valor de Densidade de *Kernel*.

Assim como para o mapa de Distância Euclidiana, para o mapa Densidade de *Kernel* foi realizada a mesma padronização de escala, por meio da aplicação da lógica *Fuzzy*. Dessa forma, o arquivo *raster* de saída passou a ter escala de valores entre 0 e 10, para que posteriormente pudesse ser realizada a Combinação Linear Ponderada dos Planos de Informação utilizados.

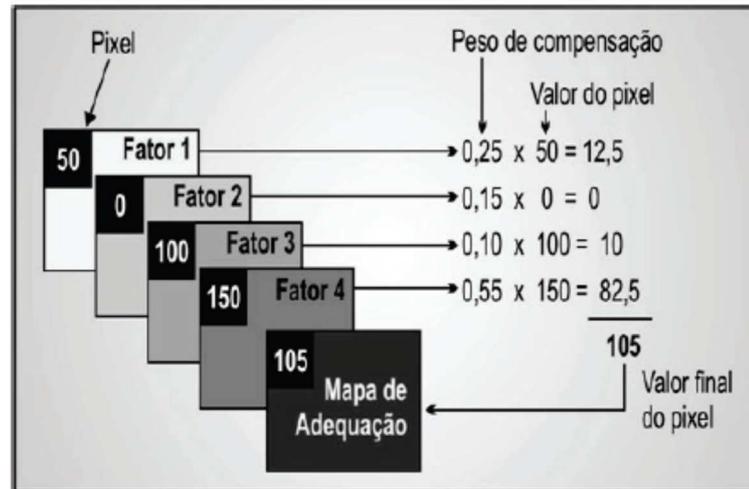
2.4 Mapa de Combinação Linear Ponderada

A principal razão da popularidade do método de Combinação Linear Ponderada (WLC) está na facilidade de sua implementação em ambiente SIG; o uso de álgebra de mapas e modelagem cartográfica ressaltam a facilidade de entendimento e aplicação do método por parte dos tomadores de decisão (BERRY, 1993; MALCZEWSKI, 2000). Outro ponto a ser destacado é que tal método demonstra a representação contínua da paisagem e a possibilidade de os fatores receberem pesos, de acordo com a importância que possuem para a finalidade do trabalho (CHEN, BLONG e JACOBSON, 2001; KANGAS *et al.*, 1998; STORE e KANGAS, 2001).

Nesse sentido, uma vez que os mapas de critérios (fatores e restrições) tenham sido gerados, é necessário apenas fazer uma multiplicação, levando em consideração o peso da

informação cartográfica pelo valor do *pixel* apresentado; posteriormente realiza-se a soma dos resultados apresentados, conforme Figura 6.

Figura 6 – Exemplo de Combinação Linear Ponderada.



Fonte: Sartori, Silva e Zimback (2012).

Para a elaboração dos mapas que utilizaram essa metodologia neste estudo, foi realizada a álgebra de mapas utilizando a ferramenta “*Raster Calculator*”, disponível no *software* ArcGis 10.5. Nessa ferramenta é realizada a entrada dos arquivos *raster* (imagem), compostos por fatores e restrições, e aplicados os respectivos pesos e, assim, é gerada na saída do *raster* referente à combinação dos planos de informações cartográfica.

REFERÊNCIAS

- ABITANTE, J. da C.; LIMA, J. P.; PONS, N. A. D. Avaliação Multicritério da Acessibilidade: O Caso de Campos do Jordão–SP. In: XXX ANPET Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2016, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: 2016.
- ABREU, M. V. S.; OLIVEIRA, J. C.; ANDRADE, V. D. A.; MEIRA, A. D. **Proposta metodológica para o cálculo e análise espacial do IDH intraurbano de Viçosa - MG.** Rio de Janeiro: Revista Brasileira de Estudos de População, 2011. vol.28, n.1, pp. 169-186.
- AGUERO-VALVERDE, J.; JOVANIS, P. P. **Spatial analysis of fatal and injury crashes in Pennsylvania.** Elmont: Accident Analysis and Prevention, 2006. vol. 38 (3), pp. 618-625.
- AYALA FILHO, G. G. M.; LOPES, S. B. **Sistemas de Informação Geográfica como ferramenta de planejamento de transportes em Joinville (SC).** Tupã: Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades, 2018. vol. 6, n. 39. pp. 33-50.

- BALIJPALLI, C.; OPPONG, O. **Measuring vulnerability of road network considering the extent of serviceability of critical road links in urban areas.** [S. l.]: Journal of Transport Geography, 2014. vol. 39, pp. 145-155.
- BEATO, C. **Compreendendo e avaliando: projetos de segurança pública.** Belo Horizonte: Editora UFMG, 2008. 219 p.
- BERRY, J. K. Cartographic modeling: the analytical capabilities of GIS. In: GOODCHILD, M.; PARKS, B.; STEYAERT, L. **Environmental modeling with GIS.** Oxford: Oxford University Press, 1993. pp. 58-74.
- BRASIL. Ministério das Cidades. **Política Nacional de Mobilidade Urbana Sustentável.** Brasília: Ministério das Cidades, 2004.
- BURROUGH, P. A. **Development of intelligent geographical information system.** London: International Journal of Geographical Information Systems, 1992. vol 6:1, pp. 1-11, DOI: 10.1080/02693799208901891
- CALIJURI, M. L.; ALVES, J. E. M.; BAPTISTA, A. C.; SANTIAGO, A. da F.; LOURES, S. S. P. Proposta metodológica para geração da carta de fragilidade ambiental, utilizando lógica fuzzy e combinação linear ponderada. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 3311-3318.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. **Geoprocessamento para projetos ambientais.** São José dos Campos: INPE, 1996. 139 p.
- CHEN, H. **Black spot determination of traffic accident locations and its spatial association characteristic analysis based on GIS.** [S. l.]: Journal of Geographic Information System, 2012. vol. 4, n. 6, pp. 608-617.
- CHEN, J.; ZHU, Q. Uncertainty and decision strategy analysis of GIS-based ordered weighted averaging method. In: International Conference on Information, Networking and Automation, Kunming, 2010. **Proceedings...** Kunming: ICINA, 2010. pp. V1-375-V1-379, doi: 10.1109/ICINA.2010.5636533.
- CHEN, K. P.; BLONG, R.; JACOBSON, C. **MCE-RISK: integrating multicriteria evaluation and GIS for risk decision-making in natural hazards.** Environmental Modelling and Software, 2001. vol. 16, n. 4, pp. 387-397.
- DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. (eds). **Análise Espacial de Dados Geográficos.** Planaltina: EMBRAPA, 2004. 208 p.
- EASTMAN, J. R.; JIN, W.; KYEM, P. A. K.; TOLEDANO, J. **Raster procedures for multicriteria/multi-objective decisions.** Worcester: Photogrammetry Engineering & Remote Sensing, 1995. vol. 61, n. 5, pp. 539-547.
- ERDOGAN, S.; YILMAZ, I.; BAYBURA, T.; GULLU, M. **Geographical information systems aided traffic accident analysis system case study: city of Afyonkarahisar.** Elmont: Accident Analysis and Prevention, 2008. vol. 40, pp. 174-181.

ESRI - Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS**. ESRI, 2018. Disponível em: <<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/understanding-euclidean-distance-analysis.htm>>. Acesso em: 2 abr. 2019.

ESRI - Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS Desktop 9.3 Help**. ESRI, 2020. Disponível em: <<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=How%20Kernel%20Density%20works>>. Acesso em: 7 mai. 2020.

GOBBO, C. A. R. **Identificação de Áreas de Especial Interesse Peatonal (AEIP) utilizando análise multicritério e ferramentas de geoprocessamento**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019. 82 f.

JIANG, H.; EASTMAN, J. R. **Application of fuzzy measure in multi-criteria evaluation in GIS**. London: International Journal Geographic Information Science, 2000. vol. 14, n. 2, pp. 173-184.

KANGAS, J.; ALHO, J.; KOLEHMAINEN, O.; MONONEN, A. **Analyzing consistency of expert judgments** – case of forest biodiversity. Oxford: Forest Science, 1998. vol. 44, pp. 603-609.

KUMARESAN, V.; VASUDEVAN, V.; NAMBISAN, S. Traffic Safety Analysis System. In: Annual ESRI International User Conference, San Diego, CA, USA, 2009. **Proceedings...** San Diego: ESRI, 2009.

LOTUFO, R. de A.; ZAMPIROLI, F. de A. Fast Multidimensional Parallel Euclidean Distance Transform Based on Mathematical Morphology. In: XIV Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing (SIBGRAP), Florianópolis, 2001. **Proceedings...** Los Alamitos: IEEE Computer Society, 2001. vol. 1, pp. 100-105.

LOURENÇO, D. M. D. **Análise Espacial da Sinistralidade Rodoviária na Cidade do Porto**. 2019. Dissertação (Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território). Faculdade de Letras, Universidade do Porto, Porto, 2019. 135 p.

MALCZEWSKI, J. **On the use of weighted linear combination method in GIS: common and best practice approaches**. [S. l.]: Transaction in GIS, 2000. vol. 4, n. 1, pp. 5-22.

MARCIANO, A. G.; BARBOSA, A. A.; SILVA, A. P. M. **Cálculo de precipitação média utilizando método de Thiessen e as linhas de cumeada**. Taubaté: Revista Ambiente e Água, 2018. vol. 13, n. 1, e1906. 9 p.

PANTHA, B. R.; YATABE, R.; BHANDARY, N. P. **GIS-based highway maintenance prioritization model: and integrated approach for highway maintenance in Nepal mountains**. [S. l.]: Journal of Transport Geography, 2010. vol. 18, pp. 426-433.

PRASANNAKUMARA, V.; VIJITHA, H.; CHARUTHAA, R.; GEETHA, N. **Spatio-temporal clustering of road accidents: GIS based analysis and assessment**. [S. l.]: Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2011. vol. 21, pp. 317-325.

- RODRIGUES, D. S. **Avaliação multicritério de acessibilidade em ambiente SIG.** 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Municipal). Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2001. 156 f.
- RODRIGUES, D. S.; RIBEIRO, P. J. G.; NOGUEIRA, I. C. da S. **Safety classification using GIS in decision-making process to define priority road interventions.** [S. l.]: Journal of Transport Geography, 2015. vol. 43, pp. 101-110.
- SARTORI, A. A. C; SILVA, R. F. B; ZIMBACK, C. R. L. **Combinação Linear Ponderada na Definição de Áreas Prioritárias à Conectividade entre Fragmentos Florestais em Ambiente SIG.** Viçosa, MG: Revista Árvore, 2012. vol. 36, n. 6, pp. 1079-1090.
- SILVA, A. N. R. da; COSTA, M. da S.; MACEDO, M. H. **Multiple views of sustainable urban mobility: The case of Brazil.** [S. l.]: Transport Policy, 2008. vol. 15, n. 6, pp. 350-360.
- SILVA, A. N. R. da; MANZATO, G. G.; PEREIRA, H. T. S. **Defining functional urban regions in Bahia, Brazil, using roadway coverage and population density variables.** [S. l.]: Journal of Transport Geography, 2014. vol. 36, pp. 79-88.
- STORE, R.; KANGAS, J. **Integrating spatial multi-criteria evaluation and expert knowledge for GIS-based habit suitability modeling.** [S. l.]: Landscape and Urban Planning, 2001. vol. 55, pp. 79-93.
- THIESSEN, A. H. **Precipitation averages for large areas.** Washington D. C.: Monthly Weather Review, 1911. vol. 39, n. 7, pp. 1082-1084.
- YOUNG, J.; PARK, P. Y., 2014. **Hotzone identification with GIS-based post-network screening analysis.** [S. l.]: Journal of Transport Geography, 2014. vol. 34, pp. 106-120.

3 ÍNDICE DE MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL PARA CÂMPUS UNIVERSITÁRIOS COM ÊNFASE NAS INFRAESTRUTURAS PARA OS DESLOCAMENTOS ATÉ AS EDIFICAÇÕES

RESUMO - O objetivo deste estudo foi desenvolver um método para cálculo de um índice de mobilidade urbana sustentável a partir de análises das infraestruturas para os deslocamento até as edificações, visando a sua utilização em câmpus universitários, por meio da utilização do geoprocessamento no mapeamento de atributos de campo e de um sistema de informação geográfica para ordenamento de critérios e realização de cálculos, utilizando-se de análise multicritério de apoio à decisão (*Multiple Criteria Decision Analysis – MCDA*). Foram adotados sete critérios: (i) deslocamento a partir da rede de transporte público até às edificações; (ii) deslocamento a partir da rede de transporte público para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida até às edificações; (iii) deslocamento a partir das faixas de travessia de pedestres adaptadas para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida até às edificações; (iv) deslocamento a partir dos espaços abertos até às edificações; (v) deslocamento a partir das vagas de estacionamento para pessoas portadoras de deficiência e com dificuldade de locomoção até às edificações; (vi) deslocamento a partir dos edifícios públicos com entradas acessíveis; (vii) fragmentação físico-territorial. Os critérios foram manipulados por um sistema de informação geográfica, o que permite que as informações sejam atualizadas periodicamente, gerando relatórios com maior consistência. Como resultado, foram obtidos mapas de distância e atribuída uma escala comum através da lógica *Fuzzy*. Após a verificação de cada critério, utilizou-se o método de Combinação Linear Ponderada (*Weighted Linear Combination – WLC*) para gerar o mapa em função do deslocamento às edificações. Dentre os critérios estudados, o deslocamento a partir dos espaços abertos às edificações no câmpus obteve melhor avaliação. Os critérios relacionados às pessoas com limitações de mobilidade tiveram baixas pontuações. O critério deslocamento a partir dos edifícios públicos com entradas acessíveis se apresentou precário. Recomenda-se a construção e validação de índices de mobilidade sustentável para outros câmpus, a fim de analisar as similaridades entre os modelos obtidos e a possibilidade de determinação de uma estrutura comum a este tipo de polo gerador de viagem.

Palavras-chave: deslocamento, câmpus universitários, mobilidade sustentável, análise multicritério.

SUSTAINABLE URBAN MOBILITY INDEX FOR UNIVERSITY CAMPUSES EMPHASIZING INFRASTRUCTURE FOR MOVEMENTS TO THE BUILDINGS

ABSTRACT - This study aimed to develop a method to calculate a sustainable urban mobility index based on the analysis of the infrastructure for movements to buildings. This index was designed to be applied in university campuses by employing geoprocessing in field attributes mapping, and through a geographic information system to sort the criteria and perform the calculations, using Multiple Criteria Decision Analysis. Seven criteria were adopted: (i) displacement from the public transportation network to buildings; (ii) displacement from the public transportation network for people with disabilities or with reduced mobility to the buildings; (iii) displacement from pedestrian crossings adapted for people with disabilities or with reduced mobility to buildings; (iv) displacement from open spaces to buildings; (v) displacement from the parking spaces for people with disabilities and with mobility difficulties to buildings; (vi) displacement from public buildings with accessible entrances; (vii) physical-territorial fragmentation. The criteria were manipulated by a geographic information system, which allows the information to be updated periodically, generating reports with greater consistency. As a result, distance maps were obtained, and a standard scale was assigned through Fuzzy Logic. After verifying each criterion, Weighted Linear Combination was employed to create the map according to the movements to the buildings. Among the investigated criteria, the movement from the open spaces to the campus buildings had the best score. The criteria related to individuals with mobility limitations had low scores. The criterion movement from public buildings with accessible entries had a mean score. It is recommended to build and validate sustainable mobility indexes for other campuses, in order to analyze the similarities between the models obtained and to create the possibility of determining a common structure for this type of travel generating pole.

Keywords: movement, university campuses, sustainable mobility, multicriteria analysis.

3.1 Introdução

3.1.1 Contextualização do problema

De acordo com o *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD, 2001), a mobilidade sustentável é “a capacidade de satisfazer desejos e necessidades da sociedade para

se locomover livremente, obter acesso, comunicação, comércio e estabelecer relações sem sacrificar outros valores fundamentais humanos ou ecológicos, hoje ou futuramente”.

As universidades em todo o mundo estão se tornando cada vez mais preocupadas com os efeitos nocivos do automóvel, enquanto também se esforçam para criar um ambiente de câmpus sustentável (PÁEZ e WHALEN, 2010). Em muitas universidades, o aumento do tráfego, associado ao aumento da matrícula de alunos, levou a várias externalidades automobilísticas, como congestionamento, redução da qualidade do ar, poluição sonora e altas taxas de acidentes.

É importante ressaltar que os câmpus universitários constituem uma comunidade de futuros tomadores de decisões e, geralmente, apresentam diferentes formas de transporte ativo, coletivo e individual (VALE, PEREIRA e VIANA, 2018). Além disso, os câmpus, em geral, apresentam ambientes de uso misto do solo, multimodais e caminháveis, sendo, portanto, locais propícios para boas práticas de mobilidade (CHERRY *et al.*, 2018). Nesse contexto, espera-se que essas instituições de ensino exerçam o papel de laboratório para práticas de mobilidade sustentável.

3.1.2 Revisão da literatura

Diversos estudos têm sido realizados relativos à mobilidade urbana em câmpus universitários, podendo-se destacar: no Brasil, Stein e Silva (2018) investigaram barreiras, motivadores e estratégias para promover a mobilidade sustentável na Universidade de São Paulo, em São Carlos. O modelo transteórico de mudança de comportamento foi utilizado para apoiar a análise dos dados. Cadena, Andrade e Dourado (2017) estudaram a mobilidade urbana na Universidade Federal de Pernambuco, onde foram identificados os principais componentes de seu sistema viário, as modificações em seu funcionamento perante a acelerada urbanização da cidade e as consequências causadas no seu esquema de mobilidade.

Olio *et al.* (2014), na Espanha, propuseram uma metodologia baseada em uma pesquisa de preferência revelada, visando estimar a importância de diferentes variáveis nas escolhas de mobilidade dos usuários. A metodologia foi aplicada na Universidade de Cantábria. Barata, Cruz e Ferreira (2011), em Portugal, ressaltaram a importância de adotar políticas integradas de gestão de estacionamentos que garantissem a melhoria da atratividade de modos de transporte alternativos, na Universidade de Coimbra.

Washington-Ottombre, Washington e Newman (2018) estudaram, nos Estados Unidos, o desenvolvimento da sustentabilidade em instituições de ensino superior (IES) locais.

Identificaram três épocas de sustentabilidade dos câmpus: o câmpus verde (1970-1990), o crescimento da sustentabilidade do câmpus (1990-2010) e a transformação das IES para implementar a sustentabilidade no câmpus e no entorno (desde 2010). Filipovitch e Boamah (2016), também naquele país, projetaram um modelo econômico de comportamento de usuários de estacionamento da Universidade Estadual de Minnesota. No Canadá, Nash e Mitra (2019) estudaram os padrões no comportamento de transporte em quatro universidades de Toronto.

Azzali e Sabour (2018) apresentaram um conjunto de diretrizes e soluções para apoiar o projeto de um plano de mobilidade sustentável para a Universidade do Catar. Na China, Sun *et al.* (2018) apresentaram um estudo de caso para a cidade de Wuhan, com o objetivo de examinar o serviço de transporte público para câmpus universitários fechados e seus impactos nas desigualdades espaciais e sociais. Na Grécia, Nalmpantis, Lampou e Naniopoulos (2017) abordaram o conceito de transferir a moradia de estudantes para câmpus universitários na Universidade Aristóteles de Tessalônica, a fim de diminuir a necessidade de transporte entre residência e câmpus. Stetieh (2018) realizou um estudo da acessibilidade para pessoas com deficiência nos edifícios da Escola de Engenharia, na Universidade da Jordânia.

Dentre os estudos verificados, percebe-se que há uma lacuna em índices voltados para câmpus universitários, embora seja inequívoca a relevância desses locais como Polos Geradores de Viagens (PGVs). Visando preencher tal lacuna, este estudo irá propor uma contribuição à ciência, através da utilização da análise multicritério para a determinação de um método para o cálculo de um índice de mobilidade urbana sustentável a partir de dados pertinentes às infraestruturas para os deslocamentos às edificações. Pretende-se realçar a importância dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) no gerenciamento dos sistemas de transportes, dada a capacidade de tais ferramentas permitirem a realização de uma ampla gama de análises espaciais e a representação gráfica dos resultados, para posterior interpretação. O método proposto não funciona como mitigador de problemas relacionados à mobilidade urbana em câmpus universitário, mas sim como um moderador da condição da mobilidade urbana em áreas urbanas de câmpus universitários.

3.2 Método proposto

3.2.1 Descrição do método

A base desse estudo foi o Índice de Mobilidade Urbana Sustentável (IMUS), concebido por Silva, Costa e Macedo (2008), que em seus domínios dá enfoque aos modos não

motorizados e motorizados. O IMUS inicialmente foi aplicado à cidade de São Carlos, no estado de São Paulo, Brasil, e conta com 9 domínios, divididos em 87 indicadores. O estudo do deslocamento às edificações proposto aqui faz parte de um dos domínios apresentados no referido trabalho, e lá é denominado acessibilidade. O domínio acessibilidade conta com 10 indicadores, dos quais 7 foram selecionados por melhor se aplicarem ao objeto de análise. Neste trabalho, os indicadores selecionados foram denominados critérios. Foram acrescidos ao método do IMUS, a utilização do geoprocessamento no mapeamento de atributos de campo e o uso de um sistema de informação geográfica para ordenamento de critérios e realização de cálculos, a fim de se obter um método para determinação do índice proposto, utilizando-se de análise multicritério de apoio à decisão (*Multiple Criteria Decision Analysis – MCDA*). Todos os critérios adotados foram manipulados por meio de um sistema de informação geográfica, permitindo que as informações sejam atualizadas periodicamente, gerando relatórios com maior consistência.

Para a determinação dos critérios (fatores ou restrição), foi empregado o *software* ArcGis 10.5, utilizando-se da análise multicritério. Os levantamentos de atributos em campo foram executados com o auxílio de um sistema de posicionamento global (GPS). Para a homogeneização dos diferentes fatores, utilizou-se a lógica *Fuzzy*, atribuindo-se aos fatores uma escala que varia de 0 a 10. Todos os critérios foram inseridos na base cartográfica da área urbanizada do câmpus universitário.

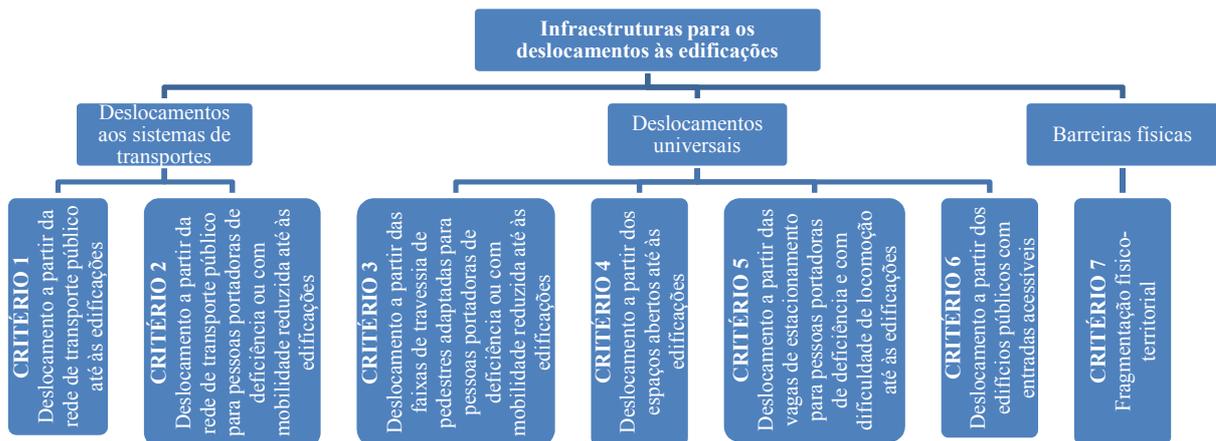
O processo de elaboração do método foi decomposto em três grupos e um total de sete critérios (Figura 1), sendo que os seis primeiros critérios foram considerados como fatores e o último critério foi considerado como restrição na análise multicritério.

Para a determinação do índice de mobilidade urbana em função de análises de infraestruturas para o deslocamento às edificações, foi proposta a delimitação da área efetivamente urbanizada na base georreferenciada do câmpus universitário, que contém informações sobre a população que utiliza cada prédio. Essas informações estão disponíveis em razão da inserção do número de funcionários e alunos por prédio, conforme dados fornecidos pela própria instituição de ensino superior, em um banco de dados vinculado à base cartográfica. O método adotado para o tratamento dos critérios foi o mapa de distâncias, por ser o método de variáveis quantitativas que refletiu o distanciamento de cada critério descrito. A lógica *Fuzzy* foi aplicada para atribuir uma escala comum, conforme funções lineares decrescentes, no intervalo de 0 a 10, onde 0 representa a pior condição do fator e 10, a melhor condição.

A utilização de funções lineares parte da teoria de Lautso *et al.* (2004), pela qual acredita-se que é necessário assumir como hipótese inicial a linearidade da função. Salienta-se que a

maior parte dos processos de normalização utiliza um valor máximo e outro mínimo para a definição de uma escala, em que a forma mais simples para obtenção dos valores intermediários é uma variação linear (SILVA, RAIÁ JUNIOR e BOCANEGRA, 2002).

Figura 1 – Indicadores de mobilidade urbana sustentável analisados.



Fonte: Adaptado de Silva, Costa e Macedo (2008).

A lógica *Fuzzy* tem como objetivo a indefinição de fronteiras entre as classes, além da normalização dos vários critérios em uma mesma escala, podendo reduzir significativamente a propagação de erros relacionados a um limite do critério (CALIJURI *et al.*, 2007).

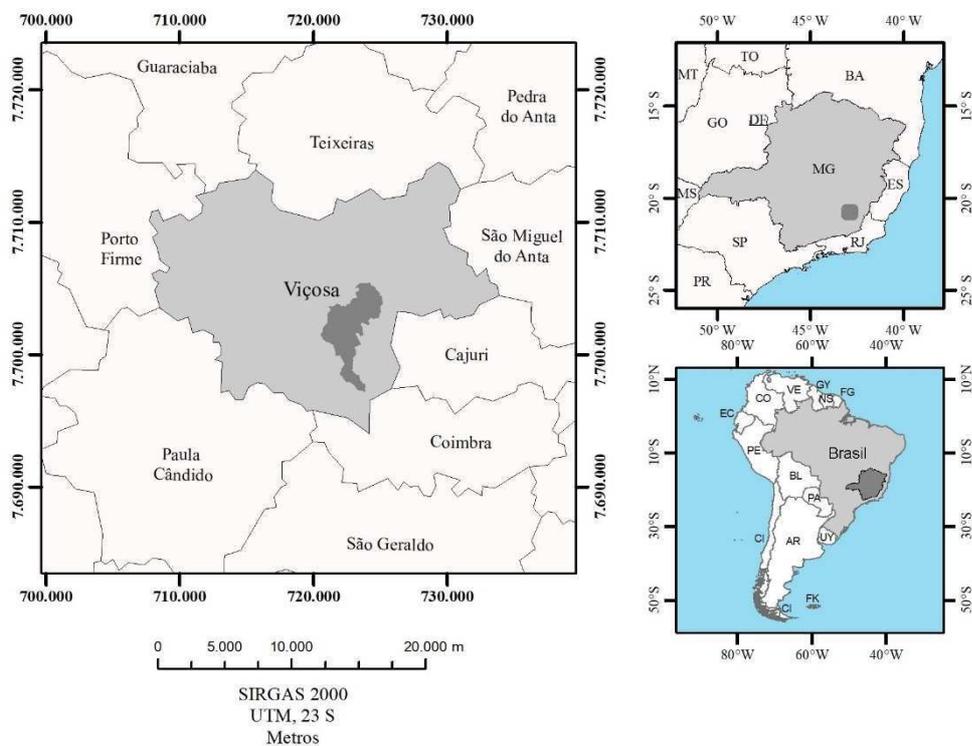
Após a verificação de cada critério, utilizou-se o método de Combinação Linear Ponderada (*Weighted Linear Combination – WLC*), para gerar o mapa de adequabilidade do índice de mobilidade urbana sustentável em função das infraestruturas para o deslocamento às edificações existentes na área urbana do câmpus universitário analisado. A partir do mapa de cada critério (fator), puderam ser quantificadas a população e a área atingida pela melhor condição do critério no câmpus estudado.

Voogd (1983) define a Combinação Linear Ponderada como um método no qual os fatores são padronizados de acordo com uma escala numérica comum, recebem pesos e são combinados por meio de média ponderada. O resultado é um mapa de prioridades que pode ser compartimentado em classes temáticas *fuzzy* (EASTMAN, 2001).

3.2.2 Área para aplicação piloto do método

Um câmpus universitário se torna um ponto a se destacar em termos de mobilidade urbana ao se converter em um PGV em uma cidade. O câmpus Viçosa da Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizado no município de Viçosa, estado de Minas Gerais, Brasil, foi escolhido como área de estudo, conforme Figura 2. A população do município de Viçosa é de 77.863 habitantes (IBGE, 2016), e situa-se no paralelo de $20^{\circ}45'S$ e no meridiano de $42^{\circ}52'W$. A referida instituição de ensino superior possui uma área de 1.611,30ha (16,113km²) e quadro social de 22.359 pessoas (UFV, 2016).

Figura 2 – Mapa de localização da área de estudo.

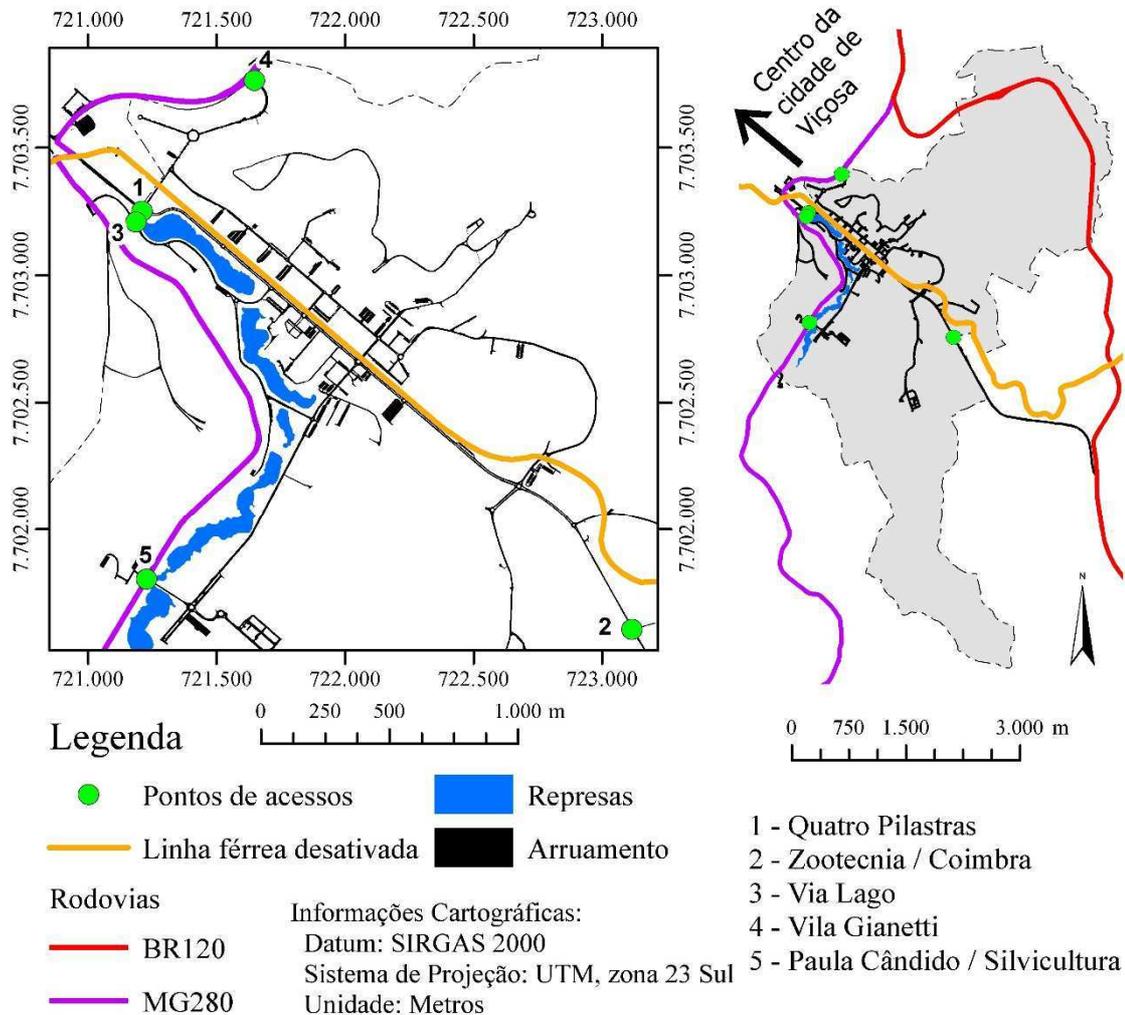


Fonte: Próprio autor.

O quadro social informado é composto pelos corpos discente, docente e técnico-administrativo e por funcionários de empresas terceirizadas que prestam serviços à universidade, somados aos corpos discente, docente e técnico-administrativo de duas escolas de nível médio, localizadas no espaço físico do câmpus, a saber, o Colégio de Aplicação da Universidade Federal de Viçosa (CAp-COLUNI) e a Escola Estadual Effie Rolfs. As duas escolas de nível médio possuem juntas 821 alunos, e, conforme pesquisa realizada no câmpus, eles apresentam o mesmo padrão de deslocamento dos estudantes universitários. A Universidade possui cinco pontos de acesso (Figura 3), os quais interligam o câmpus com o meio externo, representado pela cidade de Viçosa e pelas rodovias sob jurisdição estadual e

federal (MG-280 e BR-120, respectivamente). O câmpus possui também uma ferrovia desativada.

Figura 3 – Mapa de localização de acessos da UFV câmpus Viçosa.



Assim como acontece em outras universidades brasileiras, a Universidade Federal de Viçosa, câmpus Viçosa, vem sofrendo um grande problema no que diz respeito ao número de automóveis que frequentam o câmpus diariamente. Trata-se de um câmpus universitário aberto, com acesso permitido 24 horas por dia. Por estar localizado dentro da cidade, suas vias são muito utilizadas tanto pela comunidade acadêmica, quanto por motoristas que pretendem diminuir suas distâncias de deslocamento, gerando desta forma intenso tráfego de passagem.

Por ser um local que apresenta uma grande área verde, propícia para atividades de esporte e lazer, tanto os membros da universidade quanto a população da cidade de Viçosa utilizam esse espaço físico para fins esportivos e sociais, além dos educacionais.

3.2.3 Aplicação do método em um estudo piloto

3.2.3.1 Deslocamento a partir da rede de transporte público até às edificações

Foi realizado em campo, com o auxílio de equipamento GPS de navegação, o levantamento da localização dos pontos e abrigos de parada de ônibus existentes no câmpus, que foram inseridos na base cartográfica georreferenciada do câmpus universitário, fornecida por Matta e Cunha (2017), e das respectivas infraestruturas existentes. Foi utilizada uma função linear decrescente, com as distâncias de adequabilidade baseadas nas distâncias a partir de cada ponto de ônibus, micro-ônibus e vans, adaptadas a partir do estudo de Ferraz e Torres (2001), adotando-se para raio máximo de influência a distância de 500m, de forma a não penalizar o usuário com caminhadas mais longas. Distâncias de até 300m foram adotadas como sendo a melhor faixa de influência direta, conforme apresentado no Quadro 1. O resultado da aplicação dos pesos adotados e da lógica *Fuzzy* gerou um fator em que os valores são chamados de adequabilidade. Para todos os critérios (fatores) adotados para essa pesquisa, foi utilizado o procedimento supramencionado.

Quadro 1 – Pesos utilizados para o fator “Deslocamento a partir da rede de transporte público até às edificações”.

Peso	Distância
varia linearmente de 10 a 7 (função decrescente)	0 a 300m
varia linearmente para <7 a 0 (função decrescente)	>300 a 500m
0	>500m

Fonte: Adaptado de Ferraz e Torres (2001).

Nota: Peso 10: ótimo; Peso 5: regular; Peso 0: ruim

Quanto mais próximo se está de um ponto ou abrigo de ônibus, maior a adequabilidade, ou seja, maior a facilidade de acesso ao transporte público. O valor de adequabilidade igual a 10 (dez) corresponde ao ponto ou abrigo de ônibus, considerando-se adequabilidade igual a 0 (zero) para uma distância maior que 500m do ponto ou abrigo de ônibus.

3.2.3.2 Deslocamento a partir da rede de transporte público para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida até às edificações

Foi verificado o número de veículos comerciais (incluindo ônibus, micro-ônibus e vans) que compõem a frota de transporte público que atende ao câmpus universitário em estudo. Dos veículos comerciais identificados no referido câmpus, verificou-se também quais são adaptados

para transporte de pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida. Todos os percursos das linhas de transporte público foram mapeados com base no sistema viário da área urbanizada do câmpus universitário. Para a geração do mapa de distâncias a partir dos pontos ou abrigos de ônibus, levou-se em consideração a existência de calçadas e faixas de travessia de pedestres, em nível e elevadas, acessíveis para a circulação. As distâncias adotadas não foram calculadas de forma linear.

Conforme a norma técnica NBR 9050 (ABNT, 2015), distâncias de até 50m são consideradas como uma caminhada aceitável para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, de forma que esta distância foi tomada como a melhor faixa de influência direta. Adotou-se para raio máximo de influência a distância de 150m, de forma a não penalizar o usuário com caminhadas mais longas, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Pesos utilizados para o fator “Deslocamento a partir da rede de transporte público para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida até às edificações”.

Peso	Distância
varia linearmente de 10 a 7 (função decrescente)	0 a 50m
varia linearmente de <7 a 0 (função decrescente)	>50 a 150m
0	>150m

Fonte: Adaptado da ABNT (2015).

Nota: Peso 10: ótimo; Peso 5: regular; Peso 0: ruim

Quanto mais próximo se está de um ponto ou abrigo de ônibus por onde passa uma linha de transporte público adaptado, maior a facilidade de acesso à esse transporte. O valor de adequabilidade igual a 10 (dez) corresponde ao ponto ou abrigo de ônibus por onde passa uma linha de transporte público adaptado, considerando-se adequabilidade igual a 0 (zero) para uma distância maior que 150m do ponto ou abrigo de ônibus por onde passa esse tipo de transporte.

3.2.3.3 Deslocamento a partir das faixas de travessia de pedestres adaptadas para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida até às edificações

Todas as faixas de travessia de pedestres existentes na área urbanizada do câmpus universitário foram identificadas por meio de levantamentos de campo. Foram consideradas adaptadas aquelas onde a circulação entre a calçada e a faixa é acessível à circulação de pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, conforme a norma técnica NBR 9050 (ABNT, 2015), que estabelece critérios técnicos quanto à acessibilidade. Foram utilizados os valores de referência apresentados no Quadro 2.

Quanto mais próximo se está de uma faixa de travessia de pedestres adaptada para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, maior a facilidade de acesso à faixa de travessia de pedestres. O valor de adequabilidade igual a 10 (dez) corresponde à faixa de travessia de pedestres adaptada, considerando-se adequabilidade igual a 0 (zero) para uma distância maior que 150m dela.

3.2.3.4 Deslocamento a partir dos espaços abertos até às edificações

Com base na localização de todas as áreas verdes e de lazer do câmpus universitário, foi gerado um mapa de distâncias a partir de seus limites externos. Tais áreas foram identificadas por meio do potencial para utilização de práticas esportivas e de lazer. Os valores de referência apresentados no Quadro 1 foram utilizados para obter a distância de adequabilidade de acordo com os pesos propostos.

Quanto mais próximo se está de uma área verde ou de lazer, maior a facilidade de acesso a essa área. O valor de adequabilidade igual a 10 (dez) corresponde à área verde ou de lazer, considerando-se adequabilidade igual a 0 (zero) para uma distância maior que 500m dessas áreas.

3.2.3.5 Deslocamento a partir das vagas de estacionamento para pessoas portadoras de deficiência e com dificuldade de locomoção até às edificações

Através de um levantamento em campo na área urbanizada do câmpus universitário, verificaram-se e mapearam-se os estacionamentos públicos existentes e os respectivos números de vagas, tomando-se o cuidado de averiguar se as vagas especiais para pessoas portadoras de deficiência e com dificuldade de locomoção estavam devidamente sinalizadas e atendiam aos parâmetros determinados na legislação específica, vigente na Resolução do CONTRAN 304/2008 (CONTRAN, 2008) e na norma técnica NBR 9050 (ABNT, 2015).

De acordo com essas normas, quando for impraticável implantar rotas acessíveis entre as vagas de estacionamento para pessoas portadoras de deficiência e com dificuldade de locomoção e as edificações do entorno, devem ser previstas, em outro local, vagas de estacionamento a uma distância máxima de 50m da edificação pretendida. Os valores de referência para a obtenção das distâncias de adequabilidade são os apresentados no Quadro 2.

Quanto mais próximo se está da vaga de estacionamento para pessoas portadoras de deficiência e com dificuldade de locomoção, maior a facilidade de acesso a essa vaga. O valor

de adequabilidade igual a 10 (dez) corresponde à vaga, considerando-se adequabilidade igual a 0 (zero) para distâncias acima de 150m.

3.2.3.6 Deslocamento a partir dos edifícios públicos com entradas acessíveis

No levantamento das edificações públicas da área urbanizada do câmpus universitário, foram identificadas aquelas que atendiam aos parâmetros de acessibilidade e segurança para pessoas portadoras de deficiência e com mobilidade reduzida, conforme as normas técnicas e legislação vigentes, a saber, a Lei Federal nº 13.146 (BRASIL, 2015), que trata do Estatuto da pessoa com deficiência, e a NBR 9050 (ABNT, 2015).

Para cada edificação pública, foram cadastrados a localização da edificação, a quantidade de acessos, o tipo e a largura de cada acesso, e também foram identificadas as entradas acessíveis. Quanto maior o número de entradas acessíveis para pessoas portadoras de deficiência e com mobilidade reduzida, melhor a acessibilidade. A partir dessa consideração, utilizaram-se então as distâncias de caminhada a partir das edificações e o número de entradas acessíveis, de acordo com os pesos propostos nos Quadros 3, 4 e 5, com base no estudo de Ferraz e Torres (2001).

Quadro 3 – Pesos utilizados para o fator “Deslocamento a partir dos edifícios públicos com 3 ou mais entradas acessíveis”.

Peso	Distância
varia linearmente de 10 a 7 (função decrescente)	0 a 100m
varia linearmente de <7 a 4 (função decrescente)	>100 a 200m
varia linearmente de <4 a 0 (função decrescente)	>200 a 300m
0	>300m

Fonte: Adaptado de Ferraz e Torres (2001).

Nota: Peso 10: ótimo; Peso 5: regular; Peso 0: ruim

Quadro 4 – Pesos utilizados para o fator “Deslocamento a partir dos edifícios públicos com 2 entradas acessíveis”.

Peso	Distância
varia linearmente de 7 a 4 (função decrescente)	0 a 200m
varia linearmente de <4 a 0 (função decrescente)	>200 a 300m
0	>300m

Fonte: Adaptado de Ferraz e Torres (2001).

Nota: Peso 10: ótimo; Peso 5: regular; Peso 0: ruim

Quadro 5 – Pesos utilizados para o fator “Deslocamento a partir dos edifícios públicos com 1 entrada acessível”.

Peso	Distância
varia linearmente de 4 a 0 (função decrescente)	0 a 300m
0	>300m

Fonte: Adaptado de Ferraz e Torres (2001).

Nota: Peso 10: ótimo; Peso 5: regular; Peso 0: ruim

No *software* ArcGis, a partir da média dos três mapas de distâncias, foi gerado o mapa do critério. Quanto maior o número de entradas acessíveis para pessoas portadoras de deficiência e com mobilidade reduzida, maior a facilidade de acesso à edificação. Para cada edificação, verificou-se o número de entradas acessíveis e as distâncias máximas que receberam valores de adequabilidade distintos.

3.2.3.7 Fragmentação físico-territorial

Fragmentação físico-territorial é a proporção de terra urbanizada contínua do total da área urbanizada do câmpus universitário analisado, ou seja, não dividida por infraestruturas de transporte, como vias de trânsito rápido (rodovias, vias expressas e vias arteriais), vias para transporte ferroviário (ainda que desativadas) ou qualquer outra barreira física, natural ou construída que acarrete em descontinuidade (SILVA, COSTA e MACEDO, 2008).

Após identificação e delimitação dos elementos segregadores da área urbanizada do câmpus universitário, foram verificadas e quantificadas as parcelas de terra resultantes (blocos contínuos entre si e fragmentados).

3.2.3.8 Índice de mobilidade urbana sustentável proposto

Após a verificação de cada critério, utilizou-se o método WLC. Os seis primeiros critérios descritos são fatores na análise multicritério, os quais receberam pesos, conforme apresentados no Quadro 6. Foi adotado o critério “Fragmentação físico-territorial” como uma restrição (neste estudo, a ferrovia, as rodovias, as lagoas e as florestas foram consideradas), no qual a possibilidade de deslocamento é nula, ou seja, não há possibilidade de acesso. Somente os fatores receberam peso; a “Fragmentação físico-territorial” não recebeu peso, por se tratar de restrição.

Quadro 6 – Pesos adotados para os critérios (fatores) analisados na pesquisa.

Critério	Fator	Pesos
1	Deslocamento a partir da rede de transporte público até às edificações	0,16
2	Deslocamento a partir da rede de transporte público para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida até às edificações	0,16
3	Deslocamento a partir das faixas de travessia de pedestres adaptadas para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida até às edificações	0,20
4	Deslocamento a partir dos espaços abertos até às edificações	0,07
5	Deslocamento a partir das vagas de estacionamento para pessoas portadoras de deficiência e com dificuldade de locomoção até às edificações	0,16
6	Deslocamento a partir dos edifícios públicos com entradas acessíveis	0,25
Total		1,00

Fonte: Próprio autor.

A hierarquia de pesos foi dada em função da relevância dos critérios (fatores) em relação às interferências das infraestruturas para os deslocamentos às edificações e foi adotada em função da importância dos fatores para o propósito dessa pesquisa, desenvolvida na área urbanizada de um câmpus universitário em que as principais atividades desenvolvidas são relacionadas ao ensino, à pesquisa e à extensão. O maior peso entre os fatores analisados foi atribuído para o critério “Deslocamento a partir dos edifícios públicos com entradas acessíveis”, visto que os deslocamentos estão garantidos ao quadro social uma vez que este consiga adentrar as dependências de seu local de estudo ou trabalho. Em sequência, tem-se o fator “Deslocamento a partir das faixas de travessia de pedestres adaptadas para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida até às edificações”, que representa a possibilidade de locomoção, independentemente da forma de transporte utilizada para a locomoção na área urbanizada do câmpus.

Para os fatores “Deslocamento a partir da rede de transporte público até às edificações”, “Deslocamento a partir da rede de transporte público para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida até às edificações” e “Deslocamento a partir das vagas de estacionamento para pessoas portadoras de deficiência e com dificuldade de locomoção até às edificações”, foi adotado o mesmo peso, pela necessidade de utilização de transportes públicos ou privados como meio de locomoção até os edifícios do câmpus. Foi considerado como fator de menor importância “Deslocamento a partir dos espaços abertos até às edificações”, justamente por se considerar que a área em estudo dispõe destes espaços de forma secundária, garantindo espaços de lazer tanto para o quadro social do câmpus universitário, quanto para os moradores da região. Foram atribuídos pesos a cada fator, de acordo com o seu grau de importância, de forma que o somatório dos pesos é igual a 1,0. Os pesos foram adotados em função das características do câmpus estudado e em função da importância que lhes suscitava do ponto de vista da utilização.

Após a definição de pesos para os critérios (fatores) apresentados no Quadro 6, calculou-se o valor do índice para a mobilidade urbana sustentável em função das infraestruturas para os deslocamentos às edificações, conforme a Equação 1.

$$\begin{aligned} \text{Índice de} \\ \text{mobilidade urbana} = & \{[(\textit{Critério 1}) * 0,16] + [(\textit{Critério 2}) * 0,16] + [(\textit{Critério 3}) * 0,20] + \\ & [(\textit{Critério 4}) * 0,07] + [(\textit{Critério 5}) * 0,16] + [(\textit{Critério 6}) * 0,25]\} * \\ \text{sustentável} & (\textit{Critério 7}) \quad (1) \end{aligned}$$

Utilizando a combinação de fatores ponderados e restrições, em função da fragmentação físico-territorial da área de estudo, foi obtido o índice de mobilidade urbana sustentável em função das infraestruturas para os deslocamentos às edificações para o câmpus universitário. Por meio da Equação 1, foi gerado o mapa final, através da análise multicritério. Para cada critério (fator), foi calculada a população atendida em relação ao quadro social do câmpus universitário em análise. Para cada edificação do câmpus universitário, foi lançado inicialmente o número de alunos, de professores e de servidores técnico-administrativos locados em cada prédio - informação disponibilizada pela própria instituição. Esse número não corresponde ao quadro social do câmpus Viçosa da UFV, mas serve como parâmetro para verificação da lotação dos diferentes edifícios nos horários de pico.

3.3 Resultados e discussões

Nos critérios apresentados foram utilizadas distâncias lineares, pois não há mapeamento de todos os passeios e calçadas existentes no câmpus universitário estudado.

3.3.1 Deslocamento a partir da rede de transporte público até às edificações

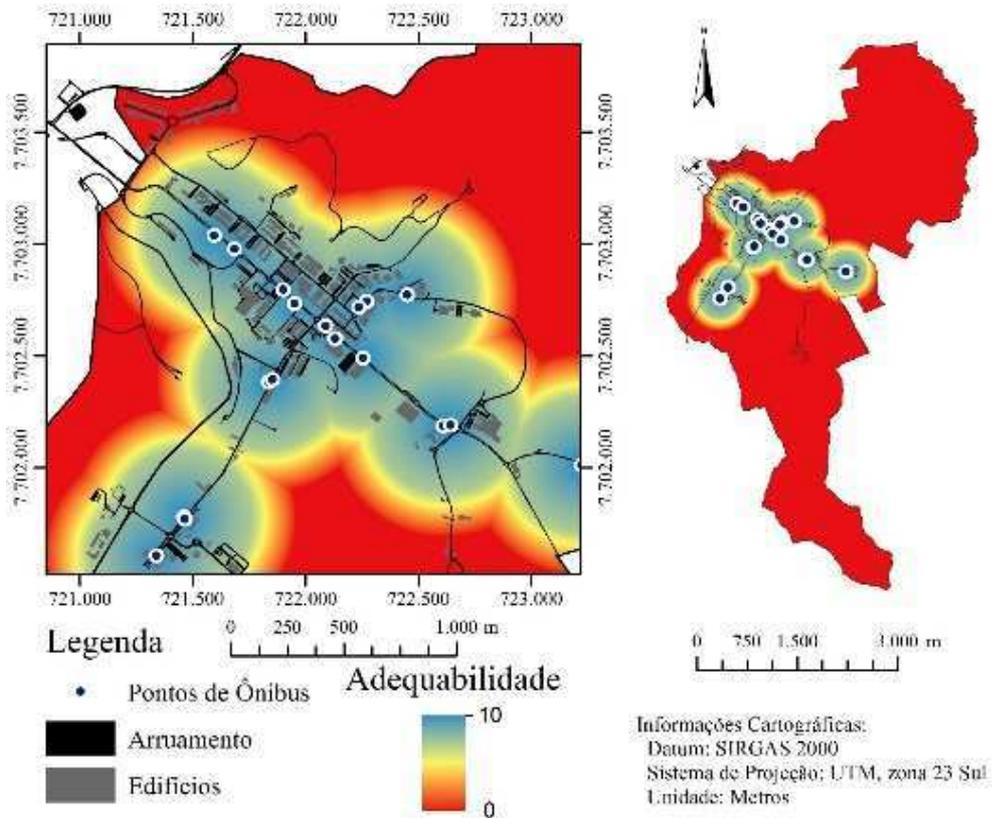
Foram verificados 18 pontos de ônibus na área urbanizada do câmpus Viçosa da UFV, sendo 10 paradas com sinalização vertical e 8 com estrutura de abrigo, conforme levantamento realizado em março de 2017. Esse critério (fator) foi gerado conforme apresentado na Figura 4.

A Tabela 1 apresenta a população atendida conforme as distâncias de adequabilidade adotadas a partir dos pontos e abrigos de parada de ônibus existentes.

A população total para cada critério (9.484 pessoas) não corresponde à população total do câmpus (aproximadamente 22.359 pessoas), visto que foi considerada, para cada prédio do câmpus Viçosa, a ocupação máxima horária por salas de aula, por semana, juntamente com o

número de professores e servidores técnico-administrativos locados em cada prédio, quantitativo para o 1º semestre do ano de 2017. Alunos em pesquisa locados em laboratórios ou demais espaços da UFV e servidores de empresas terceirizadas não foram computados.

Figura 4 – Mapa do fator “Deslocamento a partir da rede de transporte público até às edificações”.



Fonte: Próprio autor.

Tabela 1 – População atendida pelo critério “Deslocamento a partir da rede de transporte público até às edificações” por faixa de influência na área urbana do câmpus.

FAIXA DE INFLUÊNCIA (m)	População atendida com acesso aos pontos de ônibus	Área (km ²)
0 – 300	8.602	2,111
>300 – 500	373	1,864
>500	509	12,138
TOTAL	9.484	16,113

Fonte: Próprio autor.

Considerando a distância de adequabilidade de 0 a 300m, a partir do ponto ou abrigo de ônibus, que corresponde ao fator 10, classificado como ótimo, conclui-se que os pontos de ônibus atendem a uma população de 8.602 pessoas, o que corresponde a 90,51% da população locada nos diversos edifícios do câmpus, abrangendo 2,111km².

O deslocamento da rede de transporte público às edificações, verificado na Figura 3, é mais ofertado na área central do câmpus. A população com menor atendimento está localizada junto à Vila Giannetti e à Avenida Purdue, por onde não circula o transporte coletivo.

3.3.2 Deslocamento a partir da rede de transporte público para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida até às edificações

A cidade de Viçosa é atendida, em seu sistema de transporte coletivo, por ônibus e micro-ônibus. A única empresa que atende à demanda de transporte público coletivo desse município atende também ao câmpus universitário e disponibilizou as informações referentes ao número de veículos que compõem a frota municipal de transporte público.

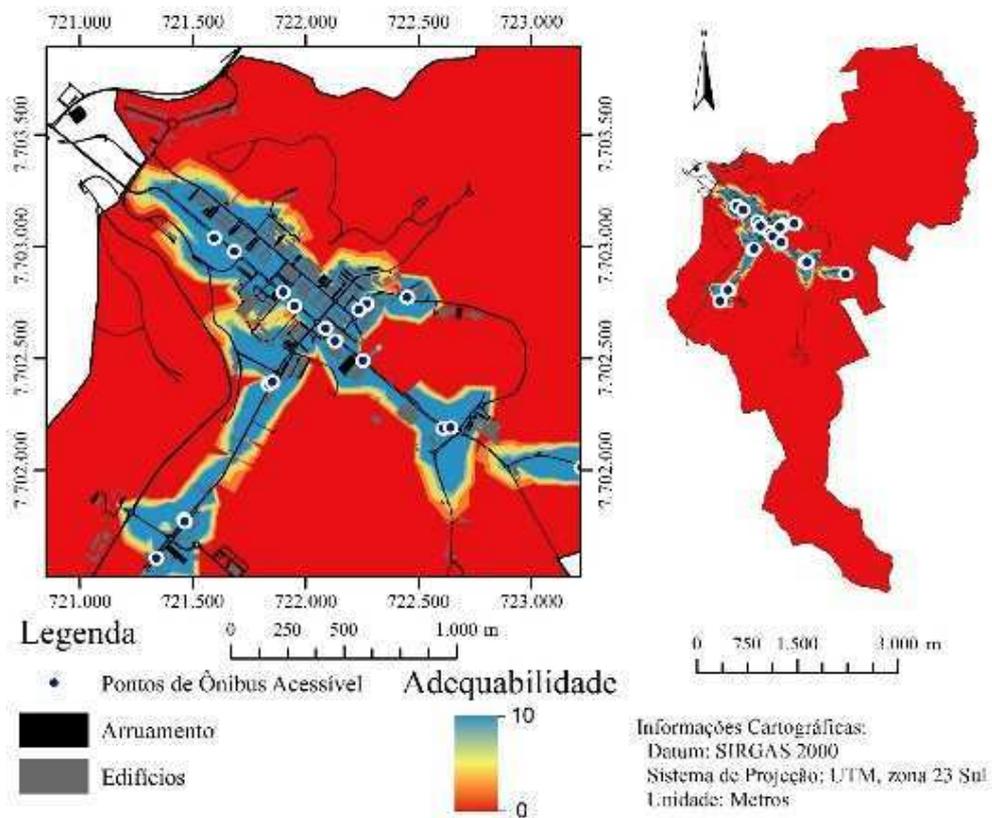
No câmpus Viçosa, em junho de 2017, foram catalogadas 17 linhas de ônibus, sendo 13 atendidas por veículos considerados adaptados, os quais possuem elevadores para acesso de usuários de cadeira de rodas, e 4 linhas atendidas por micro-ônibus, sem a presença de dispositivos que atendam às pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida.

Após a verificação dos pontos e abrigos de ônibus atendidos por veículos adaptados, levando-se em consideração a condição de calçadas e de faixas de travessias de pedestres adaptadas para pessoas portadoras de deficiência ou mobilidade reduzida, padronizou-se uma escala de adequabilidade, conforme apresentado na Figura 5.

De acordo com a Tabela 2, considerando-se a distância de adequabilidade de 0 a 50m a partir do ponto de atendimento do transporte público para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, que corresponde ao fator 10, classificado como ótimo, concluiu-se que os pontos e abrigos de ônibus por onde operam as linhas de transporte público adaptadas atendem a uma população de 4.976 pessoas, o que corresponde a 52,36% da população que utiliza os diversos edifícios do câmpus, abrangendo uma área de aproximadamente 0,513km². Ressalta-se ainda que 76,5% das linhas do transporte público que circulam pelo câmpus são atendidas com veículos adaptados para as pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzidas.

Este critério (fator) atendeu aos principais corredores do câmpus Viçosa da UFV, a saber, Avenida Peter Henry Rolfs, Avenida da Agronomia e Avenida do Coluni. Da mesma forma que o critério anterior, não há atendimento para a Vila Giannetti e a Avenida Purdue, por onde não circula o transporte coletivo.

Figura 5 – Mapa do fator “Deslocamento a partir da rede de transporte público para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida até às edificações”.



Fonte: Próprio autor.

Tabela 2 – População atendida pelo critério “Deslocamento a partir da rede de transporte público para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida até às edificações” por faixa de influência na área urbana do câmpus.

FAIXA DE INFLUÊNCIA (m)	População atendida com acesso aos pontos de ônibus	Área (km ²)
0 – 50	4.976	0,513
>50 – 150	3.316	0,807
>150	1.192	14,793
TOTAL	9.484	16,113

Fonte: Próprio autor.

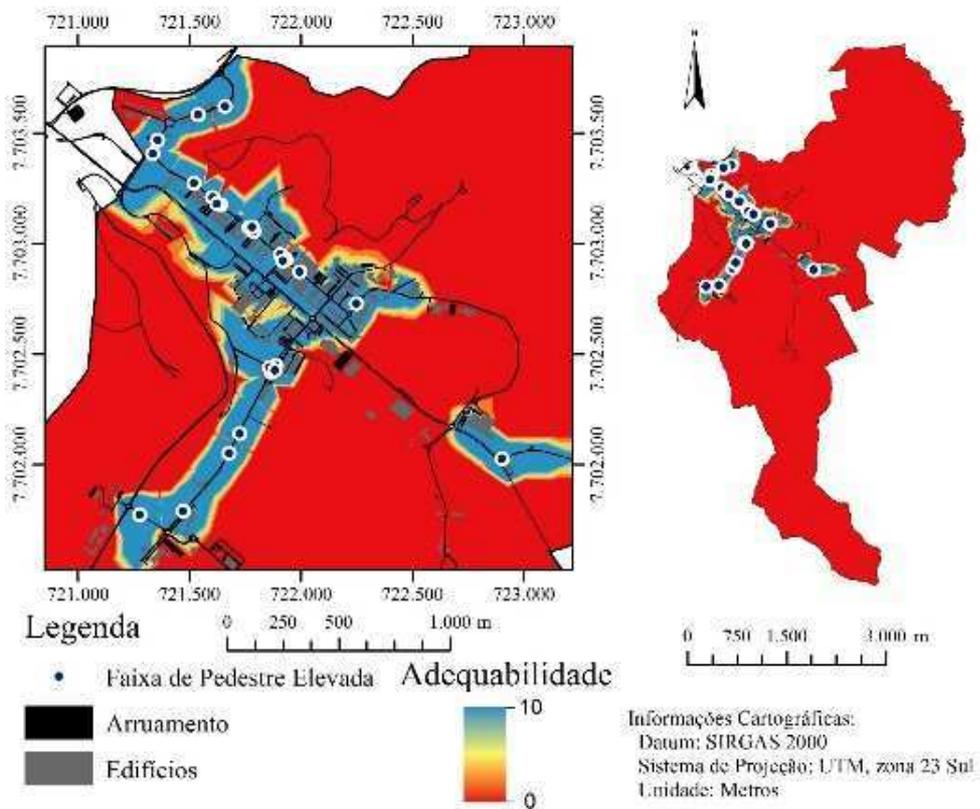
3.3.3 Deslocamento a partir das faixas de travessia de pedestres adaptadas para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida até às edificações

Após o levantamento em campo das localizações das faixas de travessia de pedestres existentes na área urbana do câmpus, bem como de suas principais características, quais sejam, larguras da via e da faixa, largura do passeio, condição do passeio, presença de sinalização horizontal e/ou vertical e condição de acessibilidade, verificou-se, em março de 2017, um total

de 79 faixas de travessia de pedestres, sendo que 54 não são elevadas e 25 são faixas de travessia de pedestres adaptadas para pessoas portadoras de deficiência ou mobilidade reduzida.

Esse critério (fator) também considerou a condição de calçadas ao longo do caminho a ser percorrido pelas pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Mapa do fator “Deslocamento a partir das faixas de travessia de pedestres adaptadas para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida até às edificações”.



Fonte: Próprio autor.

De acordo com a Tabela 3, considerando a distância de adequabilidade de 0 a 50m, a partir das faixas de travessia de pedestres adaptadas para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, que correspondem ao fator 10, classificado como ótimo, concluiu-se que as faixas de travessia de pedestres adaptadas atendem a uma população de 5.130 pessoas, o que corresponde a 53,98% da população que utiliza os diversos edifícios do câmpus, abrangendo 0,606km². Ressalta-se ainda que 31,65% das faixas de travessia de pedestres presentes na área urbanizada do câmpus são adaptadas para as pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida.

Tabela 3 – População atendida pelo critério “Deslocamento a partir das faixas de travessia de pedestres adaptadas para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida até às edificações” por faixa de influência na área urbana do câmpus.

FAIXA DE INFLUÊNCIA (m)	População atendida com acesso às faixas de travessia de pedestres adaptadas para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida	Área (km ²)
0 – 50	5.130	0,606
>50 – 150	3.418	0,722
>150	936	14,785
TOTAL	9.484	16,113

Fonte: Próprio autor.

A maior parte das faixas de travessia de pedestres adaptadas para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida está localizada na parte mais movimentada da Avenida Purdue, Avenida da Agronomia e Vila Giannetti; no restante do câmpus, quase não há a presença desses dispositivos, conforme pode ser observado na Tabela 3, onde pouco mais da metade da população locada nos diversos prédios está a menos de 50m desse tipo de faixa de travessia.

3.3.4 Deslocamento a partir dos espaços abertos até às edificações

Foram localizadas no câmpus as áreas abertas ou de lazer compostas por praças e jardins, campos esportivos, áreas de preservação ambiental abertas ao público, áreas de recreação para adultos e crianças e calçadas utilizadas para caminhadas.

Os espaços abertos utilizados pela população correspondem a uma área de aproximadamente 0,35km², o que corresponde a 2,17% da área total do câmpus Viçosa da UFV. Para a definição da população atendida pelos espaços abertos, foi gerado o critério (fator) conforme apresentado na Figura 7.

De acordo com a Tabela 4, considerando a distância de adequabilidade de 0 a 300m, a partir do limite externo da área verde ou de lazer, a qual corresponde ao fator 10, classificado como ótimo, concluiu-se que os espaços abertos atendem a uma população de aproximadamente 9.274 pessoas, o que corresponde a 97,58% da população que utiliza os diversos edifícios do câmpus, abrangendo 3,698km². É importante ressaltar que esse número se torna ainda maior quando se considera a população da cidade de Viçosa, que também usufrui desses espaços para atividades de recreação, lazer e atividades físicas.

Figura 7 – Mapa do fator “Deslocamento a partir dos espaços abertos até às edificações”.

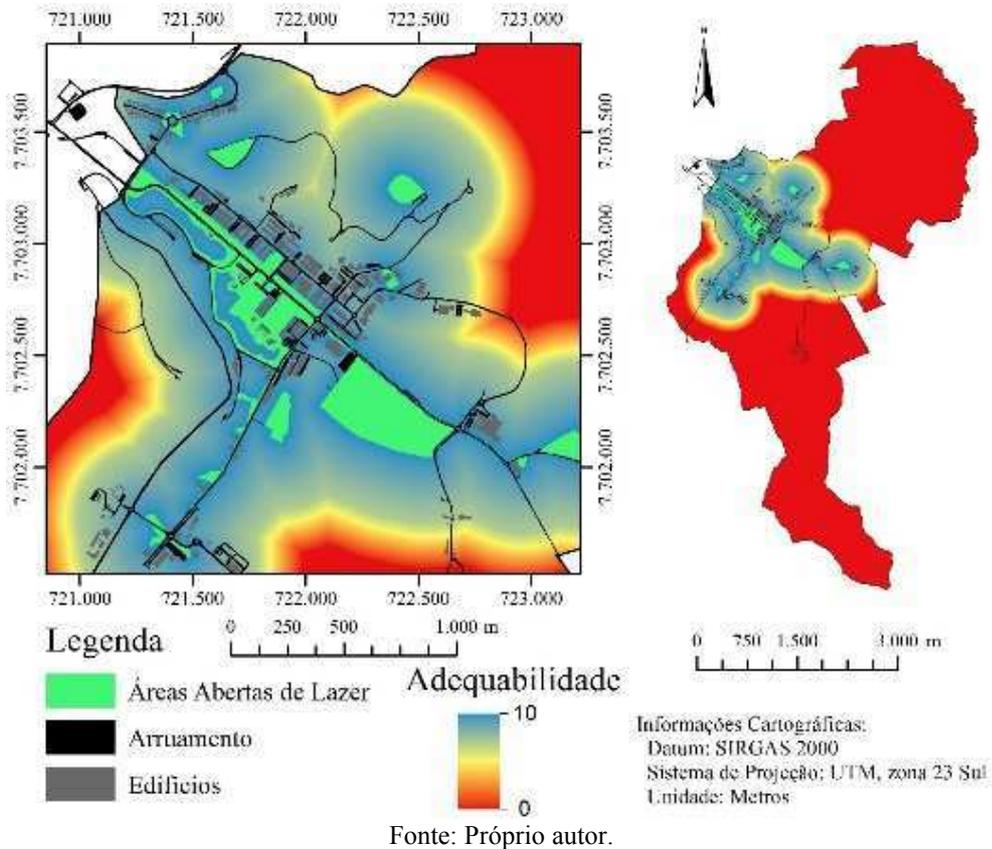


Tabela 4 – População atendida pelo critério “Deslocamento a partir dos espaços abertos até às edificações” por faixa de influência na área urbana do câmpus.

FAIXA DE INFLUÊNCIA (m)	População atendida com acesso aos espaços abertos	Área (km ²)
0 – 300	9.274	3,698
>300 – 500	119	1,513
>500	91	10,902
TOTAL	9.484	16,113

Fonte: Próprio autor.

3.3.5 Deslocamento a partir das vagas de estacionamento para pessoas portadoras de deficiência e com dificuldade de locomoção até às edificações

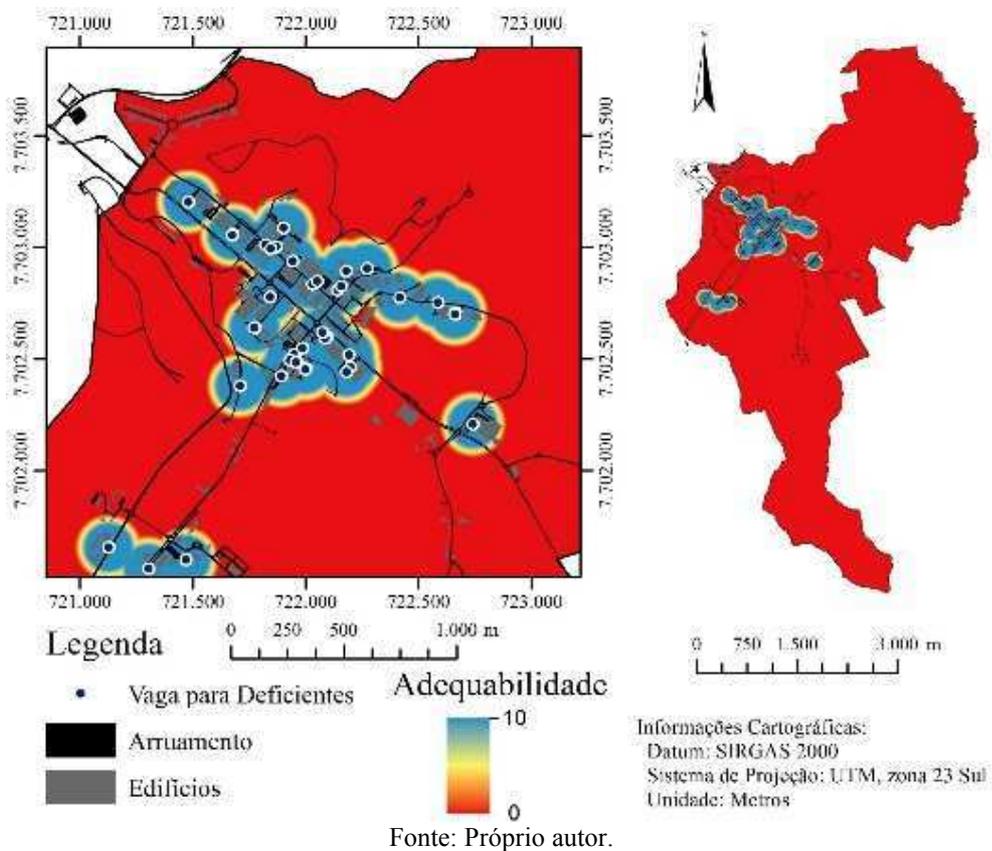
No mês de abril de 2017, foram verificadas 29 áreas de estacionamentos para veículos motorizados, totalizando 2.788 vagas para automóveis, 509 vagas para motocicletas, 43 vagas para veículos cujos usuários sejam pessoas portadoras de deficiência e com dificuldade de locomoção, 1 vaga para veículos cujos usuários sejam idosos e 6 vagas especiais (sendo 3 vagas privativas para veículos do Setor de Vigilância do câmpus, 1 vaga para veículos da Polícia

Militar do Estado de Minas Gerais, 1 vaga para veículos comerciais visando carga e descarga e 1 vaga para ambulância).

Em contagem volumétrica realizada por meio de câmeras de filmagem visando a vigilância do câmpus, foi contabilizada uma frota diária de 16.168 veículos circulando no interior do câmpus Viçosa, durante o mês de novembro de 2016. Deste total, pode-se afirmar que 17,24% dispõem de estacionamentos regulamentados. É importante ressaltar que o câmpus possui um tráfego de passagem, visto que o sistema viário existente faz ligação com duas rodovias da microrregião de Viçosa, Estado de Minas Gerais, sendo o volume médio diário interno de veículos inferior ao número total apresentado.

O critério (fator) “Deslocamento a partir das vagas de estacionamento para pessoas portadoras de deficiência e com dificuldade de locomoção até às edificações” foi gerado conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Mapa do fator “Deslocamento a partir das vagas de estacionamento para pessoas portadoras de deficiência e com dificuldade de locomoção até às edificações”.



Conforme apresentado na Tabela 5, considerando a distância de adequabilidade de 0 a 50m, a partir da vaga de estacionamento para pessoas portadoras de deficiência e com

dificuldade de locomoção, que corresponde ao fator 10, classificado como ótimo, concluiu-se que as vagas para pessoas portadoras de deficiência e com dificuldade de locomoção atendem a uma população de aproximadamente 1.916 pessoas, o que corresponde a 20,20% da população que utiliza os diversos edifícios do câmpus, abrangendo uma área de aproximadamente 0,216km².

Tabela 5 – População atendida pelo critério “Deslocamento a partir das vagas de estacionamento para pessoas portadoras de deficiência e com dificuldade de locomoção até às edificações” por faixa de influência na área urbana do câmpus.

FAIXA DE INFLUÊNCIA (m)	População atendida com acesso às vagas para pessoas portadoras de deficiência e com dificuldade de locomoção	Área (km ²)
0 – 50	1.916	0,216
>50 – 150	5.970	0,853
>150	1.598	15,044
TOTAL	9.484	16,113

Fonte: Próprio autor.

De acordo com a Resolução nº 304 do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN, 2008), 2% do total de vagas regulamentadas devem ser destinadas a pessoas portadoras de deficiência e com dificuldade de locomoção, desde que o veículo esteja devidamente identificado. Para o câmpus em estudo, tem-se aproximadamente 1,54% das vagas existentes para automóveis destinadas a esse público, o que está aquém do exigido por lei.

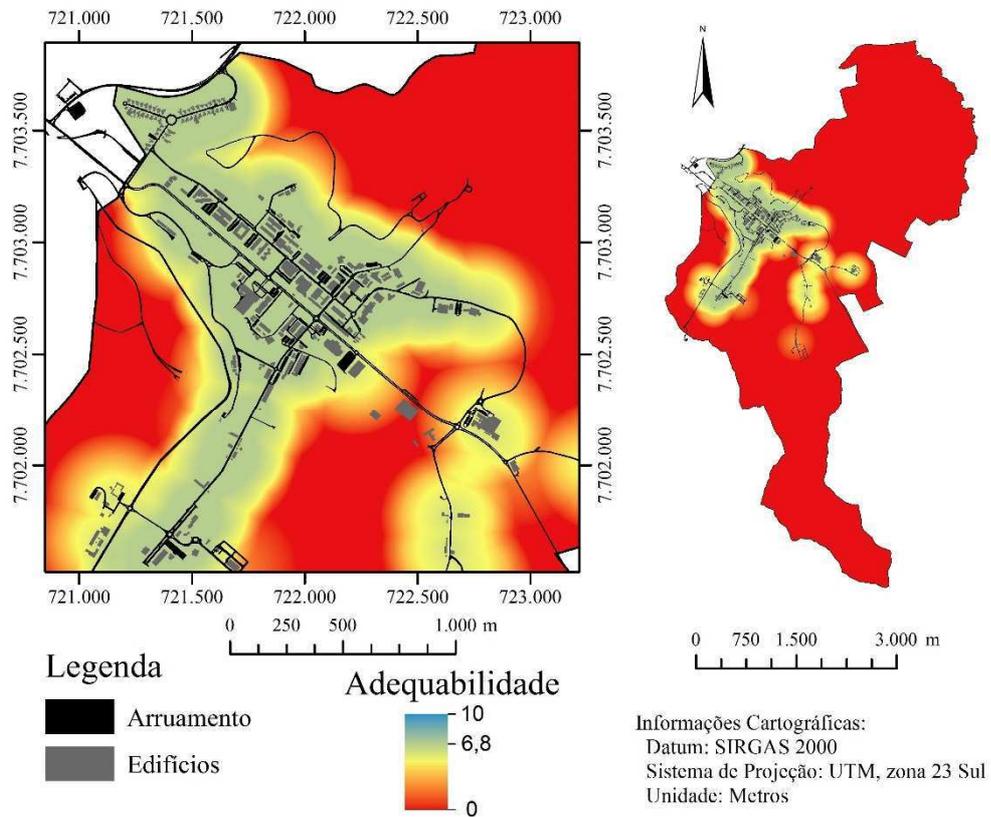
3.3.6 Deslocamento a partir dos edifícios públicos com entradas acessíveis

Para um total de 242 edifícios existentes na área urbana do câmpus em estudo, no levantamento realizado em junho de 2017, foram encontrados 587 acessos, visto que um mesmo edifício pode possuir mais de um acesso. Duzentos e setenta desses acessos não são adaptados para pessoas portadoras de deficiência e com mobilidade reduzida, o que corresponde a 46% do total; os outros 317 acessos são adaptados, o que corresponde a 54%.

Este critério (fator), além do número de entradas acessíveis, considerou também as distâncias de caminhada a partir do edifício. Na Figura 9, é apresentada a média dos três mapas gerados a partir da quantidade de entradas acessíveis e das distâncias de caminhada.

A Tabela 6 refere-se à média dos valores encontrados a partir das distâncias de adequabilidade dos Quadros 3, 4 e 5. Não há população atingida pela distância de adequabilidade de 0 a 100m, que corresponde ao fator 10, classificado como ótimo.

Figura 9 – Mapa do fator “Deslocamento a partir dos edifícios públicos com entradas acessíveis”.



Fonte: Próprio autor.

Tabela 6 - População atendida pelo critério “Deslocamento aos edifícios públicos com entradas acessíveis” por faixa de influência na área urbana do câmpus.

PESO	População atendida	Número de edifícios	Área (km ²)
varia linearmente de 10 a 7	0	-	-
varia linearmente de <7 a 4	8.363	202	1,234
varia linearmente de <4 a 0	1.121	40	14,879
TOTAL	9.484	242	16,113

Fonte: Próprio autor.

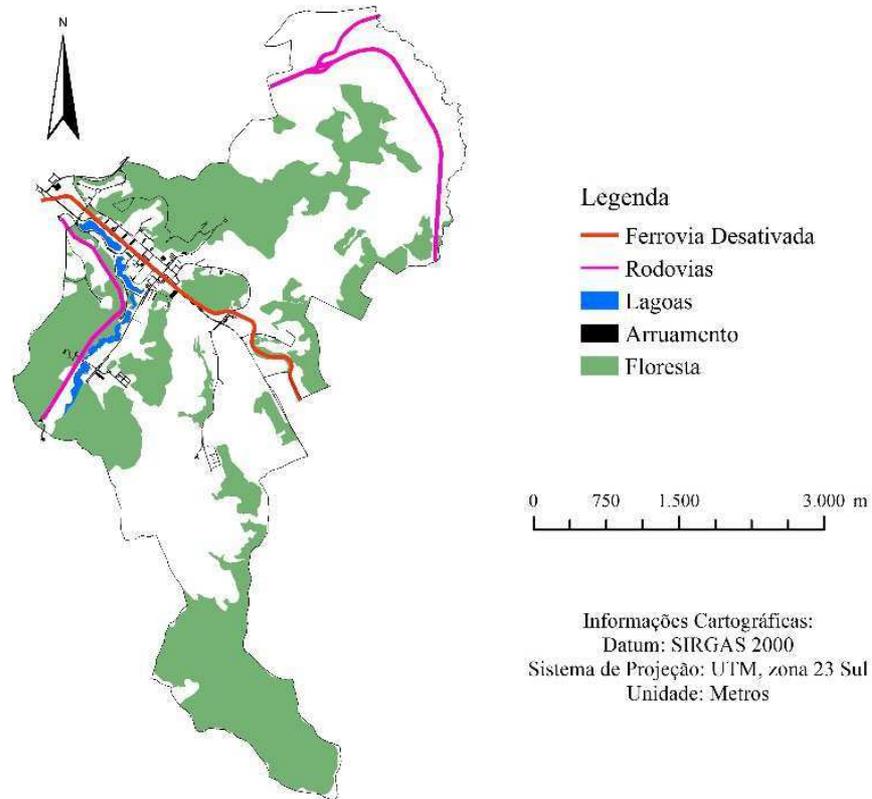
3.3.7 Fragmentação físico-territorial

Após levantamento em campo, foram detectadas barreiras físicas, naturais ou construídas, conforme apresentadas na Figura 10.

Determinadas distâncias se tornam estendidas devido à impossibilidade ou à dificuldade de suas transposições, seja para pedestres ou para veículos motorizados e não motorizados. Tais áreas totalizam 7,7898km², o que corresponde a 48,34% da área total do câmpus Viçosa, de

16,113km². A fragmentação físico-territorial representa a restrição à possibilidade de deslocamento.

Figura 10 – Mapa de restrições para o critério “Fragmentação físico-territorial”.



Fonte: Próprio autor.

A Tabela 7 apresenta as áreas de fragmentação físico-territorial do câmpus em estudo.

Tabela 7 – Fragmentação físico-territorial no câmpus Viçosa da UFV.

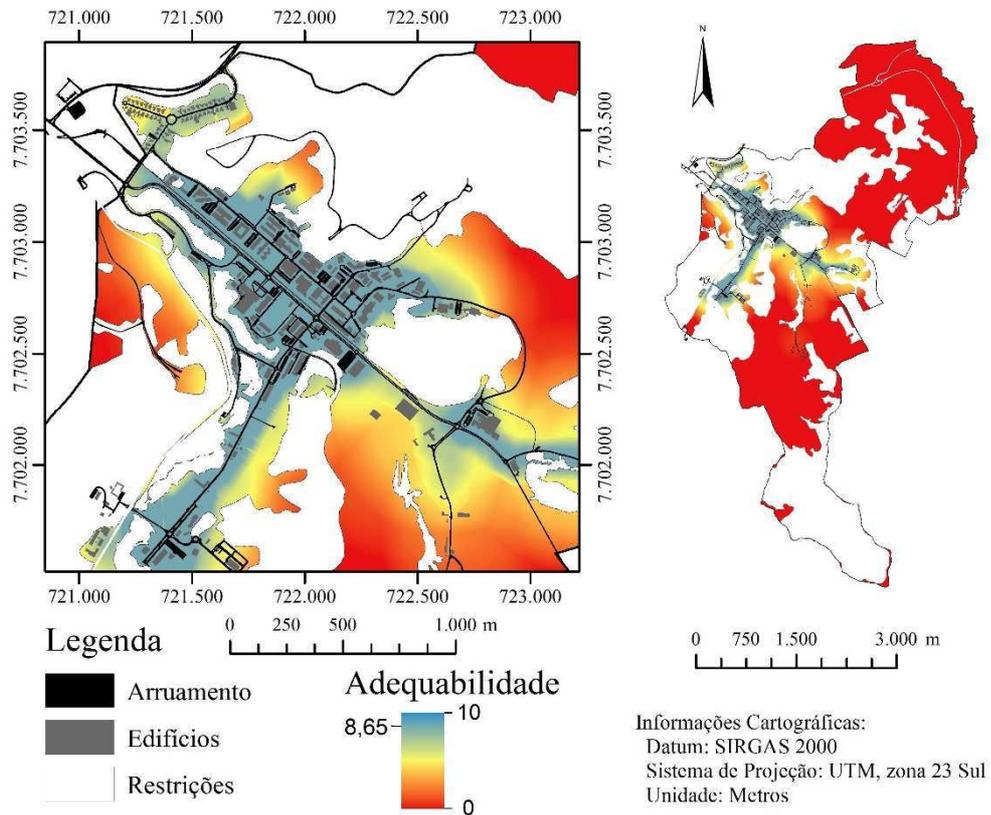
Tipo	Quantidade	Área (km ²)
Ferrovia	1	0,0076
Rodovias	2	0,0278
Lagoas	5	0,1473
Florestas	29	7,6071
TOTAL		7,7898

Fonte: Próprio autor.

3.3.8 Mapa do índice de mobilidade urbana sustentável em função de infraestruturas para os deslocamentos às edificações

A combinação linear ponderada dos seis critérios (fatores) com um critério (restrição) é apresentada na Figura 11.

Figura 11 – Mapa do índice de mobilidade urbana sustentável para o câmpus universitário analisado.



Fonte: Próprio autor.

A população favorecida pela melhor condição de deslocamento às edificações é de aproximadamente 5.760 pessoas, em uma área de 0,2143km², que abrange a maioria das edificações existentes na área urbana do câmpus em estudo. A condição para o deslocamento fica diminuída, principalmente, nas áreas de vegetação densa, na proximidade do ginásio poliesportivo e na via urbana que faz a ligação entre o Departamento de Medicina e Enfermagem e o de Zootecnia, com menor concentração de construções e afastadas da área com maior movimentação no câmpus.

Verifica-se que os critérios (fatores) que apresentam maior população beneficiada, em relação ao deslocamento às edificações como índice de mobilidade urbana sustentável, obtidos para o câmpus em estudo são “Deslocamento a partir dos espaços abertos até às edificações” e “Deslocamento a partir da rede de transporte público até às edificações”, visto que atendem a uma alta porcentagem da população locada nos diversos edifícios do câmpus. Os critérios

(fatores) que possuem menor população beneficiada são “Deslocamento a partir das vagas de estacionamento para pessoas portadoras de deficiência e com dificuldade de locomoção até às edificações”, “Deslocamento a partir da rede de transporte público para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida até às edificações” e “Deslocamento a partir das faixas de travessia de pedestres adaptadas para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida até às edificações”, o que demonstra que o câmpus ainda não está adequado para proporcionar boas condições de deslocamento para as pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida. Não há população beneficiada calculada para “Deslocamento aos edifícios públicos com entradas acessíveis”, visto que não há população atingida para o critério no intervalo de 7 a 10, considerado como ótimo.

Uma possibilidade para melhorar a condição dos deslocamentos às edificações como índice da mobilidade urbana sustentável para o câmpus em estudo será a adequação das condições de deslocamentos para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, em atendimento às exigências da NBR 9050 (ABNT, 2015).

3.4 Conclusões

A aplicação do método de avaliação multicritério em ambiente SIG, com o objetivo de verificar as condições de mobilidade quanto aos deslocamentos às edificações, conduziu a algumas conclusões importantes. A importância relativa dos critérios, atribuída através do sistema de pesos, tem relevância significativa no mapa final para o câmpus. Isso fica evidenciado pelo resultado final obtido, onde, numa escala de 0 a 10, o índice calculado foi de 8,65, valor que demonstra que há uma boa condição de deslocamento para os critérios avaliados.

É necessário que ocorram adaptações e algumas melhorias para a locomoção e a garantia de melhores condições de mobilidade para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, tais quais: construção de rampas e calçadas rebaixadas para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida; colocação de pisos táteis e de alerta nas calçadas e passeios para pessoas com deficiência visual; instalação de rampas de acesso e barras de metal nas entradas de edificações; instalação de aviso sonoro nas faixas de travessia para pedestres, para pessoas com deficiência visual; manutenção de calçadas, passeios e vias em perfeito estado de conservação, sem buracos e outras barreiras físicas.

Em relação aos transportes públicos, algumas adaptações se fazem necessárias, dentre as quais se pode citar a maior quantidade de veículos adaptados com elevadores para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida.

De modo geral, o acesso ao transporte e às edificações no câmpus em estudo ainda é precário, visto que o acesso ao transporte público para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida atinge pouco mais da metade da população (52,36%) e 24 edificações da área do câmpus não possuem nenhum acesso adaptado às pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida.

Recomenda-se que, em outros estudos, possa ser utilizada a configuração real das ruas, passeios e calçadas e não somente distâncias lineares, como forma de melhor identificação dos trajetos seguidos pelos pedestres.

A representação dos resultados em mapas temáticos possibilitou identificar, nas diversas regiões do câmpus universitário, quais os locais críticos que necessitam de maior atenção. Através da utilização dos mapas de distâncias, verificou-se que a população localizada próximo à Vila Giannetti e à Avenida Purdue possuem deficiente atendimento quanto ao transporte coletivo, já que por estes locais não circulam linhas de transporte coletivo. Pelos mapas, pôde-se observar também que as faixas de travessia de pedestres adaptadas para pessoas portadoras de deficiência e com mobilidade reduzida não estão bem distribuídas pelo câmpus. As representações cartográficas demonstraram ainda a necessidade de aumento do número de vagas de estacionamento destinadas a pessoas portadoras de deficiência e com dificuldade de locomoção, para atendimento à legislação nacional. Constatou-se, por fim, que alguns edifícios ainda não tem a acessibilidade garantida.

Apesar de não ser o escopo deste trabalho, o câmpus Viçosa da UFV possui atualmente cerca de 0,50km de ciclovias implantadas em sua área urbana. Uma das formas de incentivo a tal prática poderá ser, além da instalação da infraestrutura, o aumento no número de vagas de estacionamento para bicicletas, de forma a atender a toda a frota de bicicletas que circulam dentro do câmpus diariamente.

No Brasil, ainda há poucas universidades com programas de mobilidade sustentável implantados. O que se vê são várias universidades em processo de discussão e elaboração de projetos para implantação. A experiência realizada neste estudo pode ser também avaliada pelos gestores do câmpus universitário estudado e, se possível, implantada como forma de melhorar a circulação pelo câmpus, diminuir o uso do automóvel particular.

Para que tal prática seja amplamente difundida para quaisquer universidades, são necessárias ações apoiadas em informações atualizadas sobre os padrões de viagens de todo o corpo social, além do apoio na meta para a mobilidade sustentável que se queira atingir.

Desta forma, o índice constitui uma ferramenta de suporte à proposição de políticas públicas, para o direcionamento de ações e, principalmente, para identificação de áreas críticas. Sua aplicação pode se dar em toda a área do câmpus universitário ou em regiões específicas, permitindo uma avaliação comparativa e o desenvolvimento de ações apropriadas, visando a melhoria das condições de mobilidade em termos sociais, econômicos e ambientais.

O método apresentado no estudo proposto foi desenvolvido e testado inicialmente para o câmpus universitário Viçosa da Universidade Federal de Viçosa, recomendando-se a construção e validação de índices de mobilidade sustentável para outros câmpus, a fim de analisar as similaridades entre os modelos obtidos e a possibilidade de determinação de uma estrutura comum a este tipo de PGV.

Como potencial de desenvolvimento do método no futuro, considera-se relevante a adaptação dos critérios apresentados à realidade de cada câmpus universitário, bem como sua divisão em setores, como forma de melhorar as análises obtidas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050**: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. 2015. Disponível em: https://www.pessoacomdeficiencia.gov.br/app/sites/default/files/arquivos/%5Bfield_generico_imagens-filefield-description%5D_24.pdf. Acesso em: 10 jan. 2019.

AZZALI, S.; SABOUR, E. A. **A framework for improving sustainable mobility in higher education campuses**: The case study of Qatar University. *Case Studies on Transport Policy*, 2018. 6 (4), pp. 603-612.

BARATA, E.; CRUZ, L.; FERREIRA, J. P. **Parking at the UC campus**: problems and solutions. *Cities*, 2011. 28 (5), pp. 406-413.

BRASIL. **Lei nº 13.146**, de 06 de julho de 2015. Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência). 2015. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/113146.htm. Acesso em: 15 jan. 2019.

CADENA, R. P.; ANDRADE, M. O. de; DOURADO, A. B. de F. **Analysis of mobility on universities campuses in metropolises of emerging countries through the combination of inductive reasoning and monographic procedure methods**. [S. l.]: *Transportation Research Procedia*, 2017. 25, pp. 5003-5022.

CALIJURI, M. L.; ALVES, J. E. M.; BAPTISTA, A. C.; SANTIAGO, A. da F.; LOURES, S. S. P. Proposta metodológica para geração da carta de fragilidade ambiental, utilizando lógica fuzzy e combinação linear ponderada In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis – SC. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. pp. 3311-3318. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/237745736_Proposta_metodologica_para_geracao_da_carta_de_fragilidade_ambiental_utilizando_logica_fuzzy_e_combinacao_linear_ponderada. Acesso em: 20 out. 2018.

CHERRY, C. R.; RIGGS, W.; APPLEYARD, B.; DHAKAL, N.; FROST, A.; JEFFERS, S. T. New and unique aspects of university campus transportation data to improve planning methods. In: 97th Annual Meeting of Transportation Research Board, 2018, Washington D. C. **Anais...** Washington D. C., 2018.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO (CONTRAN). **Resolução nº 304**. Dispõe sobre as vagas de estacionamento destinadas exclusivamente a veículos que transportem pessoas portadoras de deficiência e com dificuldade de locomoção. 2008. Disponível em: https://www.denatran.gov.br/download/Resolucoes/RESOLUCAO_CONTRAN_304.pdf. Acesso em: 25 nov. 2018.

EASTMAN, J. R. Decision support: decision strategy analysis. In: Clark University (Ed.). **Idrisi 32 release 2: Guide to GIS and image processing**. Worcester: Clark Labs, 2001. 2, 22.

FERRAZ, A. C. P.; TORRES, I. G. E. **Transporte Público Urbano**. São Carlos: Rima, 2001. 2 ed. 367p.

FILIPOVITCH, A.; BOAMAH, E. F. **A systems model for achieving optimum parking efficiency on campus: The case of Minnesota State University**. [S. l.]: Transport Policy, 2016. 45, pp. 86-98.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades@: Minas Gerais – Viçosa**. Brasília, DF: IBGE, 2016.

LAUTSO, K.; SPIEKERMANN, K.; WEGENER, M.; SHEPPARD, I.; STEADMAN, P.; MARTINO, A.; DOMINGO, R.; GAYDA, S. **PROPOLIS: Planning and research of policies for land use and transport for increasing urban sustainability**. Final Report second edition, 2004. Disponível em: http://www.iee.library.eu/images/all_ieelibrary_docs/229_propolis.pdf. Acesso em: 10 jan. 2019.

MATTA, J. P. A.; CUNHA, M. M. **Geração e disponibilização na web de uma base cartográfica planimétrica da Universidade Federal de Viçosa, campus Viçosa**. Monografia. (Engenharia de Agrimensura e Cartográfica). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

NALMPANTIS, D.; LAMPOU, S-C; NANIPOULOS, A. **The concept of woonerf zone applied in university campuses: the case of the campus of the Aristotle University of Thessaloniki**. [S. l.]: Transportation Research Procedia, 2017. 24, pp. 450-458.

NASH, S.; MITRA, R. **University students' transportation patterns, and the role of neighbourhood types and attitudes**. [S. l.]: Journal of Transport Geography, 2019. 76, pp. 200-211.

OLIO, L. dell'; BORDAGARAY, M.; BARREDA, R.; IBEAS, A. **A methodology to promote sustainable mobility in college campuses.** Transportation Research Procedia, 2014. 3 , pp. 838-847.

PÁEZ, A.; WHALEN, K. **Enjoyment of commute:** a comparison of different transportation modes. Transp. Res. Part A: Policy Pract., 2010. 44 , pp. 537-549.

SILVA, A. N. R.; COSTA, M. da S.; MACEDO, M. H. **Multiple views of sustainable urban mobility:** The case of Brazil. Transport Policy, 2008. v. 15(6), p. 350-360.

SILVA, A. N. R.; RAIÁ JUNIOR, A. A.; BOCANEGRA, C. W. R. Exploring an ANN modeling approach that combines accessibility and mobility into a single trip potential index for strategic planning. In: Annual meeting of the Transportation Research Board, 2002, Washington, D.C. - EUA. **Anais...** Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2002.

STEIN, P. P.; SILVA, A. N. R. da. **Barriers, motivators and strategies for sustainable mobility at the USP campus in São Carlos, Brazil.** Case Studies on Transport Policy. São Carlos, 2018. v. 6, p. 329-335. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2017.11.007>. Acesso em: 15 set. 2018.

STETIEH, H. **An evaluation of the School of Engineering buildings at the University of Jordan with regard to accessibility.** [S. l.]: Sustainable Cities and Society, 2018. 42, pp. 240-251.

SUN, C.; CHENG, J.; LIN, A.; PENG, M. **Gated university campus and its implications for socio-spatial inequality:** Evidence from students' accessibility to local public transport. Habitat International, 2018. 80, pp. 11-27.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (UFV). **UFV em números 2016 (Ano base 2015).** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2016.

VALE, D. S.; PEREIRA, M.; VIANA, C. M. **Different destination, different commuting pattern?** Analyzing the influence of the campus location on commuting. Journal of Transport and Land Use, 2018. 11(1), pp. 1-18.

VOOGD, H. **Multicriteria evaluation for urban and regional planning.** London: Pion, 1983, 125p.

WASHINGTON-OTTOMBRE, C.; WASHINGTON, G. L.; NEWMAN, J. **Campus sustainability in the US:** Environmental management and social change since 1970. Journal of Cleaner Production, 2018. 196, pp. 564-575.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD). **Mobility 2030: Meeting the challenges to sustainability.** In: The Sustainable Mobility Project, 2001, Suíça. **Anais...** Suíça, 2001.

4 MÉTODO PARA UTILIZAÇÃO DE MODOS NÃO MOTORIZADOS COMO ÍNDICE DE MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL EM CÂMPUS UNIVERSITÁRIOS

RESUMO - O uso de modos de transporte não motorizados, sendo os principais a bicicleta e a caminhada, é essencial para um sistema de transporte sustentável. Os câmpus universitários, considerados importantes polos geradores de viagens (PGVs), por promoverem um elevado número de viagens, necessitam possuir infraestrutura adequada para incentivar o uso dos modos não motorizados. O objetivo deste estudo é propor um método para calcular um índice a partir do levantamento de dados pertinentes a modos não motorizados, utilizados em câmpus universitários, por meio do mapeamento de atributos de campo, aliado a um sistema de informação geográfica para aplicação de análise multicritério de apoio à decisão (*Multiple Criteria Decision Analysis – MCDA*), com ênfase no conforto e segurança dos usuários. Foram utilizados para essa pesquisa os seguintes critérios, entre fatores e restrição: (i) extensão de estruturas cicloviárias; (ii) características físicas das infraestruturas cicloviárias; (iii) conectividade de infraestruturas cicloviárias; (iv) localização de estacionamentos para bicicletas; (v) vagas de estacionamento para bicicletas; (vi) sinalização viária para modos não motorizados; (vii) vias com calçadas e; (viii) fragmentação físico-territorial. Dentre os critérios analisados, o vias com calçadas no câmpus obteve melhor avaliação, pelo fato de ter um maior nível de adequabilidade para o cálculo do índice. Os três primeiros critérios relacionados com a infraestrutura para ciclovias, ciclofaixas, ciclorrotas e faixas compartilhadas não foram pontuados, por causa da pequena extensão de ciclovias e da inexistência de outras infraestruturas cicloviárias na área objeto de estudo. A representação dos resultados em mapas temáticos possibilitou identificar, nos diversos setores da área pesquisada, quais locais necessitam de mais interferências para atendimento às condições mínimas de segurança e conforto dos usuários dos modos não motorizados. O índice constitui uma ferramenta de suporte à proposição de políticas públicas em câmpus universitários, que visem a implantação de infraestruturas estimuladoras do uso dos modos de transportes não motorizados. Com esta pesquisa, espera-se que o método possa ser reproduzido em outras instituições de ensino e, se necessário, adaptado à realidade de cada uma delas.

Palavras-chave: modos não motorizados, câmpus universitários, mobilidade urbana sustentável, análise multicritério.

METHOD FOR THE USE OF NON-MOTORIZED MODES OF TRANSPORTATION AS A SUSTAINABLE URBAN MOBILITY INDEX IN UNIVERSITY CAMPUSES

ABSTRACT - The use of non-motorized modes of transportation, mainly cycling and walking, is essential for a sustainable transportation system. University campuses, considered important trip generators (PGVs, in Portuguese), because they promote a large number of trips, need to have adequate infrastructure to encourage the use of non-motorized modes. The present study proposed a method to calculate an index from the data on non-motorized modes, used in university campuses, through the mapping of field attributes, allied to a geographic information system for the application of multiple criteria decision analysis (MCDA), emphasizing the comfort and safety of users. The following criteria, among factors and restriction, were proposed: (i) the length of cycling structures; (ii) the physical characteristics of cycling infrastructure; (iii) the connectivity of cycling infrastructure; (iv) the location of bicycle parking lots; (v) parking spaces for bicycles; (vi) road signs for non-motorized modes; (vii) roads with sidewalks and; (viii) physical-territorial fragmentation. Among the criteria analyzed, the roads with sidewalks in the campus achieved the best evaluation, because of the higher level of adequacy for the calculation of the index. The first three infrastructure-related criteria for cycle tracks, cycle lanes, cycle routes and shared use paths were not scored because of the short length of bike ways and the lack of other cycling infrastructure in the studied area. The representation of the results in thematic maps made it possible to identify, in the various sectors of the surveyed area, which places need more interference to meet the minimum safety and comfort conditions of users of non-motorized modes. The index is a tool to support the proposition of public policies on university campuses, aimed at implementing infrastructures that encourage the use of non-motorized modes of transportation. With this research, it is expected that the method can be reproduced in other educational institutions and, if necessary, adapted to the reality of each one.

Keywords: non-motorized modes, university campuses, sustainable urban mobility, multicriteria analysis.

4.1 Introdução

Entende-se por mobilidade urbana sustentável o desenvolvimento de espaços urbanos capazes de promover o equilíbrio entre a satisfação da carência humana por deslocamentos e a

proteção ao meio ambiente, garantindo um padrão aceitável de acesso a bens e atividades (ACKER, GOODWIN e WITLOX, 2016).

Com os locais de emprego e de serviço cada vez mais distantes dos núcleos urbanos e a ausência ou ineficiência de programas voltados à implantação de infraestrutura para o transporte coletivo e para os deslocamentos não motorizados, as distâncias e os tempos de deslocamento continuam aumentando, levando a insustentabilidade da cidade (BENECCHIO, 2012; GUERREIRO *et al.*, 2018).

Um requisito importante para a promoção dos modos não motorizados é sua infraestrutura, que inclui vias para pedestres, ciclovias, locais de estacionamento, sinalização e facilidade nos cruzamentos (LEE, NAM e LEE, 2014).

Da mesma forma que nas cidades, os câmpus universitários também necessitam tornar um local ambientalmente sustentável, devendo implantar infraestruturas adequadas para pedestres e ciclistas e incentivar o uso do transporte público coletivo, medidas que devem ser acompanhadas de campanhas de mudanças comportamentais dos usuários. As Instituições de Ensino Superior (IES) são consideradas importantes polos geradores de viagens (PGVs), por promoverem um elevado número de viagens, oriundas do deslocamento realizado por discentes, servidores técnico-administrativos e docentes, nos mais diferentes modos de transporte (PAULA *et al.*, 2015).

Há aproximadamente duas décadas, existem estudos na literatura técnica que buscam métodos para melhorar as condições de mobilidade sustentável em câmpus universitários (STEIN e SILVA, 2018). Algumas pesquisas são apresentadas em relação à avaliação de políticas e estratégias adotadas em câmpus universitários, dentre as quais citam-se as seguintes: Balsas (2003) realizou um levantamento de literaturas técnicas analisando diversos câmpus e suas iniciativas para a substituição do modo motorizado individual por modos mais sustentáveis no ambiente universitário; Silva e Ferreira (2008) e Ferreira e Silva (2012) listaram alguns modelos de boas práticas em câmpus universitários europeus; Dell'Olio *et al.* (2014) propuseram um método para avaliação de diferentes ações, para o incentivo de modos de transporte sustentáveis para os deslocamentos residência-câmpus universitário, na região Norte da Espanha; Longo, Medeossi e Padoano (2015) elencaram propostas, tais como melhorias no transporte público, incentivo ao uso de bicicleta e carona solidária, para a Universidade de Trieste, na Itália; Rotaris e Danielis (2015), também na Itália, abordaram estratégias para a mobilidade sustentável em câmpus universitários, dentre as quais se citam o subsídio às tarifas de ônibus e as restrições de estacionamento.

Para a realidade brasileira, Marins *et al.* (2015) estabeleceram diretrizes e instrumentos para a elaboração de Planos de Mobilidade Urbana para os câmpus universitários. A escolha do modelo de transporte foi abordada por Stein e Silva (2018), para o câmpus universitário da Universidade de São Paulo (USP), no município de São Carlos, Estado de São Paulo, Brasil.

Salienta-se que Shannon *et al.* (2006), Molina-García, Castillo e Sallis (2010), Miralles-Guasch e Domene (2010), Akar e Clifton (2009) e Bopp, Kaczynski e Wittman (2011) também abordaram processos de escolha de modos de transportes sustentáveis para câmpus universitários.

Alguns pesquisadores têm estudado as características das viagens não motorizadas, a exemplo de Dill (2004), Haynes e Andrzejewski (2010) e Jones *et al.* (2010), que abordaram as características de viagens não motorizadas com ênfase no ambiente construído. Lindsey *et al.* (2006) e Reynolds *et al.* (2007) deram ênfase às características dos projetos de infraestrutura viária; Adams (2010) enfatizou as questões socioeconômicas, já Aultman-Hall, Lane e Lambert (2009) abordaram as questões relativas ao tempo de viagem.

No Brasil, algumas universidades possuem programas e políticas públicas que fomentam a mobilidade urbana sustentável. Alguns projetos de bicicletas compartilhadas já foram implantados em câmpus universitários, a saber: Projeto Integra, na Universidade Federal do Rio de Janeiro (INTEGRA UFRJ, 2019); Projeto Bicicleta Livre, da Universidade Federal de Brasília (BICICLETA LIVRE, 2018); Projeto Estação *Bike*, na Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF, 2018); Projeto Vamos de *Bike*, na Universidade de São Paulo (USP, 2018), dentre outros.

Partindo da premissa que existe uma lacuna em índices e indicadores voltados para câmpus universitários e dada a importância destes locais como polos geradores de viagens (PGVs), este estudo irá propor uma contribuição à ciência, por meio da utilização da análise multicritério em um sistema de informação geográfica, para determinação de um índice de mobilidade urbana sustentável, o qual será composto por um conjunto de indicadores vinculados aos modos não motorizados. Os estudos realizados até então não realizaram um diagnóstico das reais condições dos modos não motorizados em um câmpus universitário. Por meio do método proposto, será possível verificar qualidades e deficiências de forma espacializada.

A proposição de um índice, composto por um conjunto de indicadores e desenvolvido para um câmpus universitário, visa auxiliar tanto no diagnóstico como no planejamento da mobilidade urbana sustentável. Além disso, o índice proposto pode ser utilizado, também, para monitorar as melhorias e a evolução do sistema.

4.2 Método proposto

4.2.1 Descrição do método

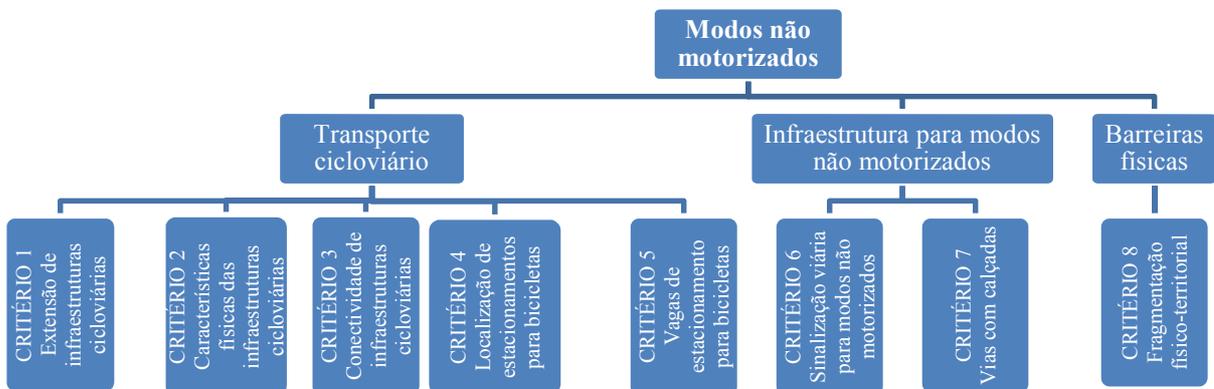
4.2.1.1 Considerações iniciais

A literatura técnica de referência para o desenvolvimento dessa pesquisa foi concebida por Silva, Costa e Macedo (2008), a qual abordou o Índice de Mobilidade Urbana Sustentável (IMUS), que dá ênfase tanto aos modos não motorizados quanto aos motorizados. O estudo contou com o levantamento das condições dos modos não motorizados em um câmpus universitário, avaliando critérios essenciais para a segurança e o conforto dos usuários.

Para este estudo, técnicas de geoprocessamento foram acrescentadas ao método de Silva, Costa e Macedo (2008), visando a espacialização dos atributos coletados em campo, em um sistema de informação geográfica (SIG). Para o ordenamento de critérios e a obtenção de um método para determinação do índice proposto, utilizou-se de análise multicritério de apoio à decisão (*Multiple Criteria Decision Analysis – MCDA*).

O processo de elaboração do método proposto para utilização de modos não motorizados como índice de mobilidade urbana sustentável para câmpus universitário foi decomposto em três grupos de indicadores, compostos de oito critérios (fatores e restrição), sendo o critério “barreiras físicas” considerado como restrição e os demais como fatores (Figura 1).

Figura 1 – Potenciais indicadores de mobilidade urbana sustentável para modos não motorizados.



Fonte: Adaptado de Silva, Costa e Macedo (2008).

Nesta pesquisa, para a determinação do índice de mobilidade urbana sustentável utilizando-se de modos não motorizados em um estudo piloto, foi proposta a delimitação da

área urbana do câmpus universitário, visando obter informações sobre a população que utiliza cada prédio nessa área.

Após o mapeamento dos atributos relativos a cada critério utilizando-se o *software* ArcGIS 10.5, aplicou-se a análise multicritério baseada na análise de combinação ponderada (WLC) entre os critérios analisados. Antes de proceder à WLC, é usual a utilização de técnicas *Fuzzy*, que têm como objetivo a indefinição de fronteiras entre as classes dos critérios (fatores), de modo a diminuir a propagação de erros relacionados aos limites espaciais desses critérios. Além disso, a lógica *Fuzzy* tem como objetivo atribuir uma escala de adequabilidade comum, nessa pesquisa variando de zero (menos adequado) a dez (mais adequado), e para isto foram utilizadas funções lineares em cada critério analisado. Esse procedimento serve para homogeneizar a análise de diferentes critérios (fatores) e integrá-los a uma escala comum.

A utilização de funções lineares parte da teoria de Lautso *et al.* (2004), pela qual acredita-se que é necessário assumir como hipótese inicial a linearidade da função. Saliencia-se que a maior parte dos processos de normalização utiliza um valor máximo e outro mínimo para a definição de uma escala, em que a forma mais simples para obtenção dos valores intermediários é uma variação linear (EASTMAN, 2001; SILVA, RAIA JUNIOR e BOCANEGRA, 2002).

4.2.1.2 Descrição dos processos de avaliação para geração dos critérios

4.2.1.2.1 Extensão de infraestruturas cicloviárias

A partir de um levantamento de campo com receptores de sistema de posicionamento global (GPS) e coleta de atributos (características) de todas as ciclovias, ciclofaixas, ciclorrotas, faixas compartilhadas existentes e respectivas infraestruturas e extensões, foi realizada a espacialização desses atributos na base cartográfica da área urbana do câmpus universitário.

O método adotado para o tratamento de dados desse critério (fator) foi o mapa de distâncias, gerado a partir do eixo da infraestrutura cicloviária, o qual foi escolhido por ser o método de variáveis quantitativas que refletiu o distanciamento de cada localização da área de estudo para as infraestruturas cicloviárias.

Logo em seguida, foi aplicada a lógica *Fuzzy*, em função das classes de distâncias pré-estabelecidas, adaptadas a partir de Meyer (2016), adotando-se para um raio máximo de influência a distância de 800m, visto que, a partir dessa distância, entende-se que a população fica com acesso e interesse comprometidos quanto à utilização da infraestrutura cicloviária. Distâncias de até 500m foram adotadas como sendo a melhor faixa de influência direta. Entre

o intervalo de 500 e 800m, foram definidos intervalos variando linearmente a cada 100m, conforme apresentados no Quadro 1. O resultado da aplicação dos pesos adotados e da lógica *Fuzzy* gerou um fator em que os valores são chamados de adequabilidade. Esse procedimento foi utilizado para todos os critérios (fatores) adotados para essa pesquisa.

Quadro 1 – Pesos para o fator “Extensão de infraestruturas cicloviárias”.

Peso	Faixa de influência direta (m)
$10 \geq$ varia linearmente > 7	De 0 a 500
$7 \geq$ varia linearmente > 5	De 501 a 600
$5 \geq$ varia linearmente > 2	De 601 a 700
$2 \geq$ varia linearmente > 0	De 701 a 800
0	>800

Fonte: Adaptado de Meyer (2016).

Nota: Peso 10: excelente; Peso 7: bom; Peso 5: regular; Peso 2: ruim e Peso 0: muito ruim

Para que o método proposto possa ser replicado em outras IES, faz-se necessária a análise das infraestruturas cicloviárias existentes no câmpus universitário que será objeto de estudo, ainda que elas não estejam implantadas. Depreende-se que quanto mais próximo se estiver de uma infraestrutura cicloviária, maior a adequabilidade. O valor de adequabilidade igual a 10 corresponde ao eixo da infraestrutura cicloviária, considerando-se adequabilidade igual a zero para uma faixa de influência direta acima de 800m do eixo da infraestrutura cicloviária.

4.2.1.2.2 Características físicas das infraestruturas cicloviárias

Para esse critério, foi proposta a coleta de atributos com receptores GPS em diferentes pontos das extensões das ciclovias, ciclofaixas, ciclorrotas e faixas compartilhadas, coletando as informações referentes à largura, ao tipo de pavimento e à sinalização. Tais atributos também são recomendados por Nacto (2012).

Este conjunto de pontos foi espacializado na base cartográfica da área urbana do câmpus universitário analisado. Para interpolar estas informações por toda a infraestrutura cicloviária e suas adjacências, utilizou-se do interpolador de polígonos de *Thiessen*.

Como as variáveis presentes nesse critério são qualitativas (tipo de pavimento e sinalização) e não quantitativas, não foi possível interpolar os valores das variáveis por toda a área de estudo. Nesse sentido, o polígono de *Thiessen* possibilita a geração de uma área de influência para cada ponto coletado, com as características físicas da infraestrutura cicloviária, ou seja, cada polígono gerado tem os mesmos atributos do ponto que lhe deu origem.

Após a definição dos polígonos, foi aplicada a lógica *Fuzzy* para padronizar os atributos em uma escala de adequabilidade.

Para definição dos limiares de largura da infraestrutura cicloviária, tomou-se como referência a pesquisa de Porto Imagem (2019), que sugere valores de acordo com o volume de tráfego de bicicletas por hora, da largura efetiva da infraestrutura cicloviária e do sentido de circulação. Assim, foi realizada uma pesquisa de contagem classificada, através das câmeras da vigilância do câmpus universitário, obtendo-se um volume médio inferior a 1000 bicicletas/hora, para cada um dos dois sentidos. De acordo com o resultado encontrado, Porto Imagem (2019) recomenda a largura mínima de 3,00m para uma infraestrutura cicloviária ideal, desde que possua superfície de rolamento regular, impermeável e antiderrapante e sinalização adequada, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Pesos para o fator “Características físicas de infraestruturas cicloviárias”.

Peso	Largura (m)	Tipo de pavimento	Presença de sinalização
10	$L \geq 3,00$	superfície de rolamento regular, impermeável, antiderrapante	Sim
$10 > \text{varia linearmente} > 7$	$3,00 > L \geq 2,85$	superfície de rolamento regular, impermeável, antiderrapante	Sim
$7 \geq \text{varia linearmente} > 5$	$2,85 > L \geq 2,70$	superfície de rolamento regular, impermeável, antiderrapante	Sim
$5 \geq \text{varia linearmente} > 2$	$2,70 > L \geq 2,50$	superfície de rolamento regular, impermeável, antiderrapante	Sim
$2 \geq \text{varia linearmente} \geq 0$	$L < 2,50$	superfície de rolamento irregular	-
0	L qualquer		

Fonte: Adaptado de Porto Imagem (2019).

Nota: Peso 10: excelente; Peso 7: bom; Peso 5: regular; Peso 2: ruim e Peso 0: muito ruim; L: Largura

O valor de adequabilidade igual a 10 corresponde à melhor condição da infraestrutura cicloviária, considerando-se adequabilidade igual a zero para a pior condição da infraestrutura cicloviária, em relação às características físicas apresentadas no Quadro 2.

4.2.1.2.3 Conectividade de infraestruturas cicloviárias

Entre as medidas consagradas para a mensuração de conectividade (em diversas áreas, incluindo estudos de conectividade cicloviária), está a utilização de índices matemáticos oriundos da teoria dos grafos (TISCHER, 2017). Os segmentos (*links*) representaram a infraestrutura cicloviária (ciclovias, ciclofaixas, ciclorrotas e faixas compartilhadas), e os

vértices (*nodes*) corresponderam às intersecções e aos pontos finais dentro da rede de infraestrutura ciclovária.

Na base cartográfica da área urbana do câmpus universitário analisado, foi proposta a medição do número de vértices (*n*), do número de segmentos (*L*) e da extensão total dos segmentos (infraestrutura ciclovária).

De acordo com VTPI (2017), considerou-se como conectividade ideal (razão entre o número de segmentos que se conectam a um determinado nó), para fins de planejamento de uma rede, o valor de 1,4. Foi aplicada a lógica *Fuzzy*, conforme apresentado no Quadro 3. O valor encontrado foi adotado em todo o polígono estudado, representando a conectividade na área delimitada.

Quadro 3 – Pesos para o fator “Conectividade de infraestruturas ciclovárias”.

Peso	Razão ligações/nós
10	$\geq 1,40$
$10 > \text{varia linearmente} > 7$	De 1,39 a 1,04
$7 \geq \text{varia linearmente} > 5$	De 1,03 a 0,68
$5 \geq \text{varia linearmente} > 2$	De 0,67 a 0,32
$2 \geq \text{varia linearmente} \geq 0$	De 0,31 a 0,00

Fonte: Adaptado de VTPI (2017).

Nota: Peso 10: excelente; Peso 7: bom; Peso 5: regular; Peso 2: ruim e Peso 0: muito ruim

O valor de adequabilidade igual a 10 corresponde à razão ligações/nós maior ou igual a 1,40, considerando-se adequabilidade igual a zero para a razão ligações/nós igual a zero.

4.2.1.2.4 Localização de estacionamentos para bicicletas

Para este critério, foi proposta a coleta de pontos com receptores GPS para os paraciclos e vagas de estacionamento para bicicletas existentes no câmpus universitário analisado. Para gerar o critério (fator) referente à localização dos paraciclos, foram especializadas as suas localizações na base cartográfica da área urbana do câmpus universitário analisado e gerado, a partir dos pontos referentes aos paraciclos, um mapa de distâncias.

A aplicação da lógica *Fuzzy* seguiu as classes de distâncias pré-estabelecidas. Os valores da faixa de influência direta foram adaptados de Embarque Brasil (2014). Distâncias maiores que 100m de um estacionamento de bicicletas foram consideradas como sendo inapropriadas. Foram atribuídos pesos às faixas de influência em relação à localização do estacionamento das bicicletas, conforme Quadro 4.

Quadro 4 – Pesos para o fator “Localização de estacionamentos para bicicletas”.

Peso	Faixa de influência direta (m)
$10 \geq$ varia linearmente > 7	De 0 a 50
$7 \geq$ varia linearmente > 5	De 51 a 65
$5 \geq$ varia linearmente > 2	De 66 a 80
$2 \geq$ varia linearmente > 0	De 81 a 100
0	>100

Fonte: Adaptado de Embarque Brasil (2014).

Nota: Peso 10: excelente; Peso 7: bom; Peso 5: regular; Peso 2: ruim e Peso 0: muito ruim

Quanto mais próximo se está de um paraciclo, maior a adequabilidade. O valor de adequabilidade igual a 10 corresponde ao paraciclo, considerando-se adequabilidade igual a zero para uma distância maior que 100m de um paraciclo.

4.2.1.2.5 Vagas de estacionamentos para bicicletas

Neste critério, foram utilizados os mesmos dados considerados para o critério “Localização de estacionamentos para bicicletas”. Entretanto, o interesse foi na densidade de vagas existentes nos paraciclos, ou seja, na quantidade de vagas por unidade de área. O método utilizado para o estudo da densidade foi o mapa de *Kernel*.

Inicialmente as vagas de estacionamentos para bicicletas foram espacializadas no SIG. Em seguida, aplicou-se o algoritmo, gerando o mapa de *Kernel*. Como resultado obteve-se o mapa de densidade e o raio de influência. Após aplicou-se a lógica *Fuzzy* numa escala de 0 a 10, sendo feita a reclassificação do mapa de densidade de acordo com as densidades calculadas. Como resultado obteve-se o mapa de adequabilidade.

Em cada paraciclo existente na área urbana do câmpus universitário analisado, foi verificada a quantidade de vagas disponíveis. Os pesos foram distribuídos em função do número de vagas para bicicletas, adaptado de *U.S. Department of Transportation* (2006), e para tanto adotou-se o número mínimo de 20 vagas para bicicletas, conforme apresentado no Quadro 5.

Quadro 5 – Pesos para o fator “Vagas de estacionamentos para bicicletas”.

Peso	Número de vagas para bicicletas
10	≥ 20
$10 >$ varia linearmente > 7	De 19 a 15
$7 \geq$ varia linearmente > 5	De 14 a 10
$5 \geq$ varia linearmente > 2	De 9 a 5
$2 \geq$ varia linearmente ≥ 0	De 4 a 0

Fonte: Adaptado de *U.S. Department of Transportation* (2006).

Nota: Peso 10: excelente; Peso 7: bom; Peso 5: regular; Peso 2: ruim e Peso 0: muito ruim

A partir do mapa de densidade por unidade de área, em relação ao número de vagas dos paraciclos, foi utilizada a lógica *Fuzzy*. Quanto maior a quantidade de paraciclos com no mínimo 20 vagas, maior a adequabilidade. O valor de adequabilidade igual a 10 corresponde ao maior número de vagas nos paraciclos, considerando-se adequabilidade igual a zero para a inexistência de paraciclos.

4.2.1.2.6 Sinalização viária para modos não motorizados

Para verificar a satisfação dos usuários que utilizam o sistema viário da área urbana do câmpus universitário analisado, em relação à sinalização viária para os modos não motorizados, foi realizada uma pesquisa de opinião, adotando-se a amostra mínima de acordo com o corpo social da área de estudo. A pesquisa quantitativa foi utilizada para quantificar opiniões através de técnicas estatísticas, priorizando os resultados numéricos.

Os pesos referentes ao nível de satisfação dos usuários foram distribuídos proporcionalmente de acordo com a escala *Likert*, em que, para cada nível de satisfação, é atribuída uma nota que varia de 1 a 5. Estes valores foram adequados à escala de pesos proposta conforme apresentado no Quadro 6.

Quadro 6 – Pesos para o fator “Sinalização viária para modos não motorizados”.

Peso	Sinalização viária
10	Excelente
$10 > \text{varia linearmente} > 7$	Bom
$7 \geq \text{varia linearmente} > 5$	Regular
$5 \geq \text{varia linearmente} > 2$	Ruim
$2 \geq \text{varia linearmente} \geq 0$	Muito ruim

Fonte: Próprio autor.

Nota: Peso 10: excelente; Peso 7: bom; Peso 5: regular; Peso 2: ruim e Peso 0: ruim

Após a tabulação da pesquisa de acordo com técnicas estatísticas, para a distribuição simétrica de dados foi utilizada a média, e para a distribuição assimétrica, a mediana. Foi utilizada a lógica *Fuzzy* para atribuir um valor de adequabilidade em todo o polígono analisado, visto que, na pesquisa de opinião, não houve questões específicas para cada setor da área urbana do câmpus universitário analisado e não foi identificado a qual setor o usuário pertence.

Quanto maior a satisfação do usuário, melhor a condição da sinalização viária para os modos não motorizados. O valor de adequabilidade igual a 10 corresponde à condição excelente, considerando-se adequabilidade igual a zero para condição muito ruim da sinalização viária para as vias analisadas da área de estudo.

4.2.1.2.7 Vias com calçadas

Para as calçadas, foram verificados os atributos relativos à largura e ao tipo de pavimento, com base na norma técnica NBR 9050 (ABNT, 2015) e por esses atributos serem considerados relevantes nas metodologias desenvolvidas por Khisty (1995), Dixon (1996) e Ferreira e Sanches (1998).

A partir do mapeamento com receptor GPS dos atributos de cada calçada pertencente à área urbana do câmpus universitário analisado, foi realizada a espacialização desses pontos na base cartográfica. Para interpolar estas informações, utilizou-se o interpolador de polígonos de *Thiessen*.

Para este critério (fator), adotaram-se os polígonos de *Thiessen*, ou polígonos de influência, visto que as variáveis presentes nesse critério são qualitativas (por exemplo tipo de pavimento) e não quantitativas, o que faz com que não seja possível interpolar os valores das variáveis por toda a área de estudo.

Em seguida, foi realizada uma seleção espacial a partir dos atributos dos polígonos de *Thiessen* (cada polígono tem os atributos idênticos ao ponto que lhe deu origem). Para o câmpus universitário analisado, foram encontrados os seguintes tipos de pavimento: cimentado, bloquete e terra. Os valores adotados foram obtidos a partir da norma técnica NBR 9050 (ABNT, 2015), em que a largura mínima de calçada é de 1,20m. Larguras menores que 1,00m são consideradas inadequadas para a circulação de pessoas em duplo sentido de circulação, conforme apresentado no Quadro 7.

Quadro 7 – Pesos para o fator “Vias com calçadas”.

Peso	Largura (m)	Tipo de pavimento
10	$L \geq 1,20$ m	Cimentado
7		Bloquete
5		Terra
2	$1,20 > L \geq 1,00$	Cimentado/ Bloquete/Terra
0	$L < 1,00$	Cimentado/Bloquete/Terra

Fonte: Adaptado de ABNT (2015).

Nota: Peso 10: excelente; Peso 7: bom; Peso 5: regular; Peso 2: ruim e Peso 0: muito ruim; L: Largura.

Quanto maior a largura das calçadas e mais adequado o tipo de pavimento, maior a adequabilidade para a acessibilidade de pessoas portadoras de deficiência e com mobilidade reduzida. O valor de adequabilidade igual a 10 corresponde à melhor condição de calçada, considerando-se adequabilidade igual a zero para a pior condição de calçada, no que se refere à largura e ao tipo de pavimento.

4.2.1.2.8 Fragmentação físico-territorial

A fragmentação físico-territorial é um critério (restrição) e se limita à parcela de terra contínua, do total da área urbanizada do câmpus universitário analisado, que não é dividida por infraestruturas de transporte, como vias de trânsito rápido (rodovias, vias expressas e vias arteriais), vias para transporte ferroviário (ainda que desativadas) ou qualquer outra barreira física, natural ou construída, que acarrete em descontinuidade.

4.2.1.3 Índice proposto

O Quadro 8 apresenta uma síntese dos processos de avaliação do método proposto.

Quadro 8 – Métodos de avaliação para a geração do critério (fator) utilizando-se da lógica *Fuzzy*.

	Crítérios (Fatores)	Métodos de avaliação
1	Extensão de infraestruturas cicloviárias	Mapa de distância
2	Características físicas de infraestruturas	Polígono de <i>Thiessen</i>
3	Conectividade de infraestruturas cicloviárias	Aplicação de peso a todo o polígono
4	Localização de estacionamentos para bicicletas	Mapa de distância
5	Vagas de estacionamento para bicicletas	Mapa de <i>Kernel</i>
6	Sinalização viária para modos não motorizados	Aplicação de peso a todo o polígono
7	Vias com calçadas	Polígono de <i>Thiessen</i>

Fonte: Próprio autor.

Após as avaliações dos critérios (fatores), utilizou-se o método WLC (*Weighted Linear Combination* - Combinação Linear Ponderada), no *software* ArcGis 10.5, para gerar o mapa de índice de mobilidade urbana sustentável em função de modos não motorizados. A partir dos mapas dos critérios (fatores), foram quantificados os números de pessoas e das áreas atingidas pela condição determinada em função das análises utilizadas para cada critério (fator), permitindo a mensuração dos critérios (fatores) quanto à influência na determinação da mobilidade urbana sustentável no câmpus universitário analisado.

Os dados de entrada para a criação da WLC foram os *rasters* de todos os fatores utilizados nessa pesquisa, o *raster* restrição e os pesos adotados para cada fator analisado. Os valores dos pesos refletem o quanto cada fator interfere nas condições de conforto e segurança dos usuários de meios de transportes não motorizados na área urbana do câmpus analisado.

Nos *rasters* fatores, cada *pixel* possui um valor de adequabilidade proveniente da lógica *Fuzzy*. Para o *raster* restrição, os *pixels* das áreas restritas possuem valor 0 e os das demais possuem valor 1.

A implementação do WLC foi feita a partir de uma média ponderada. Assim, cada fator foi multiplicado pelo peso correspondente e, em seguida, todos os *rasters* resultantes dessa etapa foram somados e divididos pela soma dos pesos. Por fim, esse *raster* resultante foi multiplicado pelo *raster* restrição, o que fez com que os *pixels* das áreas de restrição tivessem valor nulo e os das demais permanecessem inalteradas.

Através do método de avaliação multicritério e das técnicas associadas, somando-se ainda a sua implementação a um Sistema de Informação Geográfica, foi possível apresentar os resultados em forma de mapas, contribuindo para a interpretação e análise espacial.

O Quadro 9 apresenta os sete fatores da análise multicritério com seus respectivos pesos. Foi adotado, na análise multicritério, o critério “Fragmentação físico-territorial” como uma restrição. Para essa pesquisa, foram consideradas como restrições a linha férrea desativada existente na área urbana do câmpus universitário, parte das rodovias MG 280 e BR 120, as lagoas e os fragmentos florestais. O câmpus universitário em seu sistema viário é composto, na sua maioria, por vias secundárias, com velocidade máxima permitida de 40km/h.

Quadro 9 – Pesos para a geração do índice de mobilidade urbana sustentável.

	Crítérios (Fatores)	Pesos
1	Extensão de infraestruturas cicloviárias	0,15
2	Características físicas de infraestruturas cicloviárias	0,15
3	Conectividade de infraestruturas cicloviárias	0,15
4	Localização de estacionamentos para bicicletas	0,10
5	Vagas de estacionamentos para bicicletas	0,15
6	Sinalização viária para modos não motorizados	0,15
7	Vias com calçadas	0,15
	Total	1,00

Fonte: Próprio autor.

A hierarquia de pesos foi definida em função da importância dos fatores em relação à segurança e ao conforto dos usuários dos modos não motorizados e da infraestrutura disponível na área estudada, em que os modos não motorizados são valorados em relação aos modos motorizados.

Foram atribuídos pesos com valores iguais (0,15) para os fatores “Extensão de infraestruturas cicloviárias”, “Conectividade de infraestruturas cicloviárias” e “Vagas de estacionamentos para bicicletas”, por entender que são estruturas físicas e intervenções de infraestruturas necessárias para o atendimento mínimo da condição de conforto e segurança viária para o usuário de veículos não motorizados. Quanto ao fator “Características físicas de infraestruturas cicloviárias”, também, foi atribuído o peso de valor 0,15 por entender que esse item interfere tanto na condição de segurança viária e conforto do usuário, quanto na capacidade

de circulação de veículos não motorizados. Quanto aos fatores “Sinalização viária para modos não motorizados” e “Vias com calçadas” também receberam peso com valor 0,15, por estarem diretamente relacionados à segurança, principalmente de pedestres. Quando ao fator “Localização de estacionamento para bicicletas”, foi atribuído o peso com valor 0,10, por entender que esse critério tem interferência menos relevante no atendimento à condição de segurança viária em relação aos demais.

Após a definição dos pesos para os fatores analisados, gerou-se um índice para os modos não motorizados utilizando-se o WLC, conforme a Equação 1.

$$\begin{aligned} \text{Índice para} \\ \text{modos} \\ \text{não motorizados} \end{aligned} = \frac{\{[(\textit{Critério 1}) * 0,15] + [(\textit{Critério 2}) * 0,15] + [(\textit{Critério 3}) * 0,15] + [(\textit{Critério 4}) * 0,10] + [(\textit{Critério 5}) * 0,15] + [(\textit{Critério 6}) * 0,15] + [(\textit{Critério 7}) * 0,15]\}}{(\textit{Critério 8})} \quad (1)$$

Utilizando-se a combinação de fatores ponderados e a restrição, em função do critério fragmentação físico-territorial da área de estudo, foi obtido o índice de mobilidade urbana sustentável para o câmpus universitário analisado.

Foi disponibilizado, pela Administração do câmpus universitário analisado, o número de usuários (professores, técnicos-administrativos e estudantes) locados em cada prédio da área urbana do câmpus. Com relação aos estudantes, foi disponibilizada a grade horária semanal da ocupação de cada prédio. Para cada prédio, foi escolhido o número máximo informado de alunos por hora durante a semana, que foi somado ao número de professores e funcionários.

Com o auxílio do *software* ArcGis, este número foi inserido em cada um dos prédios, com a finalidade de estimar a população de usuários em cada intervalo de peso atribuído aos fatores analisados. O somatório da população de usuários dos diversos prédios da área urbana do câmpus universitário analisado foi de 9.484 pessoas.

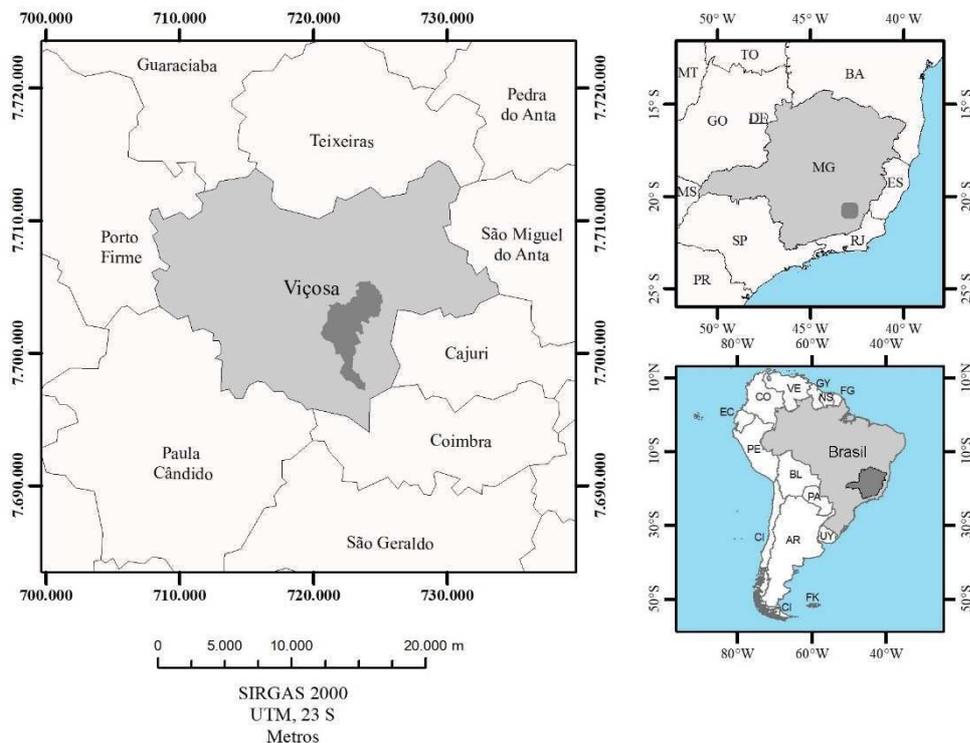
Desta forma, foi possível, nos mapas de adequabilidade de cada fator verificar a população que está compreendida entre os pesos com valores entre 7 e 10, cujo intervalo foi entendido como faixa de influência ótima, além de comparar as populações atendidas pelos diversos fatores analisados no estudo proposto, bem como no mapa final de adequabilidade do índice de mobilidade urbana sustentável para câmpus universitário.

4.3 Experimento

4.3.1 Área para aplicação piloto do método proposto

O câmpus Viçosa da Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizado no município de Viçosa, Estado de Minas Gerais, Brasil, foi escolhido como área para aplicação do método proposto, conforme apresentado na Figura 2. A Universidade apresenta importante papel no município e na região, tendo em seu corpo social aproximadamente 25% da população do município. Viçosa teve um acréscimo de 52% em sua frota de veículos nos últimos dez anos, sendo que grande parte desses veículos circula dentro do câmpus da universidade (IBGE, 2019 e DENATRAN, 2019). A população da cidade de Viçosa também utiliza o espaço físico do câmpus universitário para fins esportivos e sociais, além de educacionais. A referida IES possui uma área de 16,113km² (UFV, 2018) e quadro social de 22.359 pessoas (UFV, 2016). A base cartográfica utilizada para a geração dos mapas temáticos relativos a cada critério (fator) analisado foi obtida a partir de trabalho de pesquisa realizado por Matta e Cunha (2017).

Figura 2 – Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Próprio autor.

4.3.2 Pesquisa exploratória

Para a pesquisa de opinião realizada no câmpus, foi utilizada a amostra mínima, calculada a partir do corpo social total do câmpus Viçosa da UFV. Os números de discentes, docentes e funcionários encontram-se no Quadro 10.

Quadro10 - Corpo social do câmpus Viçosa da UFV.

Classe	Quantidade por classe
Ensino Médio e Técnico	18.184
Graduação	
Pós-Graduação (<i>Stricto Sensu</i>)	
Pós-Graduação (<i>Lato Sensu</i>)	
Corpo Docente	1.064
Corpo Técnico-Administrativo	2.163
Terceirizados	948
TOTAL	22.359

Fonte: UFV (2016).

A partir das informações contidas no Quadro 10, buscou-se estabelecer uma amostra significativa para as análises propostas no estudo. Nesse sentido, com o número da população definido, determinou-se o tamanho da amostra com um erro amostral e grau de confiança pré-determinados. Assim sendo, o nível de confiabilidade adotado foi de 95% e o erro amostral de 5%. Neste caso, a amostra mínima foi de 378 pessoas, conforme detalhado a seguir, a partir da Equação 2 (TRIOLA, 2013):

Cálculo da amostra mínima para população finita

$$n = \frac{Z^2 \sigma^2 N}{(N-1) \cdot \epsilon^2 + Z^2 \sigma^2} \quad (2)$$

Sendo:

N: número de elementos da população

n: número de elementos da amostra

ϵ : erro permissível

σ : desvio padrão populacional

Z: obtido através da tabela normal em função do nível de significância

Tem-se:

N = 22.359 (Quadro 10)

$\epsilon = 5\%$

Z = 1,96 [da tabela de distribuição normal tendo: $\alpha = 5\%$; $(1-\alpha) = 95\%$]

$\sigma^2 = p \cdot q$, onde: $p + q = 1$. Então $\sigma^2 = p (1 - p)$ onde p é a proporção

p = 50% = 0,5

Substituindo na Equação 2:

$$n = \frac{1,96^2 * 0,5 (1 - 0,5) * 22.359}{(22.359 - 1) * (0,05)^2 + 1,96^2 0,5 (1 - 0,5)}$$

$$n = 377,70 = 378 \text{ pessoas}$$

Atendendo às porcentagens do Quadro 10, obteve-se a quantidade de pessoas a serem entrevistadas para atendimento à amostra mínima para cada segmento, conforme apresentado na Tabela 1. Os questionários foram aplicados entre os meses de abril e junho de 2017.

Tabela 1 – Amostra mínima para pesquisa de opinião no câmpus Viçosa da UFV.

Classe	Quantidade por classe	% do corpo social	Amostra mínima
Ensino Médio e Técnico			
Graduação	18.184	81,33	304
Pós-Graduação (<i>Stricto Sensu</i>)			
Pós-Graduação (<i>Lato Sensu</i>)			
Corpo Docente	1.064	4,76	19
Corpo Técnico-Administrativo	2.163	9,67	38
Terceirizados	948	4,24	17
TOTAL	22.359	100	378

Fonte: Próprio autor.

4.3.3 Resultados e discussões

Atualmente, existem cerca de 0,50km de ciclovias implantadas na área urbana do câmpus Viçosa da UFV, embora haja políticas públicas da administração superior dessa IES para ampliação da infraestrutura cicloviária. Desta forma, para os critérios “Extensão de infraestruturas cicloviárias”, “Características físicas de infraestruturas cicloviárias” e “Conectividade de infraestruturas cicloviárias”, não houve nota atribuída. Como o peso adotado para este fator é de 45%, o maior peso que alguma região da área urbana do câmpus Viçosa da UFV poderá obter será 5,5 na escala de 0 a 10.

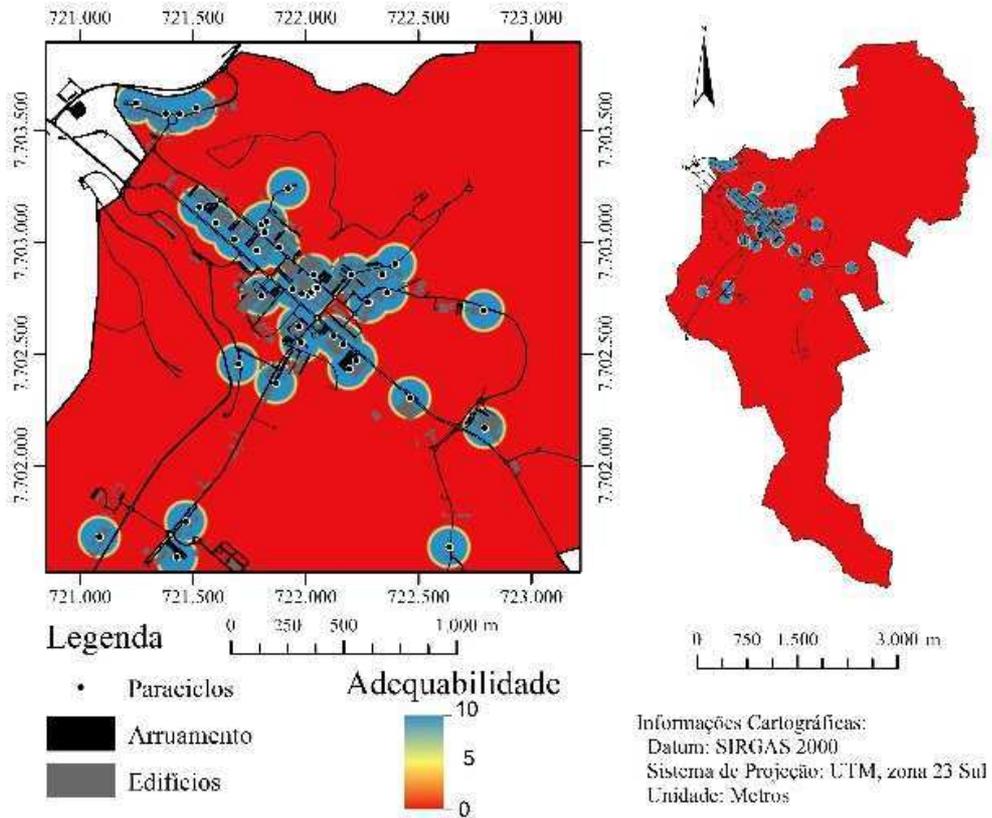
4.3.3.1 Localização de estacionamentos para bicicletas

Existem 45 paraciclos instalados na área urbana do câmpus Viçosa da UFV, com 1.147 vagas de estacionamento de bicicletas, conforme levantamento realizado durante os meses de março e abril de 2017, apresentado na Figura 3.

Em pesquisa de contagem classificada, realizada na área urbana do câmpus universitário analisado, em novembro de 2016, foi registrada uma média diária de 1.885 bicicletas, para os dois sentidos de tráfego. Desta forma, constatou-se um *deficit* de 738 vagas de estacionamento para bicicletas, o que corresponde a 39% do número médio de bicicletas que circulam diariamente pela área urbana do câmpus universitário. O resultado apresentado demonstra um

impacto negativo, pois os ciclistas que não conseguem um paraciclo para estacionar suas bicicletas utilizam grades ou postes sem nenhuma segurança.

Figura 3 – Mapa do fator “Localização de estacionamentos para bicicletas”.



Fonte: Próprio autor.

A distância de adequabilidade de 0 a 50m na escala de 0 a 10, corresponde ao valor 10, classificado na Tabela 2 como ótimo. Depreende-se que os paraciclos existentes atendem a uma população de 5.796 pessoas, ou seja, 61,11% da população que utilizam os diversos prédios da área urbana do campus universitário analisado, abrangendo 0,279km² da área de estudo. Salienta-se que os paraciclos foram instalados próximos dos principais prédios da área analisada, principalmente, na Avenida Peter Henry Rolfs e na Avenida Purdue.

Tabela 2 – População atendida pelo fator “Localização de estacionamentos para bicicletas” por faixa de influência na área urbana do câmpus.

Pesos	População	Área (km²)
10 ≥ varia linearmente > 7	5.796	0,279
7 ≥ varia linearmente > 5	393	0,017
5 ≥ varia linearmente > 2	779	0,227
2 ≥ varia linearmente ≥ 0	2.516	15,590
TOTAL	9.484	16,113

Fonte: Próprio autor.

4.3.3.2 Vagas de estacionamentos para bicicletas

O valor do raio obtido pelo algoritmo gerado pelo mapa de *Kernel* foi de 70,8m, e a área do círculo com este raio foi de 15.747,70m², gerando a densidade de 0,00127vagas/m².

Conforme apresentado na Tabela 3 e na Figura 4, considerando-se a densidade de vagas correspondente ao valor de adequabilidade igual a 10, classificado como ótimo, observa-se que a quantidade de vagas de estacionamento para bicicletas disponível na área urbana do câmpus universitário analisado atende a uma população de 5.707 pessoas, ou seja, 60,18% da população que utilizam os diversos prédios da área de estudo, abrangendo 0,268km² dessa área.

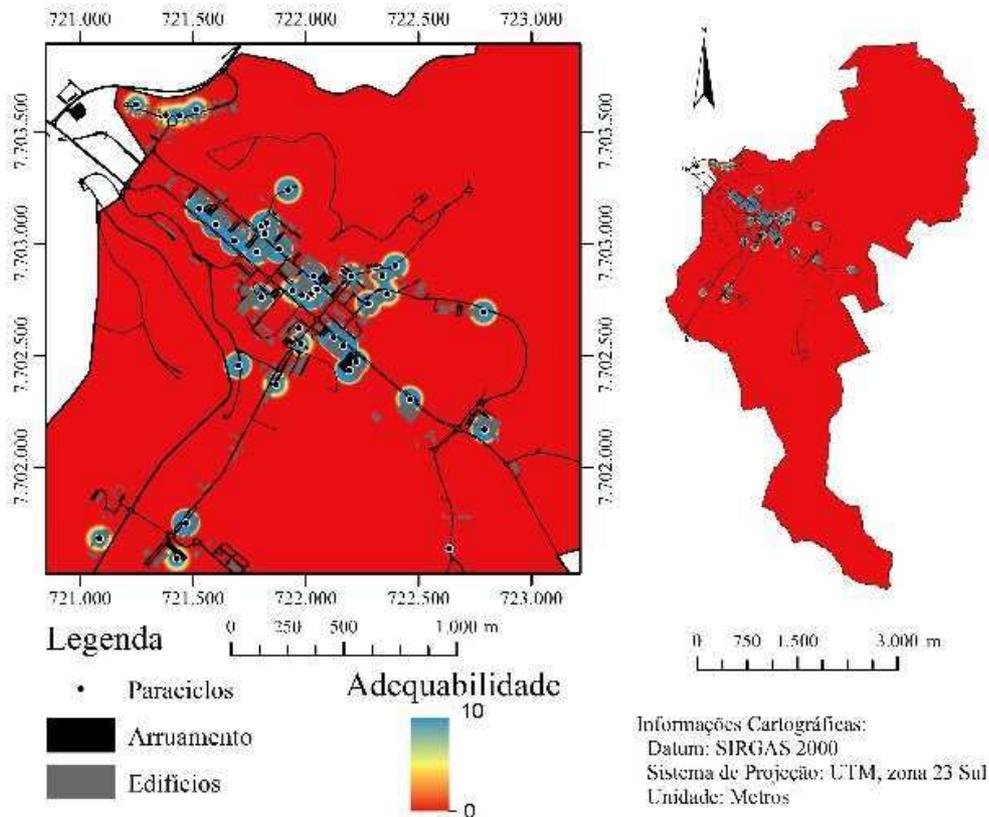
Conforme apresentado para o fator “Localização de estacionamentos para bicicletas”, a maior quantidade de vagas para bicicletas também está localizada junto aos principais prédios da área urbana do câmpus universitário analisado.

Tabela 3 – População atendida pelo fator “Vagas de estacionamentos para bicicletas” por faixa de influência na área urbana do câmpus.

Pesos	População	Área (km²)
10 ≥ varia linearmente > 7	5.707	0,268
7 ≥ varia linearmente > 5	-	0,033
5 ≥ varia linearmente > 2	222	0,065
2 ≥ varia linearmente ≥ 0	3.555	15,747
Total	9.484	16,113

Fonte: Próprio autor.

Figura 4 – Mapa do fator “Vagas de estacionamentos para bicicletas”.



Fonte: Próprio autor.

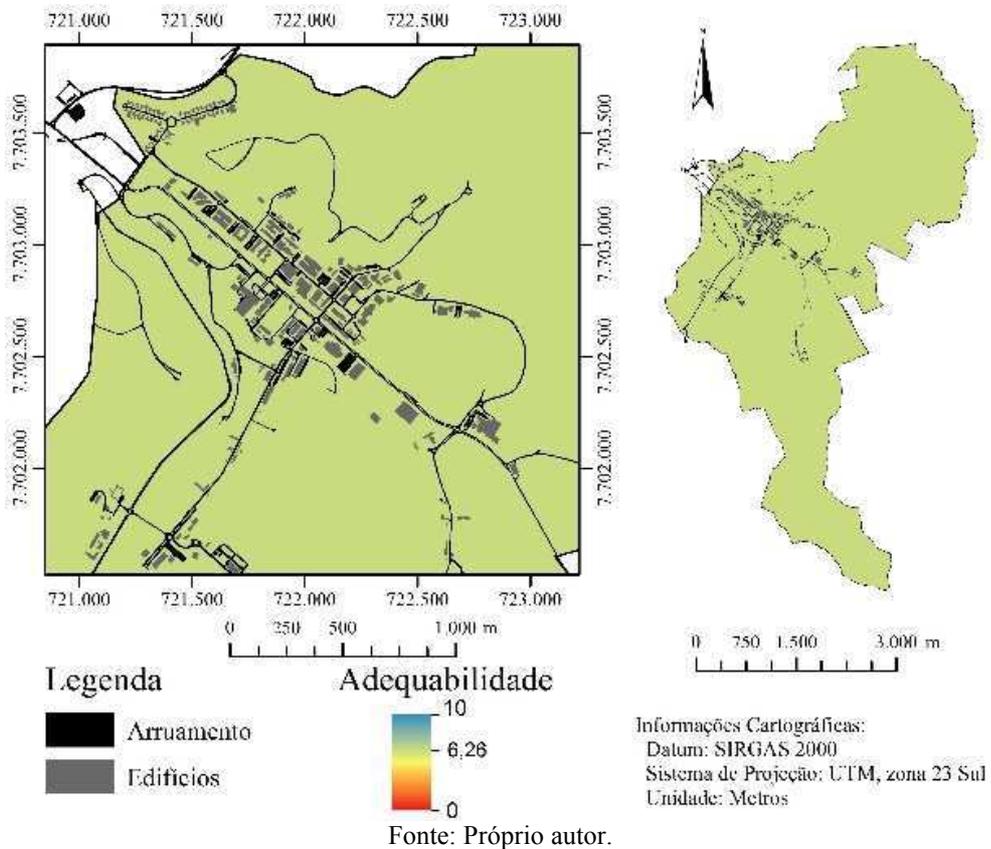
4.3.3.3 Sinalização viária para modos não motorizados

Em atendimento ao corpo social da área urbana do câmpus universitário e preservando a significância estatística, adotou-se a amostra mínima de 378 questionários para a realização da pesquisa de opinião (Apêndice F). Como o resultado das pesquisas apresentou uma distribuição simétrica, foi adotada a média.

A média obtida através das respostas dos questionários foi de 62,6%, que corresponde à satisfação do usuário entre bom e regular. De acordo com o apresentado no Quadro 7, o peso obtido para o fator foi de 6,26, numa escala de 0 a 10, conforme apresentado na Figura 5.

A população atingida por este fator abrange toda a população que utiliza os diversos prédios da área urbana do objeto de estudo, 9.484 pessoas. Recomenda-se que, em outras pesquisas de opinião, seja identificado em qual setor da área de estudo o entrevistado está lotado, para que possam ser mapeados valores de satisfação classificados por setor.

Figura 5 – Mapa do fator “Sinalização viária para modos não motorizados”.

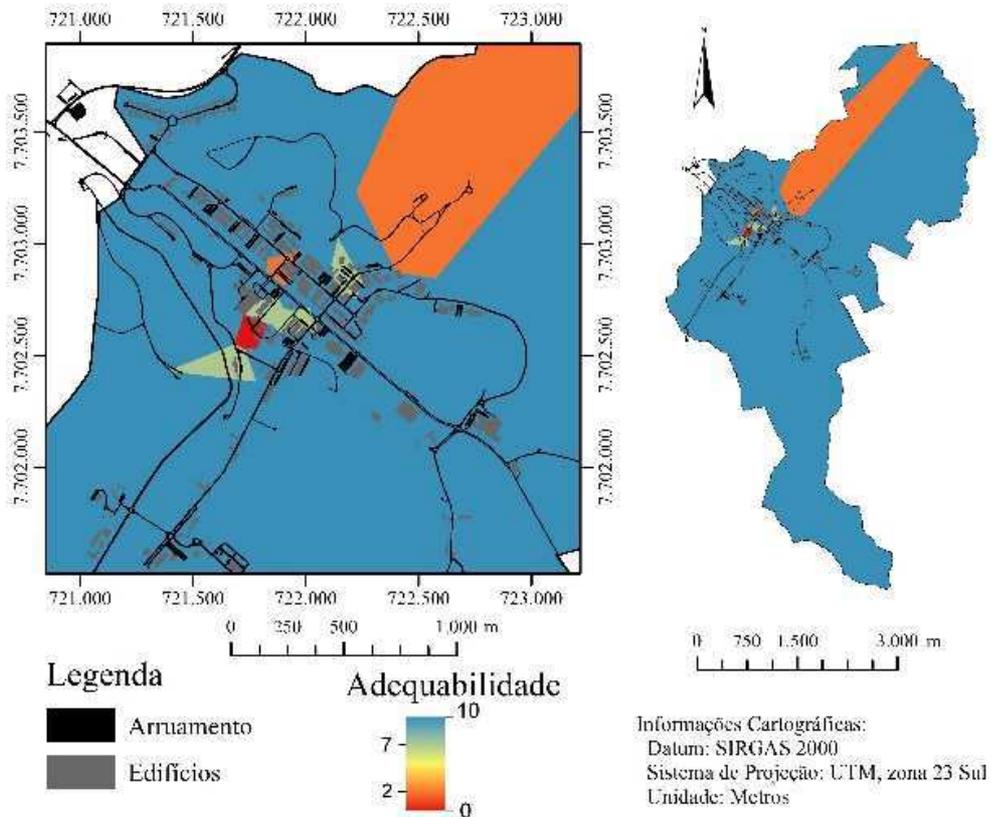


4.3.3.4 Vias com calçadas

Conforme levantamento realizado nos meses de abril e maio de 2017, existem, na área analisada, 26,984km de calçadas. Tais informações geraram o fator apresentado na Figura 6. A área de estudo possui calçadas em boas condições de mobilidade e acessibilidade para os pedestres.

De acordo com o apresentado na Tabela 4, considerando o peso igual a 10, classificado como ótimo, e tendo a calçada largura superior a 1,20m e tipo de pavimento cimentado, observa-se que a extensão de calçadas existentes na área urbana do câmpus universitário analisado atende a uma população de 9.484 pessoas, o que corresponde a 100% da população que utiliza os diversos prédios da área de estudo, abrangendo uma área de 14,383km².

Figura 6 – Mapa do fator “Vias com calçadas”.



Fonte: Próprio autor.

Tabela 4 – População atendida pelo fator “Vias com calçadas” por faixa de influência na área urbana do câmpus.

Pesos	População	Área (km ²)
10 ≥ varia linearmente > 7	9.484	14,383
7 ≥ varia linearmente > 5	0	0
5 ≥ varia linearmente > 2	0	1,716
2 ≥ varia linearmente ≥ 0	0	0,014
TOTAL	9.484	16,113

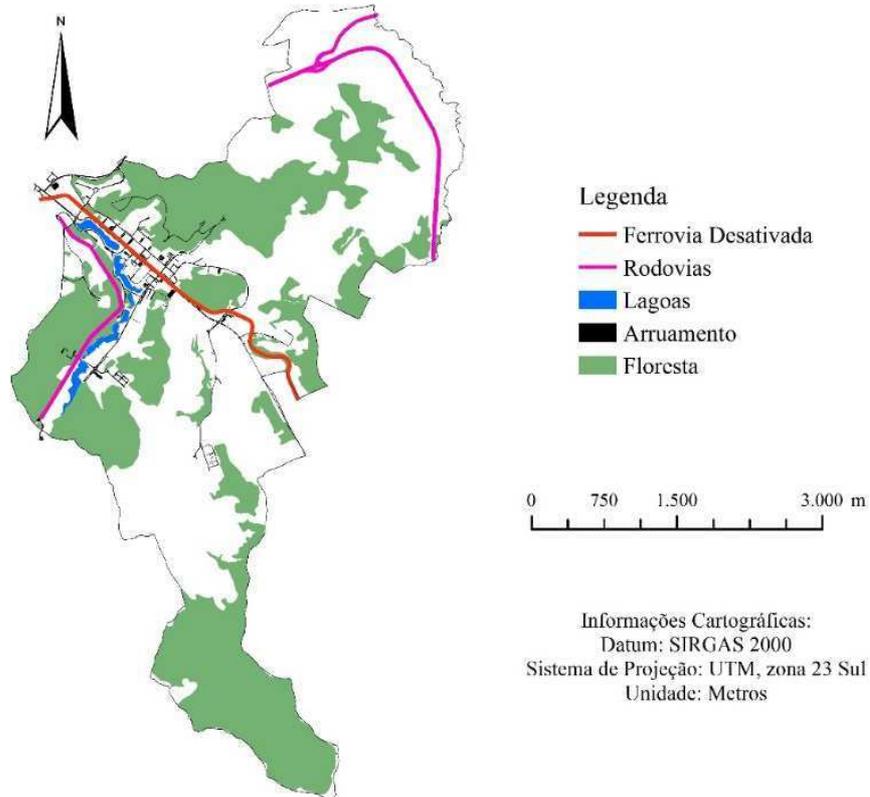
Fonte: Próprio autor.

4.3.3.5 Fragmentação físico-territorial

Após levantamento de campo na área urbana do câmpus analisado, foram detectadas as barreiras físicas, naturais ou construídas, a saber: 1 ferrovia desativada (0,0076km²), 2 rodovias (0,0278km²), 5 lagoas (0,1473km²) e 29 áreas de florestas (7,6071km²), conforme apresentado na Figura 7. Algumas distâncias foram estendidas devido à impossibilidade ou dificuldade de suas transposições por pedestres e veículos motorizados e não motorizados. Essas áreas

totalizam 7,7898km², o que corresponde a 48,34% da área total do câmpus universitário analisado.

Figura 7 – Mapa da restrição “Fragmentação físico-territorial”.



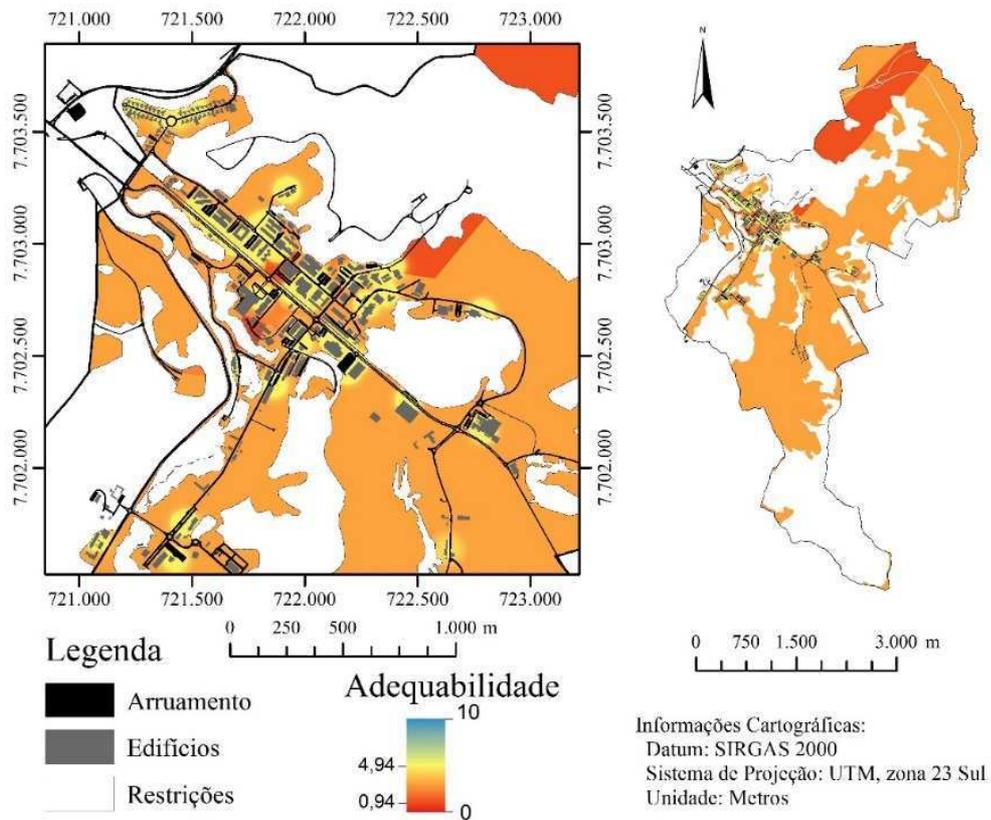
Fonte: Próprio autor.

4.3.3.6 Mapa do índice para os modos não motorizados

A combinação linear ponderada dos sete fatores com a restrição é apresentada na Figura 8. Não existe população atingida para o intervalo de adequabilidade de 7 a 10, numa escala de 0 a 10, visto que, ao utilizar a Equação 1, nenhum resultado relativo à população foi obtido para adequabilidade superior a 7. Isto pode ser justificado pelos fatores “Extensão de infraestruturas cicloviárias”, “Características físicas de infraestruturas cicloviárias” e “Conectividade de infraestruturas cicloviárias”, que não obtiveram pontuação, devido à pequena extensão de ciclovias e à inexistência de ciclofaixas, ciclorrotas e faixas compartilhadas na área estudada, além de o fator “Sinalização viária para modos não motorizados” ter obtido, na pesquisa de opinião, média inferior a 7, numa escala de 0 a 10.

Não foi encontrada também população para o intervalo de adequabilidade de 5 a 7. Desta forma, para o intervalo de adequabilidade entre 2 e 5, cuja avaliação varia de ruim a regular, a população atingida na área de estudo corresponde a 9.484 pessoas, que utilizam uma área de 14,374km². Na escala de adequabilidade, o conceito máximo obtido pelo câmpus analisado foi de 4,94, numa escala de 0 a 10.

Figura 8 – Mapa dos modos não motorizados como índice de mobilidade urbana sustentável para o câmpus em estudo.



Fonte: Próprio autor.

A partir dos dados apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4, foram estimadas as populações atendidas pelos fatores analisados, que na escala de adequabilidade, ficaram entre 7 e 10, numa escala de 0 a 10, resultados considerados como ótimos, sendo possível a geração dos índices apresentados na Tabela 5. Não foi calculado o índice para a “Fragmentação físico-territorial”, por se tratar de uma restrição.

Tabela 5 – Índices dos fatores apreciados para a determinação do índice para os “Modos não motorizados” no câmpus em estudo.

Crítérios dos modos não motorizados	Índice obtido
Extensão de infraestruturas cicloviárias	-
Características físicas de infraestruturas cicloviárias	-
Conectividade de infraestruturas cicloviárias	-
Localização de estacionamentos para bicicletas	0,61
Vagas de estacionamentos para bicicletas	0,60
Vias com calçadas	1,00
Sinalização viária para modos não motorizados	-

Fonte: Próprio autor.

4.4 Conclusões

A aplicação do método de avaliação multicritério em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), com o objetivo de verificar as condições de mobilidade urbana sustentável para os modos não motorizados em um câmpus universitário, conduziu essa pesquisa a algumas conclusões:

- A influência dos fatores, por meio dos pesos atribuídos, teve importância significativa no mapa final do índice de mobilidade urbana sustentável para os modos não motorizados do câmpus universitário analisado, uma vez que o valor máximo obtido na escala de adequabilidade sugere a necessidade de implantação de infraestruturas viárias para atendimento aos modos não motorizados e de execução de melhorias das infraestruturas existentes, principalmente em relação à segurança e ao conforto dos usuários;
- A representação dos índices relativos aos fatores em mapas temáticos possibilitou identificar, nos diversos setores da área urbana do câmpus universitário analisado, quais locais necessitam de maior atenção para atendimento às condições mínimas de segurança e conforto para os usuários de modos não motorizados;
- O índice de mobilidade urbana sustentável para modos não motorizados em câmpus universitários constituiu-se, nessa pesquisa, uma ferramenta de suporte à proposição de políticas públicas, ao direcionamento de ações e, principalmente, à identificação de áreas críticas em relação às condições mínimas de segurança e conforto. Sua aplicação pode ocorrer em toda a área do câmpus universitário ou em regiões específicas, permitindo uma avaliação comparativa destas e o desenvolvimento de ações específicas, visando a melhoria das condições de mobilidade em termos sociais, econômicos e ambientais.

Com esta pesquisa, espera-se que o método possa ser reproduzido em outras instituições de ensino e, se necessário, adaptado à realidade de cada uma delas.

REFERÊNCIAS

ACKER, V.; GOODWIN, P.; WITLOX, F. **Key research themes on travel behavior, lifestyle, and sustainable urban mobility**. [S. l.]: International Journal of Sustainable Transportation, 2016. 10 (1), 25-32.

ADAMS, J. **Prevalence and socio-demographic correlates of “active transport” in the UK: Analysis of the UK time use survey 2005**. [S. l.]: Preventive Medicine, 2010. 50 (4), 199-203.

AKAR, G.; CLIFTON, K. **Influence of individual perceptions and bicycle infrastructure on decision to bike**. [S. l.]: Transportation Research record: Journal of the Transportation Research Board, 2009. 2140, 165-172.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**. 2015. Disponível em: https://www.pessoacomdeficiencia.gov.br/app/sites/default/files/arquivos/%5Bfield_generico_imagens-filefield-description%5D_24.pdf. Acesso em: 10 jan. 2019.

AULTMAN-HALL, L.; LANE D.; LAMBERT, R. **Assessing impact of weather and season on pedestrian traffic volumes**. [S. l.]: Transportation Research Record, 2009. 2140, 35-43.

BALSAS, C. J. **Sustainable transportation planning on college campuses**. [S. l.]: Transport Policy, 2003. 10(1), 35-49.

BENICCHIO, T. Bicicletas transformando a cidade. In: B.R. Padovano, P.B. Sala, & M. Namur (Org.) **São Paulo: em busca da sustentabilidade**. São Paulo: PINI – EDUSP, 2012. vol. 1, pp. 216–230.

BOPP, M.; KACZYNSKI, A.; WITTMAN, P. **Active commuting patterns at a large, midwestern college campus**. [S. l.]: Journal of American College Health, 2011. 59, 605-611.

DELL’OLIO, L.; BORDAGARAY, M.; BARREDA, R.; IBEAS, A. **A methodology to promote sustainable mobility in college campuses**. [S. l.]: Transportation Research Procedia, 2014. 3, 838-847.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (DENATRAN), 2019. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/>. Acesso em: 21 mai. 2019.

DILL, J. **Measuring network connectivity for bicycling and walking**. Portland: TRB. League of Illinois Bicyclists, 2004.

DIXON, L. B. **Bicycle and Pedestrian Level-of-Service Performance Measures and Standards for Congestion Management System**. [S. l.]: Transportation Research Record, 1996. 1538, 1-9.

EASTMAN, J. R. Decision support: decision strategy analysis. In: Clark University (Ed.). **Idrisi 32 release 2: Guide to GIS and image processing**. Worcester: Clark Labs, 2001. 2, 22.

EMBARQUE BRASIL. **Manual de projetos e programas para incentivar o uso de bicicletas em comunidades.** 2014.

FERREIRA, D. I. R.; SILVA, J. P. C. da. **Contributos da gestão da mobilidade na mudança de mentalidades:** o caso do Instituto Politécnico de Leiria. [S. l.]: Transportes, 2012. 20 (3), 18–27.

FERREIRA, M. A. G.; SANCHES, S. P. Avaliação do Conforto e Segurança dos Pedestres. In: X Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transportes, Santander, Espanha. **Anais...** Santander: 1998. p 243-253.

GUERREIRO, T. de C. M.; PROVIDELO, J. K.; PITOMBO, C. S.; RAMOS, R. A. R.; SILVA, A. N. R. da. **Data-mining, GIS and multicriteria analysis in a comprehensive method for bicycle network planning and design.** International Journal of Sustainable Transportation, 2018. 12 (3), 179–191.

HAYNES, M.; ANDRZEJEWSKI, S. **GIS Based Bicycle and Pedestrian Demand Forecasting Techniques.** Fehr & Peers. TMIP Webinar, 2010. Disponível em: <http://tmip-dev.tamu.edu/webinars/nonmotorized>. Acesso em: 04 out. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (IBGE), **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/vicosa/panorama>. Acesso em: 21 mai. 2019.

JONES, M. G.; RYAN, S.; DONLON, J.; LEDBETTER, L.; RAGLAND, D. R.; ARNOLD, L. **Seamless Travel:** measuring bicycle and pedestrian activity in San Diego county and its relationship to land use, transportation, safety, and facility type. University of California, Berkeley: UC Berkeley safe transportation research & education center. Final Report for Task Order 6117, 2010.

KHISTY, C. J. **Evaluation of Pedestrian Facilities:** Beyond the Level-of-Service Concept. Transportation Research Record, 1995. 1438, 45-50.

LAUTSO, K.; SPIEKERMANN, K.; WEGENER, M.; SHEPPARD, I.; STEADMAN, P.; MARTINO, A.; DOMINGO, R.; GAYDA, S. **PROPOLIS:** Planning and research of policies for land use and transport for increasing urban sustainability. Final Report second edition, 2004. Disponível em: http://www.iee.library.eu/images/all_ieelibrary_docs/229_propolis.pdf. Acesso em: 10 jan. 2019.

LEE, J. S.; NAM, J.; LEE, S. S. **Built environment impacts on individual mode choice:** an empirical study of the Houston-Galveston metropolitan area. [S. l.]: Int. J. Sustain. Trans.8, 2014. 447–470.

LINDSEY, G.; HAN, Y.; WILSON, J.; YANG, J. **Neighborhood Correlates of Urban Trail Use.** Journal of Physical Activity and Health, 2006. 3 (1), s139-s157.

LONGO, G.; MEDEOSSI, G.; PADOANO, E. **Multi-criteria analysis to support mobility management at a university campus.** [S. l.]: Transportation Research Procedia, 2015. 5, 175-185.

MARINS, K. R. C.; SILVA, A. N. R. da; OLIVEIRA, A. M.; VILELA, M. M.; KAKO, K.; COSTA, D.; GOMES, M. M.; RIGHI, C. A.; ZORIGIAN, C. M.; MARTE, C. L. Uma política de mobilidade para a Universidade de São Paulo. In: II Encontro Nacional de Tecnologia Urbana – ENURB, 2015, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: UPF Editora, 2015. p. 54-63.

MATTA, J. P. A.; CUNHA, M. M. **Geração e disponibilização na web de uma base cartográfica planimétrica da Universidade Federal de Viçosa, campus Viçosa.** Monografia. (Engenharia de Agrimensura e Cartográfica). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

MEYER, M. D. **Transportation Planning Handbook.** [S. l.]: Institute Transportation of Engineers, 2016.

MIRALLES-GUASCH, C.; DOMENE, E. **Sustainable transport challenges in a suburban university:** The case of the Autonomous University of Barcelona. [S. l.]: Transport Policy, 2010. 17 (6), 454-463.

MOLINA-GARCÍA, J.; CASTILLO, I.; SALLIS, J. F. **Psychosocial and environmental correlates of active commuting for university students.** [S. l.]: Preventive Medicine, 2010. 51 (2), 136-138.

NACTO. **Urban Bikeway Design Guide.** National Association of City Transportation Officials, 2012. 260 p.

PAULA, A. F. F. C.; SORRATINI, J. A.; SILVA, T. P.; NOGUEIRA, M. A. M.; SILVA, A. C. S. **Taxa de geração de viagens para instituições privadas de ensino superior:** estudo de caso para a cidade de Uberlândia-MG. Transportes, 2015. 23 (2), 36–42.

PORTO IMAGEM. Sobre largura mínima para ciclofaixas e ciclovias. 2019. Disponível em: <https://portoimagem.wordpress.com/2012/04/15/sobre-largura-minima-para-ciclofaixas-e-ciclovias/>. Acesso em: 16 jan. 2019.

REYNOLDS, K. D.; WOLCH, J.; BYRNE, J.; CHOU, C. P.; FENG, G.; WEAVER S.; JERRETT, M. **Trail characteristics as correlates of urban trail use.** American Journal of Health Promotion, 2007. 21(4 Suppl), 335-345.

ROTARIS, L.; DANIELIS, R. **Commuting to college:** The effectiveness and social efficiency of transportation demand management policies. [S. l.]: Transport Policy, 2015. 44, 158-168.

SHANNON, T.; GILES-CORTI, B.; PIKORA, T.; BULSARA, M.; SHILTON, T.; BULL, F. **Active commuting in a university setting:** assessing commuting habits and potential for modal change. [S. l.]: Transport Policy, 2006. 13(3), 240-253.

SILVA, A. N. R.; COSTA, M. da S.; MACEDO, M. H. **Multiple views of sustainable urban mobility:** The case of Brazil. Transport Policy, 2008. v. 15(6), p. 350-360.

SILVA, A. N. R.; RAIÁ JUNIOR, A. A.; BOCANEGRA, C. W. R. Exploring an ANN modeling approach that combines accessibility and mobility into a single trip potential index

for strategic planning. In: Annual meeting of the Transportation Research Board, 2002, Washington, D.C. - EUA. **Anais...** Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2002.

SILVA, J. P.; FERREIRA, D. **European best practice on sustainable mobility in university campus**. 2008. Disponível em: https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/t.at._best_practice_report_en.pdf. Acesso em: 04 out. 2018.

STEIN, P. P.; SILVA, A. N. R. da. **Barriers, motivators and strategies for sustainable mobility at the USP campus in São Carlos, Brazil**. Case Studies on Transport Policy. São Carlos, 2018. v. 6, p. 329-335. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2017.11.007>. Acesso em: 15 set. 2018.

TISCHER, V. **Validação de sistema de parâmetros técnicos de mobilidade urbana aplicados para sistema cicloviário – Urbe**. Curitiba: Rev. Bras. Gest.Urbana , 2017. vol. 9, nº 3

TRIOLA, M. F. **Introdução à Estatística**. São Paulo: Livros técnicos e científicos, 2013. 11 edição.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA (UnB). **Bicicleta livre**. Brasília: UnB, 2018. Disponível em: <http://www.bicicetalivre.unb.br/>. Acesso em: 05 abr. 2018.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP). **Campus de Pirassununga recebe bicicletas compartilhadas**. 2018. Disponível em: <http://jornal.usp.br/universidade/comunidade-usp/campus-de-pirassununga-recebe-bicicletas-compartilhadas/>. Acesso em: 07 mar. 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA (UFJF). **Bicicletas de estação bike UFJF são renovadas**. 2018. Disponível em: <http://www.ufjf.br/noticias/2016/08/09/bicicletas-de-estacao-bike-ufjf-sao-renovadas/>. Acesso em: 07 mar. 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (UFV). **UFV em números 2016 (Ano base 2015)**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2016.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (UFV). **UFV em números 2018 (Ano base 2017)**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (UFRJ). **Integra UFRJ**. 2019. Disponível em: <http://www.integraufrj.com.br/>. Acesso em: 07 abr. 2019.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. **University Course on Bicycle and Pedestrian Transportation**. Federal Highway Administration. Lesson 17: Bicycle Parking and Storage. Pedestrian and Bicycle Safety, 2006.

VICTORIA TRANSPORT POLICY INSTITUTE (VTPI). **Roadway Connectivity Creating More Connected Roadway and Pathway Networks**. 2017.

5 ÍNDICE DE MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL PARA CÂMPUS UNIVERSITÁRIOS COM ÊNFASE NA SEGURANÇA VIÁRIA

RESUMO - O objetivo deste estudo foi desenvolver um método para cálculo de um índice de mobilidade urbana sustentável a partir de dados pertinentes ao tráfego de veículos e à circulação de pessoas, visando a sua utilização em câmpus universitários brasileiros, dando ênfase à segurança viária. Utilizando-se de análise multicritério de apoio à decisão, foram propostos os seguintes critérios: (i) acidentes de trânsito; (ii) acidentes com pedestres; (iii) acidentes com ciclistas; (iv) prevenção de acidentes; (v) congestionamento; (vi) velocidade média de tráfego; (vii) taxa de ocupação de veículos e; (viii) fragmentação físico-territorial. Os acidentes com pedestres e ciclistas foram os melhores avaliados, pelo fato de terem um maior nível de adequabilidade para o cálculo do índice de mobilidade urbana sustentável. O congestionamento e a velocidade média de tráfego não foram avaliados para toda a extensão viária, pois possuíam efeitos em trechos específicos no sistema viário. O fator relativo à taxa de ocupação de veículos apresentou resultado muito baixo, o que foi justificado pela baixa ocupação veicular média observada. A representação dos resultados obtidos em mapas temáticos possibilitou identificar quais locais necessitam de mais interferências para atendimento às condições mínimas de segurança viária, em relação ao tráfego de veículos e circulação de pessoas.

Palavras-chave: tráfego de veículos, circulação de pessoas, segurança viária, câmpus universitários brasileiros, mobilidade urbana sustentável, análise multicritério.

SUSTAINABLE URBAN MOBILITY INDEX FOR UNIVERSITY CAMPS WITH EMPHASIS ON ROAD SAFETY

ABSTRACT - This study aimed to develop a method for calculating a sustainable urban mobility index, based on vehicle traffic and traffic data, which can be used in Brazilian university campuses, emphasizing road safety. Using multiple criteria decision analysis, the following criteria were proposed: (i) traffic accidents; (ii) pedestrian accidents; (iii) cyclist accidents; (iv) accident prevention; (v) traffic congestion; (vi) average traffic speed; (vii) vehicle occupancy rate and; (viii) physical-territorial fragmentation. Accidents with pedestrians and cyclists were the best evaluated because they have a higher level of adequacy in the calculation of sustainable urban mobility index. Congestion and average traffic speed were not assessed for the entire road length, as they had effects on specific sections of the road system.

The factor related to vehicle occupancy rate was very low, which was justified by the low average vehicle occupancy. The representation of the results obtained through thematic maps made it possible to identify which places need more interference to meet the minimum road safety conditions, in relation to vehicle traffic and movement of people.

Keywords: vehicle traffic, movement of people, road safety, Brazilian university campuses, sustainable urban mobility, multicriteria analysis.

5.1 Introdução

Embora alguns câmpus universitários brasileiros sejam construídos à parte dos centros urbanos, eles têm sido cada vez mais integrados à malha viária das cidades, pelo fato de constituírem grandes polos geradores de viagens (PGVs). Tal fato, somado à tendência de priorização do transporte motorizado individual, faz com que os câmpus universitários passem a apresentar problemas tipicamente urbanos, como engarrafamentos, falta de vagas de estacionamento e aumento da poluição do ar (FERREIRA e SANCHES, 2013).

As universidades, como outros tipos de instituições públicas e privadas, quando localizadas em uma cidade, têm impactos positivos e negativos sobre a área onde estão situadas e podem contribuir para o prestígio da área, mas também são grandes geradoras de tráfego (DANIELIS e ROTARIS, 2014). No entanto, as Instituições de Ensino Superior (IES) têm um papel preponderante na discussão da mobilidade sustentável no âmbito social, econômico e ambiental, uma vez que representam centros de inovação tecnológica. Portanto, apresentam-se como áreas urbanas propensas à criação de novas formas de movimentação e deslocamentos que possam desestimular o uso de veículos automotivos individuais.

O impacto do tipo de transporte adotado pelos usuários regulares de câmpus universitário instalados em pequenos e médios municípios brasileiros geralmente tem implicações no funcionamento global do sistema de transportes da cidade, principalmente quando existe a utilização abusiva dos modos de transportes motorizados, o que torna o sistema de mobilidade urbana menos sustentável (MEIRELES, 2014). Segundo Grieco, Portugal e Alves (2016), no Brasil, os investimentos públicos devem ser redirecionados para a priorização do transporte público coletivo e ao modo de transportes não motorizado.

No Brasil, alguns estudos relacionados à mobilidade urbana sustentável foram realizados em câmpus universitários, conforme a seguir: Stein e Silva (2018) investigaram barreiras, motivadores e estratégias para promover a mobilidade sustentável na Universidade de São Paulo, em São Carlos, em que se utilizou de um modelo transteórico de mudança de

comportamento no apoio à análise dos dados. Cadena, Andrade e Dourado (2017) estudaram a mobilidade urbana no câmpus Recife da Universidade Federal de Pernambuco, em que foram identificados os principais componentes do sistema viário, as modificações em seu funcionamento perante a acelerada urbanização da cidade e as consequências na mobilidade dos usuários do câmpus universitário. Carvalho e Santos (2018) avaliaram a sustentabilidade da mobilidade urbana no câmpus universitário de Bacanga, da Universidade Federal do Maranhão, através da aplicação do método IMSCamp - Índice de Mobilidade Sustentável para Câmpus Universitário.

O método Índice de Mobilidade Urbana Sustentável (IMUS) foi desenvolvido por Silva, Costa e Macedo (2008), combinando os principais domínios e temas necessários ao monitoramento da mobilidade urbana. É um método que apoia a gestão da mobilidade e a formulação de políticas públicas. Foi aplicado inicialmente na cidade de São Carlos, SP, como ferramenta de avaliação da mobilidade urbana. O método IMUS já foi utilizado por pesquisadores em algumas cidades brasileiras, a exemplo de: Brasília, DF, por Pontes (2011), Curitiba, PR, por Miranda e Silva (2012), Anápolis, GO, por Moraes e Silva (2012), Itajubá, MG, por Felix *et al.* (2012), Belém, PA, por Azevedo Filho e Silva (2013), Uberlândia, MG, por Assunção e Serratini (2014), Fortaleza, CE, por Maia, Azevedo Filho e Silva (2014), Goiânia, GO, por Abdala e Pasqualetto (2013), Natal, RN, por Costa e Moraes (2014) e Sinop, MT, por Ferreira *et al.* (2018).

Diante do exposto, este estudo propôs o desenvolvimento de um método para o cálculo de um índice de mobilidade urbana sustentável, a partir de dados pertinentes ao tráfego de veículos e à circulação de pessoas, visando a sua utilização em câmpus universitários brasileiros, enfatizando a segurança viária. Este método funciona como um moderador da condição da mobilidade urbana em câmpus universitário.

5.2 Método proposto

5.2.1 Descrição do método

5.2.1.1 Considerações iniciais

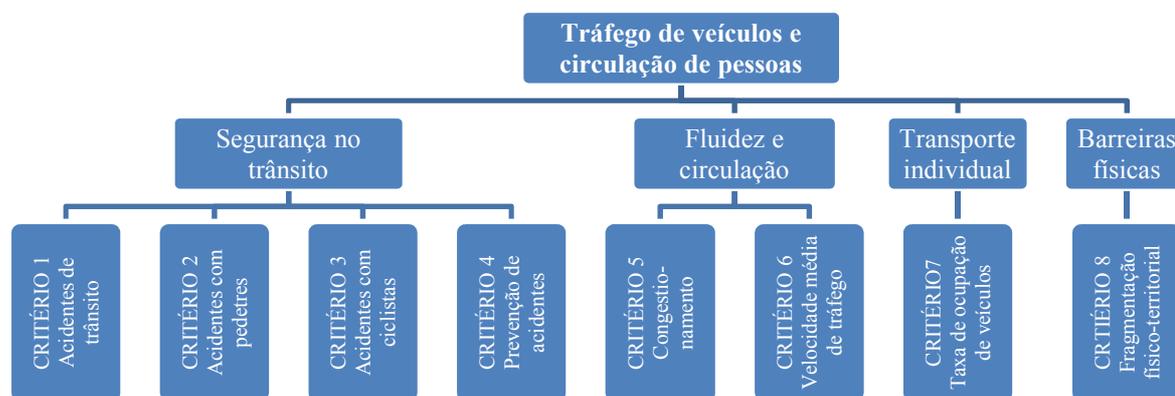
A base de referência para a elaboração deste estudo foi o método para determinação do IMUS concebido por Silva, Costa e Macedo (2008), que em seus domínios enfocou tanto os modos não motorizados quanto os motorizados. Deste método foram selecionados os critérios

que melhor se aplicam aos câmpus universitários brasileiros. Também, foram acrescentados ao método para determinação do IMUS a utilização de técnicas de geoprocessamento, com o mapeamento de atributos em campo, e do sistema de informação geográfica ArcGIS 10.5 para ordenamento de critérios (fatores) e determinação do índice proposto, utilizando-se de análise multicritério de apoio à decisão (AMAD).

Para este estudo foi utilizada a função linear para cada critério (fator) analisado. Em sistemas *fuzzy*, cujos parâmetros podem ser completamente definidos por especialistas, a escolha de utilização de funções lineares é mais comum, pois são as mais simples de serem implementadas; sendo assim amplamente utilizadas, visto que a ideia de se definir regiões de pertinência total, média e nula é mais intuitiva do que a especificação do valor médio e de dispersão, os quais são conceitos ligados às funções gaussianas (EASTMAN, 2001; BENINI, SILVA e CAGNON, 2008). Lautso *et al.* (2004), partem da teoria que é necessário assumir como hipótese inicial a linearidade da função. A pesquisa demonstra que no caso de escalas de representação alternativas, usar aquela com maior aproximação leva de volta a uma função linear. Salienta-se que a maioria dos processos de normalização utiliza um valor máximo e outro mínimo para a definição de uma escala, em que a forma mais simples para obtenção dos valores intermediários é uma variação linear (EASTMAN, 2001; SILVA, RAIA JUNIOR e BOCANEGRA, 2002).

O método proposto para determinação de um índice de mobilidade urbana sustentável para câmpus universitários brasileiros foi decomposto em quatro indicadores e um total de oito critérios (fatores e restrição) (Figura 1), em que os sete primeiros critérios foram considerados como fatores e o oitavo critério foi considerado como restrição na análise multicritério.

Figura 1 – Potenciais indicadores de mobilidade urbana sustentável para “Tráfego de veículos e circulação de pessoas”.



Fonte: Adaptado de Silva, Costa e Macedo (2008).

Para a determinação do índice “Tráfego de veículos e circulação de pessoas”, foi proposta a delimitação da área efetivamente urbanizada na base georreferenciada do câmpus universitário em análise, que contém informações sobre a população que utiliza cada prédio. Essas informações estão disponíveis em razão da inserção do número de funcionários e alunos por prédio, conforme dados fornecidos pela própria instituição de ensino superior, em um banco de dados vinculado à base cartográfica. Foram inseridos os elementos de cada critério (fator) na base cartográfica do câmpus universitário.

5.2.1.2 Descrição dos critérios (fatores e restrição)

5.2.1.2.1 Acidentes de trânsito

Todos os acidentes de trânsito foram referenciados, bem como suas principais características, tais como: número de Registro de Eventos da Defesa Social (REDS) ou Boletim de Ocorrência (BO), data, tipo de acidente, coordenadas geográficas, endereço, descrição do acidente.

O propósito desse critério (fator) foi a determinação da densidade de acidentes de trânsito, ou seja, a quantidade de acidentes por unidade de área urbana do câmpus universitário analisado.

O método estatístico utilizado para estimar a curva de densidade de acidentes de trânsito foi o mapa de *Kernel*. Inicialmente os acidentes de trânsito foram espacializados no SIG. Em seguida, aplicou-se o algoritmo, gerando o mapa de *Kernel*. Como resultado obteve-se o mapa de densidade e o raio de influência. Após aplicou-se a lógica *Fuzzy* numa escala de 0 a 10, sendo feita a reclassificação do mapa de densidade de acordo com as densidades calculadas. Como resultado obteve-se o mapa de adequabilidade.

Para gerar uma escala de adequabilidade para a densidade de acidentes de trânsito, utilizou-se do número de acidentes máximo recomendável (3 acidentes) por ano, conforme especificações do Ministério dos Transportes (2012). A utilização desse limite identificou o ponto crítico, que é o local ou interseção que apresenta uma frequência de acidentes excepcionalmente elevada, se comparado às demais interseções ou trechos entre interseções da malha viária analisada.

O valor de adequabilidade 10 é aquele em que o número de acidentes será 0. Os demais valores foram obtidos em função da escala adotada, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Pesos para o critério (fator) “Acidentes de trânsito”.

Peso	Número de acidentes de trânsito
10	0
7	1 ou 2
5	3
2	4 ou 5
0	Maior ou igual a 6

Fonte: Adaptado de Ministério dos Transportes (2012).

Nota: Peso 10: excelente; Peso 7: bom; Peso 5: regular; Peso 2: ruim e Peso 0: muito ruim

Para o valor de adequabilidade 0, foram considerados 6 ou mais acidentes de trânsito. O valor de *Kernel* foi obtido através da divisão do número de acidentes total [6 vezes o tempo observado (em anos)] pela área do círculo formada através do raio obtido pelo algoritmo *Kernel*.

Quanto maior a densidade de acidentes de trânsito em um determinado local menor a segurança viária. Assim o valor de adequabilidade igual a 10 (dez) corresponde à menor densidade de acidentes de trânsito, e a zero para a maior densidade de acidentes de trânsito.

5.2.1.2.2 Acidentes com pedestres

A partir do mapa gerado pelo procedimento descrito no subitem do critério (fator) “Acidentes de trânsito”, foram referenciados os acidentes de trânsito envolvendo pedestres e suas principais características. O método empregado também foi o mapa de *Kernel*, e para definição da densidade foram considerando os mesmos critérios adotados para o critério (fator) “Acidentes de trânsito” para definição de densidade.

5.2.1.2.3 Acidentes com ciclistas

O mapa de adequabilidade gerado para o critério (fator) “Acidentes de trânsito” foi empregado para referenciar os acidentes envolvendo ciclistas e as suas características. Também foi empregado o mapa de *Kernel*, considerando os mesmos procedimentos adotados para o critério (fator) “Acidente de trânsito” na definição de densidade.

5.2.1.2.4 Prevenção de acidentes

Para esta pesquisa, os dispositivos de moderação de tráfego encontrados no câmpus universitário analisado foram as travessias elevadas para pedestres e as mini rotatórias.

O método adotado para o tratamento de dados desse critério (fator) foi o mapa de distâncias, gerado a partir do dispositivo de moderação de tráfego, o qual foi escolhido por ser o método de variáveis quantitativas que refletiu o distanciamento de cada local do câmpus universitário até o moderador de tráfego.

Em seguida foi aplicada a lógica *Fuzzy*, em função das classes de distâncias pré-estabelecidas, adaptada de Ambros *et al.* (2017). Para o estudo deste câmpus universitário, adotou-se como um raio máximo de influência a distância de 200m, visto que, a partir dessa distância, entende-se que os condutores de veículos motorizados e não motorizados que circulam pela via não têm a percepção da necessidade de redução de velocidade. Distâncias de até 100m foram adotadas como sendo o intervalo de influência direta, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Pesos para o fator “Prevenção de acidentes”.

Peso	Faixa de influência direta (m)
$10 \geq$ varia linearmente > 7	De 0 a 100
$7 \geq$ varia linearmente > 5	De 101 a 130
$5 \geq$ varia linearmente > 2	De 131 a 170
$2 \geq$ varia linearmente ≥ 0	De 171 a 200

Fonte: Adaptado de Ambros *et al.* (2017).

Nota: Peso 10: excelente; Peso 7: bom; Peso 5: regular; Peso 2: ruim e Peso 0: muito ruim

Quanto mais próximo de um dispositivo moderador de tráfego, melhor a condição de segurança viária. O valor de adequabilidade igual a 10 (dez) corresponde ao dispositivo moderador de tráfego, considerando-se adequabilidade igual a zero para uma distância maior que 200m do dispositivo moderador de tráfego.

5.2.1.2.5 Congestionamento

Através de pesquisa de contagem volumétrica classificada, foi obtido o volume de tráfego equivalente, expresso em termos de unidades de carros de passeio (ucp). O veículo equivalente tem como valor de referência o automóvel, cujo fator de equivalência é 1,0 ucp. No Quadro 3 são apresentados os fatores de equivalência utilizados, de acordo com o Contran (2014).

A partir do volume de tráfego horário, para cada via principal do câmpus universitário, foi calculado, para os horários de pico, o tamanho da fila gerada pela movimentação de saída de veículos do câmpus universitário, estimada em função da capacidade da aproximação (extensão entre os pontos de contagem ou interseções e o final da aproximação, que foi

uma faixa de pedestre, uma rotatória ou uma outra interseção). Foi considerado, para fins de cálculo, o veículo de projeto (VP) com comprimento de 5,80m (DNIT, 2010).

Quadro 3 – Fator de equivalência para diferentes tipos de veículos.

Tipo de veículo	Fator de equivalência
Automóvel	1,00
Moto	0,33
Ônibus	2,00
Caminhão	2,00

Fonte: Contran (2014).

Os comprimentos de fila de veículos verificados em campo receberam pesos, conforme apresentado no Quadro 4. Quanto maior o comprimento da fila de veículos nas saídas do câmpus universitário, maior o congestionamento e menor a fluidez. Foi utilizado um *buffer* de 10m para cada lado da via, a fim de demarcar a área do entorno afetada pelos congestionamentos, formada por canteiros e calçadas, por onde circulam os pedestres e ciclistas.

Quadro 4 – Pesos para o fator “Congestionamento”.

Peso	Comprimento de fila de veículos
$10 \geq$ varia linearmente > 7	De 0 a 30% do trecho viário analisado
$7 \geq$ varia linearmente > 5	De 31% a 50% do trecho viário analisado
$5 \geq$ varia linearmente > 2	De 51% a 80% do trecho viário analisado
$2 \geq$ varia linearmente > 0	De 81% a 100% do trecho viário analisado
0	Maior que 100% do trecho viário analisado

Fonte: Próprio autor.

Nota: Peso 10: excelente; Peso 7: bom; Peso 5: regular; Peso 2: ruim e Peso 0: muito ruim

Quanto maior o comprimento da fila de veículos, menor a fluidez do tráfego de veículos motorizados no câmpus universitário analisado. O valor de adequabilidade igual a 10 (dez) corresponde à baixa quantidade de veículos na fila aguardando para sair do câmpus, considerando-se adequabilidade igual a zero quando a quantidade de veículos na fila foi superior à extensão do trecho viário analisado.

5.2.1.2.6 Velocidade média de tráfego

A velocidade foi medida nas principais vias da área urbana do câmpus universitário analisado. A pesquisa foi realizada por um período de 5 (cinco) dias úteis (exceto finais de semana e feriados), por 24 horas, com o auxílio de um medidor de velocidade. Para cada

intervalo horário, foi calculada a média das velocidades dos veículos que passaram pelo local de leitura das velocidades veiculares. Velocidades veiculares inferiores a 6 km/h foram descartadas, por corresponderem à velocidade de caminhada de um pedestre.

Com base em levantamentos de campo, foi obtida a velocidade média de viagem, estimada a partir de veículos percorrendo uma seção pré-estabelecida das principais vias da rede viária da área urbana do câmpus universitário analisado, relacionando a distância percorrida ao tempo médio gasto para percorrê-la. O tempo de percurso consiste no tempo total gasto para percorrer o trecho selecionado, permitindo, desta forma, incorporar aspectos relacionados à operação viária e impactos dos congestionamentos de tráfego (DNIT, 2006).

Para o cálculo das velocidades utilizou-se a Equação 1.

$$V_{mv} = L / \left\{ (1/n) \sum_{i=1}^n t_i \right\} \quad (1)$$

Em que:

V_{mv} : velocidade média de viagem (km/h);

L: comprimento do trecho (km);

t_i : tempo de viagem do veículo i (h);

n: número de veículos observados.

Após o cálculo das velocidades médias horárias foi aplicada a lógica *Fuzzy* de acordo com Brasil (1997), conforme apresentado no Quadro 5.

Quadro 5 – Pesos para o fator “Velocidade média de tráfego”.

Peso	Velocidade média
10	De 76% a 100% da velocidade máxima permitida para a via
7	De 51% a 75% da velocidade máxima permitida para a via
5	De 25% a 50% da velocidade máxima permitida para a via
2	Menor que 25% da velocidade máxima permitida para a via
0	Maior que 100% da velocidade máxima permitida para a via

Fonte: Adaptado de Brasil (1997).

Nota: Peso 10: excelente; Peso 7: bom; Peso 5: regular; Peso 2: ruim e Peso 0: muito ruim

Quanto maior a velocidade, maior a fluidez e menor a segurança viária. O valor de adequabilidade igual a 10 (dez) corresponde à maior velocidade, desde que atendidas as regulamentações de trânsito, considerando-se adequabilidade igual a zero para velocidades maiores que a máxima regulamentada para a via.

5.2.1.2.7 Taxa de ocupação de veículos

Foi realizada a contagem volumétrica de veículos (automóveis de passeio), nos horários de pico, por movimento e sentido de tráfego, assim como foram registrados os números de

ocupantes. A taxa de ocupação de veículos foi obtida pela média aritmética do número de ocupantes verificado para o total de automóveis registrados nos pontos de contagem volumétrica da área urbana do câmpus universitário analisado, expresso em passageiros/automóvel. Após o cálculo da taxa de ocupação média, foi aplicada a lógica *Fuzzy*, conforme apresentado no Quadro 6.

Quadro 6 – Pesos para o fator “Taxa de ocupação de veículos”.

Peso	Número de passageiros / veículo
10	5 (ocupação máxima para automóveis de passeio)
7	4
5	3
2	2
1	1

Fonte: Próprio autor.

Nota: Peso 10: excelente; Peso 7: bom; Peso 5: regular; Peso 2: ruim e Peso 0: muito ruim

Quanto maior a ocupação do veículo (com atenção para a capacidade máxima de cada veículo de passeio) maior a adequabilidade. O valor de adequabilidade igual a 10 (dez) corresponde à maior ocupação do veículo de passeio, considerando-se adequabilidade igual a 1 (um) para veículos com apenas o motorista.

5.2.1.2.8 Fragmentação físico-territorial

A fragmentação físico-territorial é um critério (restrição) e se limita à parcela de terra contínua, do total da área urbanizada do câmpus universitário analisado, que não é dividida por infraestruturas de transporte, como vias de trânsito rápido (rodovias, vias expressas e vias arteriais), vias para transporte ferroviário (ainda que desativadas) ou qualquer outra barreira física, natural ou construída, que acarrete em descontinuidade.

5.2.1.3 Índice proposto

O Quadro 7 apresenta uma síntese dos processos de avaliação para atendimento ao método proposto.

Após a verificação de cada critério (fator), utilizou-se o método da Combinação Linear Ponderada (*Weighted Linear Combination – WLC*), para gerar o mapa de índice de mobilidade urbana sustentável em função do tráfego de veículos e da circulação de pessoas. A partir dos mapas dos critérios (fatores), foram quantificados os números de pessoas e das áreas atingidas

pelas condições determinadas em função das análises utilizadas para cada critério (fator), permitindo a mensuração da influência de cada critério (fator) na determinação do índice de mobilidade urbana sustentável para o objeto de estudo.

Quadro 7 – Processos de avaliação para a geração do critério (fator) utilizando-se da lógica *Fuzzy*.

	Crítérios (Fatores)	Processos de avaliação
1	Acidentes de trânsito	Mapa de <i>Kernel</i>
2	Acidentes com pedestres	Mapa de <i>Kernel</i>
3	Acidentes com ciclistas	Mapa de <i>Kernel</i>
4	Prevenção de acidentes	Mapa de distância
5	Congestionamento	Aplicação de peso nas vias
6	Velocidade média de tráfego	Aplicação de peso nas vias
7	Taxa de ocupação de veículos	Aplicação de peso a todo o polígono

Fonte: Próprio autor.

A implementação do método WLC foi feita a partir da média ponderada. Os sete critérios considerados fatores receberam pesos na análise multicritério, conforme apresentado no Quadro 8. O critério “Fragmentação físico-territorial”, foi considerado como uma restrição (neste estudo foram consideradas a via ferroviária desativada, as rodovias sob jurisdição federal e estadual, as lagoas e as florestas). O câmpus universitário analisado possui um sistema viário composto, na sua maioria, por vias classificadas hierarquicamente como secundárias, cuja velocidade máxima de operação é de 40km/h.

Quadro 8 – Pesos adotados para os critérios (fatores) analisados na pesquisa.

	Crítérios (Fatores)	Pesos
1	Acidentes de trânsito	0,14
2	Acidentes com pedestres	0,14
3	Acidentes com ciclistas	0,14
4	Prevenção de acidentes	0,19
5	Congestionamento	0,10
6	Velocidade média de tráfego	0,12
7	Taxa de ocupação de veículos	0,17
	Total	1,00

Fonte: Próprio autor.

A hierarquia de pesos foi dada em função da importância dos fatores para o propósito desse estudo, desenvolvido na área urbanizada de um câmpus universitário em que as principais atividades desenvolvidas são relacionadas ao ensino, à pesquisa e à extensão. O maior peso entre os fatores analisados foi atribuído a “Prevenção de acidentes”, o que neste estudo faz referência aos moderadores de tráfego, quais sejam faixas elevadas de pedestres e mini

rotatórias, por se tratarem de medidas físicas, apropriadas para a redução de acidentes e da velocidade de circulação na via.

Em sequência, tem-se o fator “Taxa de ocupação de veículos”, pois quanto maior a taxa de ocupação, menor o número de veículos circulando nas vias, o que implica em melhoria da circulação e diminuição de congestionamentos.

Os fatores “Acidentes de trânsito”, “Acidentes com pedestres” e “Acidentes com ciclistas” receberam pesos iguais, por estarem intrinsecamente vinculados à segurança viária. O fator “Velocidade média de tráfego” teve o quarto menor peso adotado, por fazer referência à velocidade máxima permitida para as vias do sistema viário urbano do câmpus universitário analisado.

Foi considerado como fator de menor importância os “Congestionamentos”, por não ser um fator relacionado diretamente à segurança viária, mas sim à fluidez e circulação nas vias. Os pesos foram adotados em função das características do câmpus universitário analisado, e em função da importância que lhes suscitava do ponto de vista do tráfego de veículos motorizados e da segurança viária.

Após definidos os pesos para os fatores apresentados no Quadro 8, gerou-se o índice para a mobilidade urbana sustentável em função do tráfego de veículos e da circulação de pessoas, conforme a Equação 2.

$$\begin{array}{l} \text{Índice de tráfego} \\ \text{de veículos} \\ \text{e circulação} \\ \text{de pessoas} \end{array} = \frac{\{[(\text{Critério } 1) * 0,14] + [(\text{Critério } 2) * 0,14] + [(\text{Critério } 3) * 0,14] + [(\text{Critério } 4) * 0,19] + [(\text{Critério } 5) * 0,10] + [(\text{Critério } 6) * 0,12] + [(\text{Critério } 7) * 0,17]\}}{(\text{Critério } 8)} \quad (2)$$

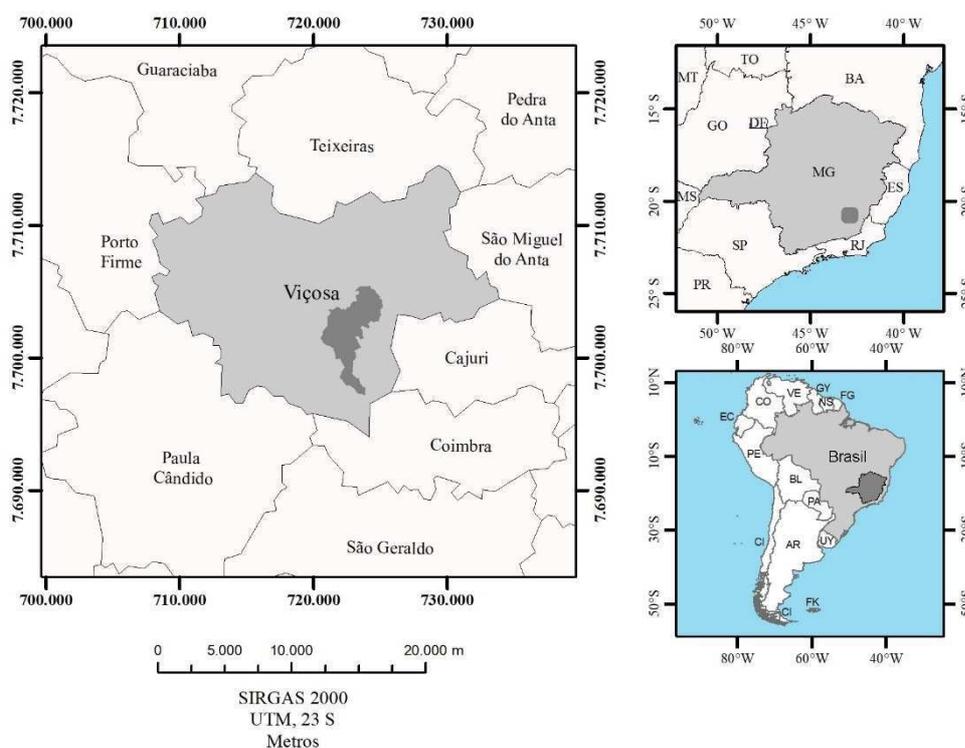
Com a geração do mapa de índice de mobilidade urbana sustentável para o câmpus universitário analisado, em função de indicadores e critérios relacionados ao tráfego de veículos e à circulação de pessoas, foram criados índices individualizados por critérios (fatores), considerando as populações atendidas, em relação ao quadro social da área de estudo.

5.3 Experimento

5.3.1 Área para aplicação piloto do método

O câmpus Viçosa da Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizado no município de Viçosa, estado de Minas Gerais, Brasil, foi escolhido como área de estudo, conforme Figura 2. A população do município de Viçosa é de 77.863 habitantes (IBGE, 2016). A Universidade apresenta importante papel no município e na região, tendo em seu corpo social aproximadamente 25% da população do município. Com relação às suas coordenadas geográficas, situa-se no paralelo de 20°45' S e no meridiano de 42°52' W. A referida instituição de ensino superior possui uma área de 1.611,30ha (16,113km²) e quadro social de 22.359 pessoas (UFV, 2016).

Figura 2 – Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Próprio autor.

Esse quadro é composto pelos corpos discente, docente, técnico-administrativo e por funcionários de empresas terceirizadas que prestam serviços à universidade, somados aos corpos discente, docente e técnico-administrativo de duas escolas de nível médio que estão localizadas no espaço físico do câmpus, a saber, o Colégio de Aplicação da Universidade Federal de Viçosa (CAp-COLUNI) e a Escola Estadual Effie Rolfs. A Universidade possui cinco pontos de acesso, os quais interligam o câmpus com o meio externo, representado pela cidade de Viçosa e pelas rodovias sob jurisdições estadual e federal (MG-280 e BR-120,

respectivamente). A base cartográfica do câmpus Viçosa da UFV utilizada no estudo foi fornecida por Matta e Cunha (2017).

5.3.2 Resultados e discussões

5.3.2.1 Acidentes de trânsito

Os acidentes de trânsito ocorridos dentro do câmpus Viçosa da UFV, de janeiro de 2011 a fevereiro de 2018, encontram-se registrados da seguinte forma: de janeiro de 2011 até dezembro de 2014, as ocorrências encontram-se arquivadas na Divisão de Vigilância (e ainda não foram digitalizadas); de dezembro de 2014 até 7 de abril de 2016, as ocorrências estão no programa Sisvigilância; de 8 de abril de 2016 até os dias atuais, as ocorrências estão no Programa Sentinela. De 2011 a 2018, ocorreram no câmpus da UFV 317 acidentes de trânsito, sendo 2 acidentes com óbito.

O valor do raio obtido pelo algoritmo gerado pelo mapa de *Kernel* foi de 126,0m e a área do círculo com este raio foi de 49.875,90m²; gerando a densidade de 0,000421acidentes/m² para o máximo de 3 acidentes por ano e densidade de 0,000842acidentes/m² para 6 ou mais acidentes por ano, para o período de 7 anos.

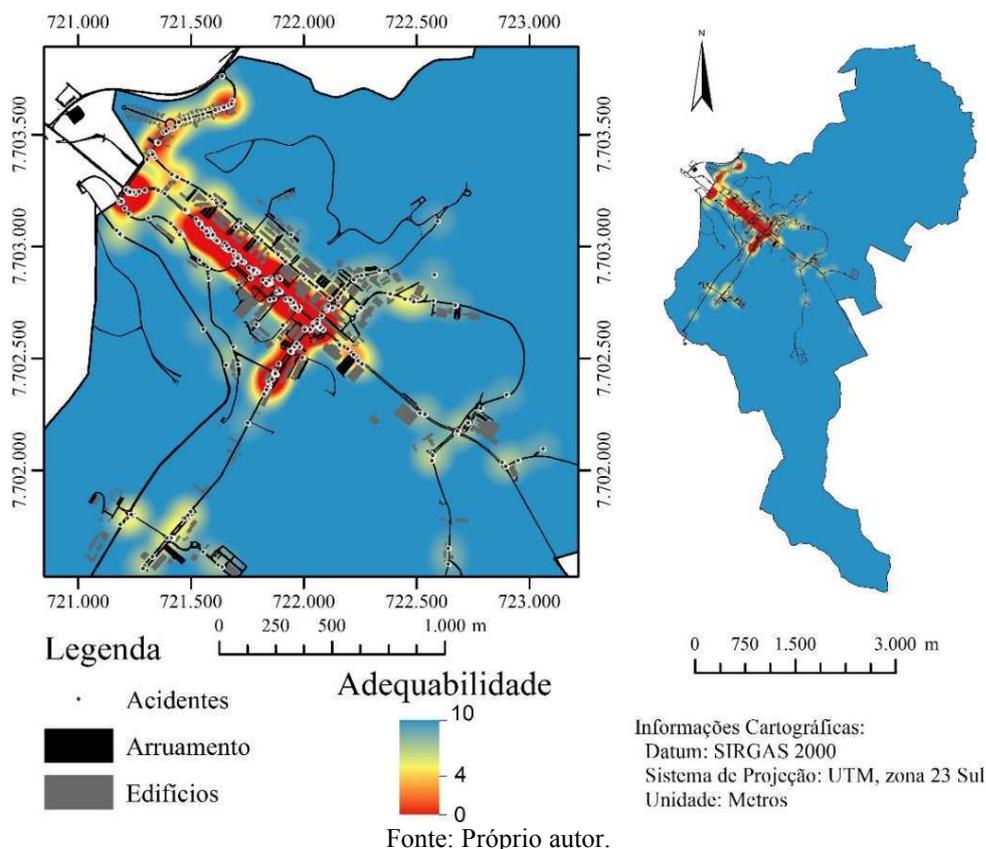
Conforme apresentado na Tabela 1 e na Figura 3, considerando-se a não ocorrência de acidentes, correspondente ao valor de adequabilidade igual a 10, classificado como ótimo, ressalta-se que os locais considerados como seguros atingem uma população de 7.514 pessoas, o que corresponde a 79,23% da população locada nos diversos prédios da área urbana do câmpus, abrangendo a área de 15,718km².

Tabela 1 – População atendida pelo critério (fator) “Acidentes de trânsito” por faixa de influência na área urbana do câmpus universitário analisado.

Pesos	População	Área (km²)
10	7.514	15,718
7	800	0,036
5	306	0,070
2	200	0,035
0	664	0,254
Total	9.484	16,113

Fonte: Próprio autor.

Figura 3 – Mapa de adequabilidade para o fator “Acidentes de trânsito”.



Foi disponibilizado pela Administração do câmpus universitário analisado o número de usuários (professores, técnicos-administrativos e estudantes) locados em cada prédio da área urbana do câmpus Viçosa da UFV. Com relação aos estudantes universitários, foi disponibilizado a grade horária semanal da ocupação de cada prédio. Para cada prédio foi escolhido o número máximo informado de alunos por hora durante a semana, que foram somados ao número de professores e funcionários, para o 1º semestre de 2017.

Com o auxílio do *software* ArcGis este número foi considerado a fim de estimar a população de usuários em cada intervalo de peso atribuído aos critérios (fatores) analisados. O somatório da população de usuários dos diversos prédios da área urbana do câmpus universitário analisado foi de 9.484 pessoas.

Desta forma, foi possível verificar, nos mapas de adequabilidade de cada critério (fator) e no mapa final de adequabilidade do índice de mobilidade urbana para câmpus universitário, a população que está compreendida entre os pesos com valores entre 7 e 10, cujo intervalo foi entendido como faixa de influência ótima. Além disso, pôde-se comparar as populações atendidas pelos diversos critérios (fatores) analisados.

Para o período analisado, os acidentes de trânsito ocorreram, principalmente, na Avenida Peter Henry Rolfs e nos principais acessos ao campus universitário analisado, quais sejam Quatro Pilastras e Via Alternativa.

5.3.2.2 Acidentes com pedestres

Dos acidentes registrados no critério (fator) “Acidentes de trânsito” foram filtrados aqueles referentes a acidentes com pedestres. De 2011 a 2018, ocorreram 10 acidentes envolvendo pedestres. Para o período analisado, foi criado o mapa de *Kernel* para acidentes com pedestres.

O valor do raio obtido pelo algoritmo gerado pelo mapa de *Kernel* foi de 202,7m e a área do círculo com este raio foi de 129.079,5m²; gerando a densidade de 0,000163acidentes/m² para o máximo de 3 acidentes por ano e a densidade de 0,000325acidentes/m² para 6 ou mais acidentes por ano, para o período de 7 anos.

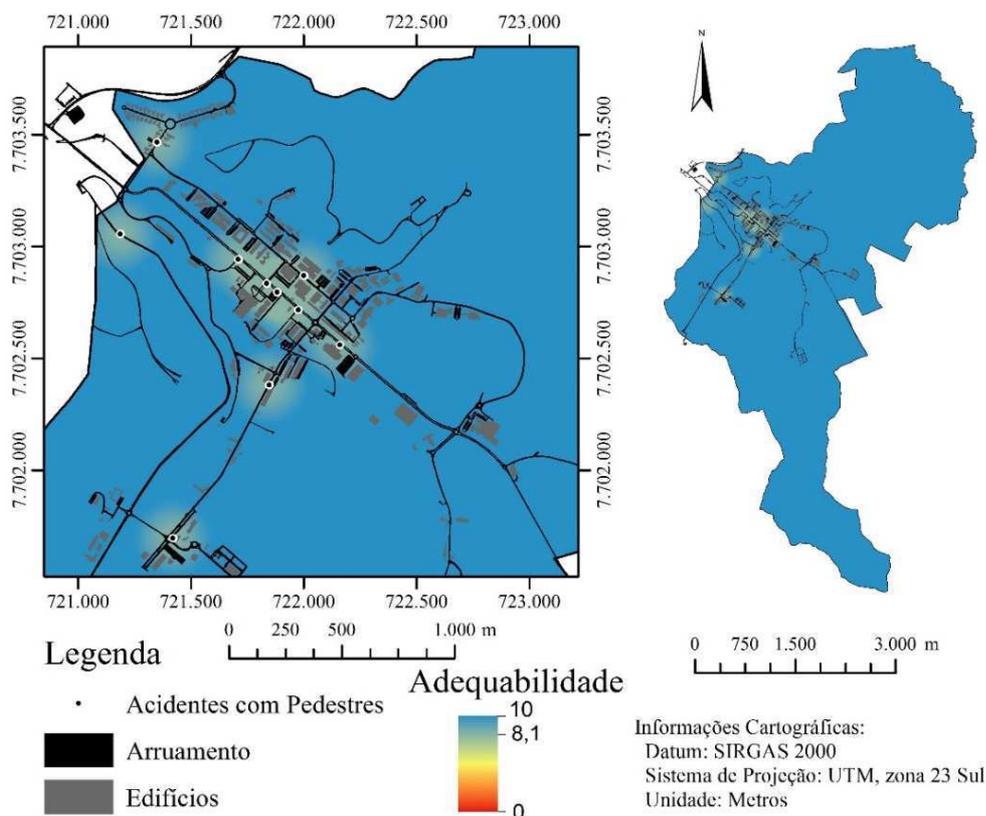
Visto que o número de pedestres ao longo do período analisado foi baixo e os acidentes aconteceram de forma muito dispersa na área de estudo, tomou-se como base de análise a lotação da população atendida pela instituição. Dessa forma, conforme apresentado na Tabela 2 e na Figura 4, considerando a não ocorrência de acidentes com pedestres correspondente ao valor de adequabilidade igual a 10, classificado como ótimo, observa-se que os locais considerados como seguros atendem a toda a população de usuários regulares da área urbana do campus universitário analisado, que é de 9.484 pessoas, o que corresponde a 100% da população locada nos diversos prédios.

Tabela 2 – População atendida pelo critério (fator) “Acidentes com pedestres” por faixa de influência na área urbana do campus universitário analisado.

Pesos	População	Área (km²)
10	9.484	16,113
7	0	0
5	0	0
2	0	0
0	0	0
TOTAL	9.484	16,113

Fonte: Próprio autor.

Figura 4 – Mapa de adequabilidade para o fator “Acidentes com pedestres”.



Fonte: Próprio autor.

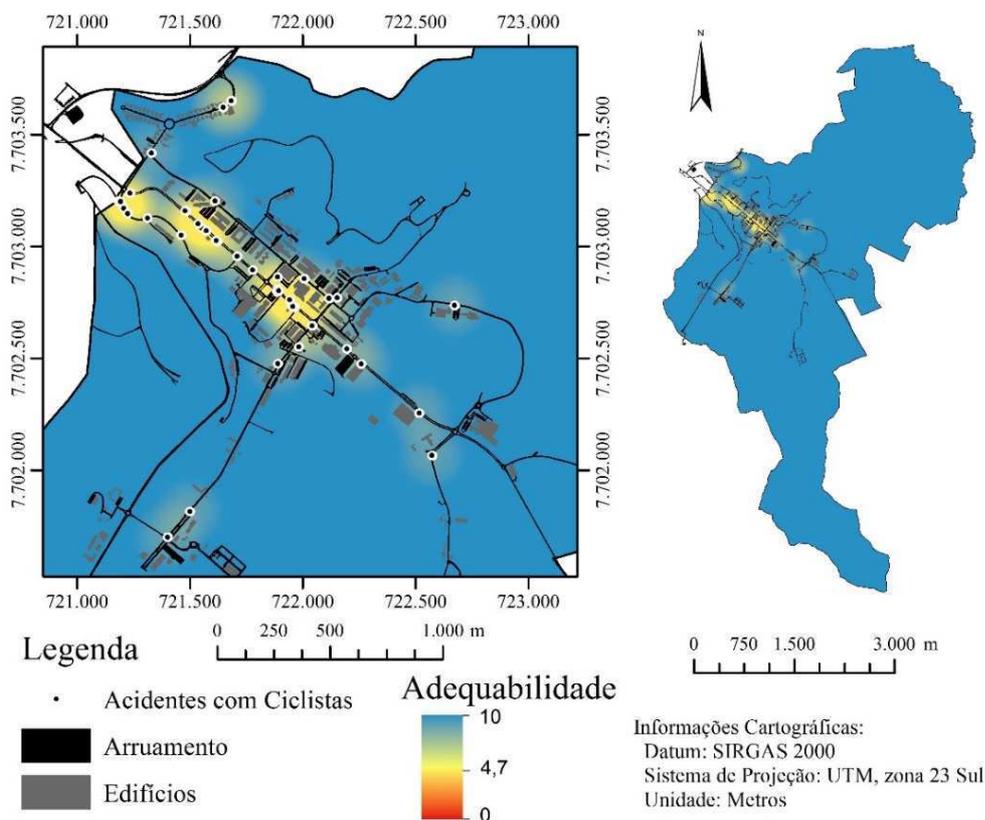
5.3.2.3 Acidentes com ciclistas

Conforme realizado para levantamento de informações do critério anterior, foram filtrados os acidentes com ciclistas. De 2011 a 2018, ocorreram 44 acidentes envolvendo ciclistas. Da mesma forma, foi criado o mapa de *Kernel* para ciclistas.

O valor do raio obtido pelo algoritmo gerado pelo mapa de *Kernel* foi de 194,6m e a área do círculo com este raio foi de 118.909,16m²; gerando a densidade de 0,000177 acidentes/m² para o máximo de 3 acidentes por ano e densidade de 0,000353acidentes/m² para 6 ou mais acidentes por ano, para o período de 7 anos.

Conforme apresentado na Figura 5 e na Tabela 3, considerando a não ocorrência de acidentes com ciclistas correspondente ao valor de adequabilidade igual a 10, classificado como ótimo, ressalta-se que os locais considerados como seguros atendem a quase a totalidade da população de usuários regulares da área urbana do câmpus universitário, que é de 9.386 pessoas, o que corresponde a 98,97% da população locada nos diversos prédios da área de estudo, abrangendo 15,908km².

Figura 5 – Mapa de adequabilidade para o fator “Acidentes com ciclistas”.



Fonte: Próprio autor.

Os acidentes com ciclistas aconteceram, principalmente, na Avenida Peter Henry Rolfs e na Avenida Alternativa, que margeia as lagoas, locais com fluxo significativo de veículos no câmpus.

Tabela 3 – População atendida pelo critério (fator) “Acidentes com ciclistas” por faixa de influência na área urbana do câmpus universitário analisado.

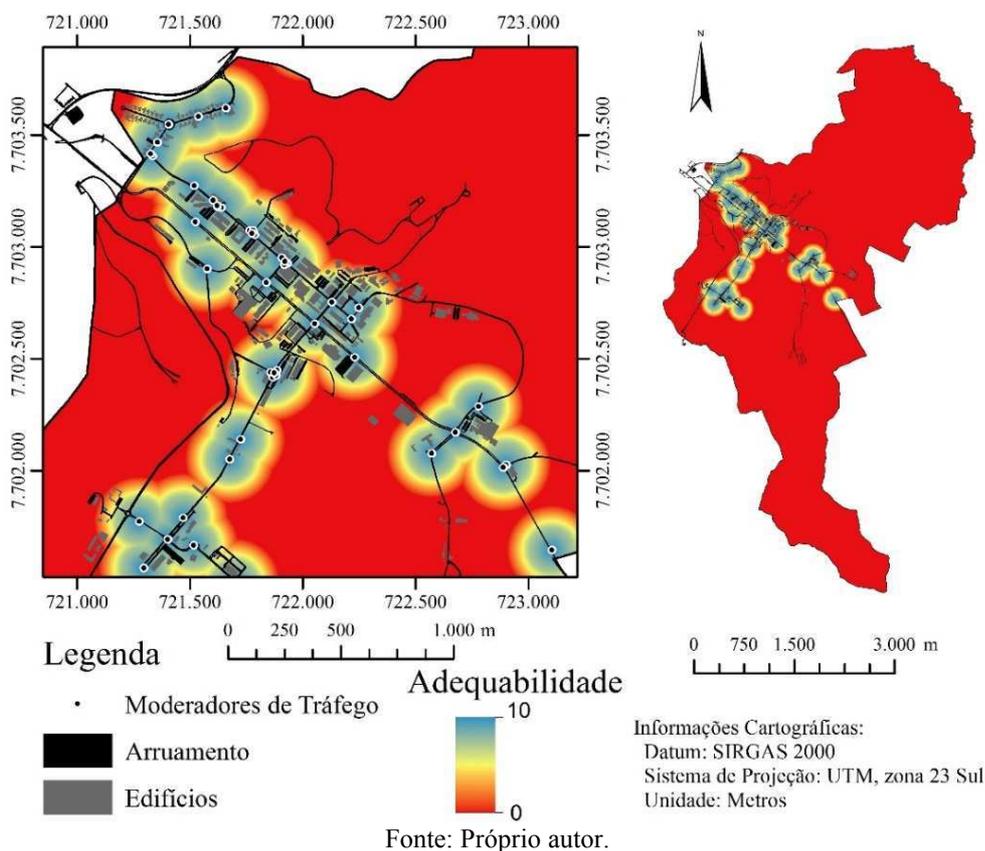
Pesos	População	Área (km²)
10	9.386	15,908
7	20	0,020
5	27	0,067
2	10	0,113
0	1	0,005
TOTAL	9.484	16,113

Fonte: Próprio autor.

5.3.2.4 Prevenção de acidentes

Entre os moderadores de tráfego existentes na área de estudo, foram levantadas 25 travessias elevadas para pedestres e 22 mini rotatórias, entre os meses de março e abril de 2017. O mapa de adequabilidade desse critério (fator) foi gerado conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Mapa de adequabilidade para o fator “Prevenção de acidentes”.



A Tabela 4 apresenta a população atendida conforme as distâncias de adequabilidade adotadas a partir dos dispositivos de segurança levantados na área de estudo.

Tabela 4 – População atendida pelo critério (fator) “Prevenção de acidentes” por faixa de influência na área urbana do câmpus universitário analisado.

Pesos	População	Área (km ²)
10 ≥ varia linearmente > 7	6.445	0,867
7 ≥ varia linearmente > 5	2.216	1,339
5 ≥ varia linearmente > 2	423	1,407
2 ≥ varia linearmente ≥ 0	400	12,500
TOTAL	9.484	16,113

Fonte: Próprio autor.

De acordo com a Tabela 4, considerando a distância de adequabilidade de 0 a 100m correspondente ao valor de adequabilidade igual a 10, classificado como ótimo, percebe-se que

os dispositivos de segurança (que promovem a prevenção de acidentes) atendem a uma população da área urbana do câmpus universitário de 6.445 pessoas, o que corresponde a 67,96% dos frequentadores regulares dos diversos prédios da área de estudo, abrangendo 0,8670km².

As travessias elevadas para pedestres e mini rotatórias estão instaladas em toda área urbana do câmpus universitário, com maior concentração nas vias com maior volume de tráfego de veículos motorizados, aumentando as condições de segurança principalmente para os pedestres.

5.3.2.5 Congestionamento

Foi realizada uma pesquisa de formação de fila de veículos motorizados, no mês de abril de 2018. As vias mais solicitadas com relação ao tráfego de veículos foram a Via Alternativa (sentido à rotatória da “Ladeira dos Operários”) e a Avenida Peter Henry Rolfs (sentido às Quatro Pilastras), nos horários de pico, entre 11h e 13h e entre 17h e 19h. Para o horário entre 11h e 13h não foi verificada formação de fila.

Na base cartográfica georreferenciada da área de estudo, foram representados os comprimentos de fila que geraram congestionamentos, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Pesquisa de comprimento de fila (entre 17h e 19h).

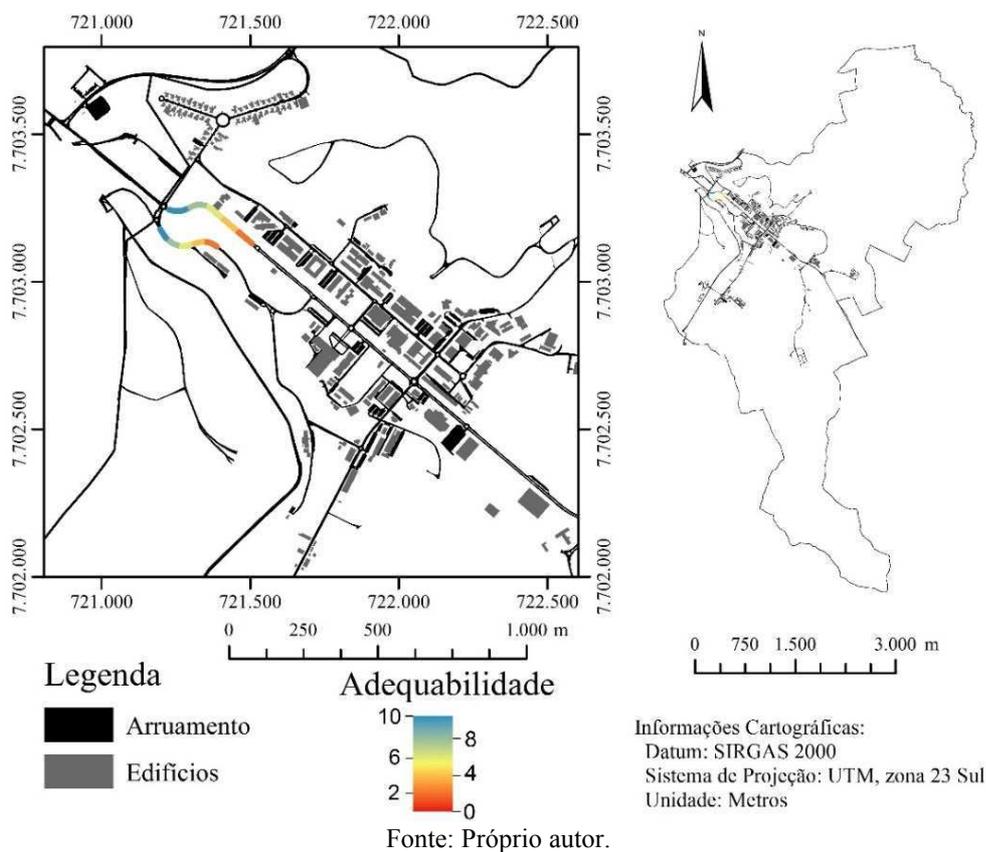
	Via Alternativa	Av. Peter Henry Rolfs
Extensão do trecho analisado (m)	288,46	341,67
Capacidade da aproximação (veic.)	288,46 / 5,8 ~ 50	341,67 / 5,8 ~ 60
Tempo de inserção na rotatória (média dos valores encontrados em campo)	14,55 seg = 4,12 veic/min = 247 veic/hora	11,51 seg = 5,2 veic/min = 313 veic/hora
Volume veicular máximo/hora* (uvp)	285,3	369,9
Comprimento da fila (em número de veículos)	285,3 – 247 = 38	369,9 – 313 = 57
Comprimento da fila (m)	38 x 5,8m = 220,40	57 x 5,8m = 330,60
% em relação ao trecho total	220,40 / 288,46 = 0,76 = 76%	330,60 / 341,67 = 0,97 = 97%

Fonte: Próprio autor.

De acordo com o Quadro 4, realizando a interpolação dos valores para as filas de veículos medidas em campo, as quais geraram o congestionamento no horário de pico da tarde, tem-se peso 2,4 para uma escala de 0 a 10, para a Via Alternativa (sentido à “Ladeira dos Operários”). O peso 2,4 foi aplicado do início da via até a distância de 220,40 m, conforme apresentado na Tabela 5. Da mesma forma, para a Avenida Peter Henry Rolfs tem-se peso 0,3, das Quatro Pilastras em direção à região central da área de estudo.

Não houve população atingida pelo congestionamento, visto que este aconteceu somente na via por onde trafegavam os veículos motorizados e áreas ao redor, formada por passeios e canteiros, não sendo possível mensurar a população que circula por esses locais. Foi utilizado um *buffer* de 10m para demarcar a referida área, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Mapa de adequabilidade para o fator “Congestionamento”.



A via onde se formou a maior fila de veículos motorizados no horário de pico foi a Avenida Peter Henry Rolfs. Trata-se da principal via de acesso ao câmpus universitário, com grande movimentação de veículos motorizados, sendo também a principal via de acesso ao centro urbano da cidade de Viçosa.

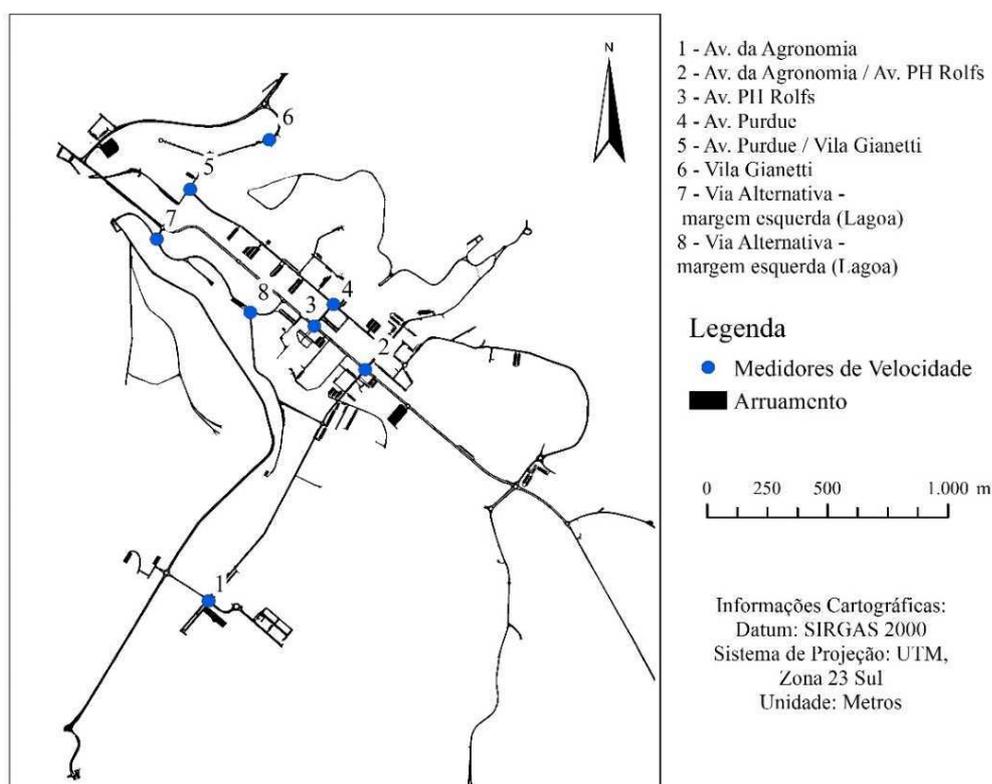
5.3.2.6 Velocidade média de tráfego

Com o auxílio de um medidor de velocidade, construído a partir de um *Raspberry PI 3 model B*, no qual os veículos motorizados foram detectados nos dois pontos pré-estabelecidos a partir do *bluetooth* interno (passageiro ou veículo), foram medidas as velocidades nas cinco

principais vias da área urbana no câmpus Viçosa da UFV, durante os meses de outubro e novembro do ano de 2017.

Os medidores foram instalados com o apoio da equipe técnica da Pró-Reitoria de Administração, em pontos estratégicos das cinco principais vias da área de estudo, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Localização dos medidores de velocidade na área urbana do câmpus universitário analisado.



Fonte: Próprio autor.

A hierarquização das vias da área urbana do câmpus universitário analisado, de acordo com legislação vigente, só permite a velocidade máxima de 40km/h.

Para fins deste estudo, foram adotadas as velocidades médias encontradas em cada uma das cinco principais vias da área urbana do câmpus universitário analisado, para o horário de maior movimentação de veículos, conforme pesquisa de contagem classificada, realizada para o mesmo período. A Tabela 6 apresenta as velocidades médias de veículos motorizados, a partir de medições realizadas em campo.

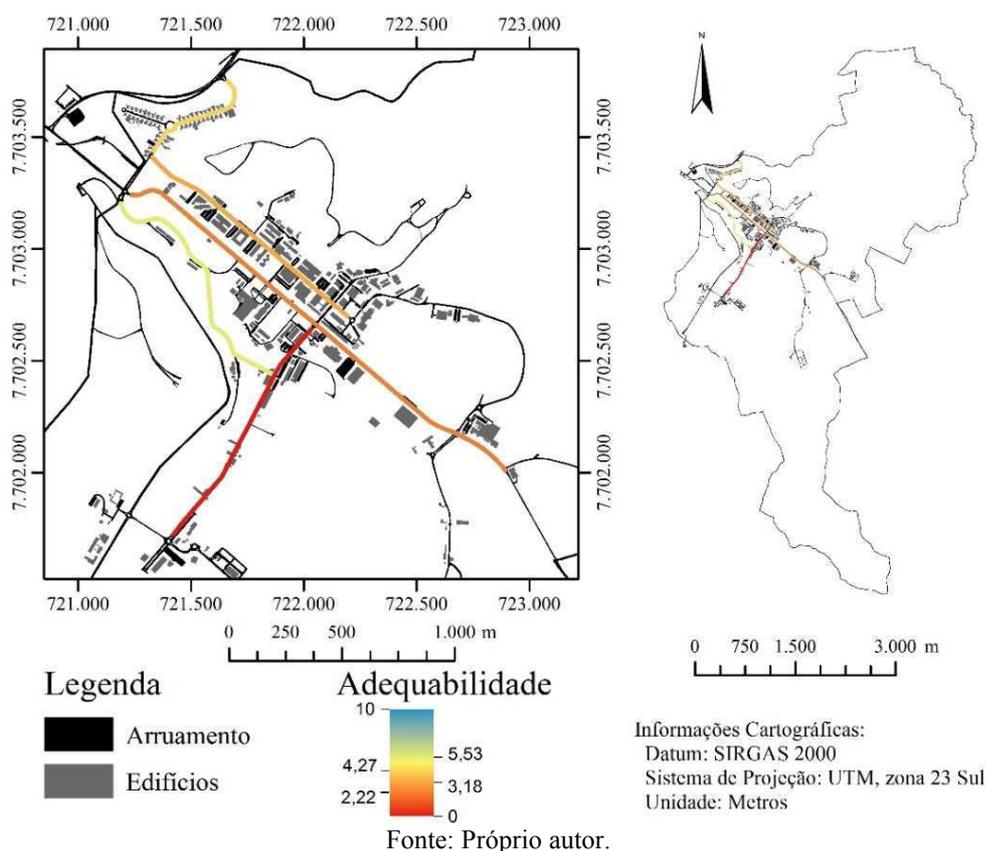
Tabela 6 – Velocidade média de veículos motorizados nas principais vias da área de estudo.

Local	Pontos	Velocidade média (km/h)
Av. da Agronomia	1 -2	66
Av. Peter Henry Rolfs	2 -3	11
Av. Purdue	4 -5	16
Vila Giannetti	5 -6	20
Via Alternativa	7 -8	25

Fonte: Próprio autor.

Para a definição da população afetada pelas velocidades médias desenvolvidas pelos veículos motorizados na área urbana do câmpus analisado, foi gerado o mapa de adequabilidade do critério (fator) “Velocidade média de tráfego”, conforme apresentado na Figura 9.

Figura 9 – Mapa de adequabilidade para o fator “Velocidade média de tráfego”.



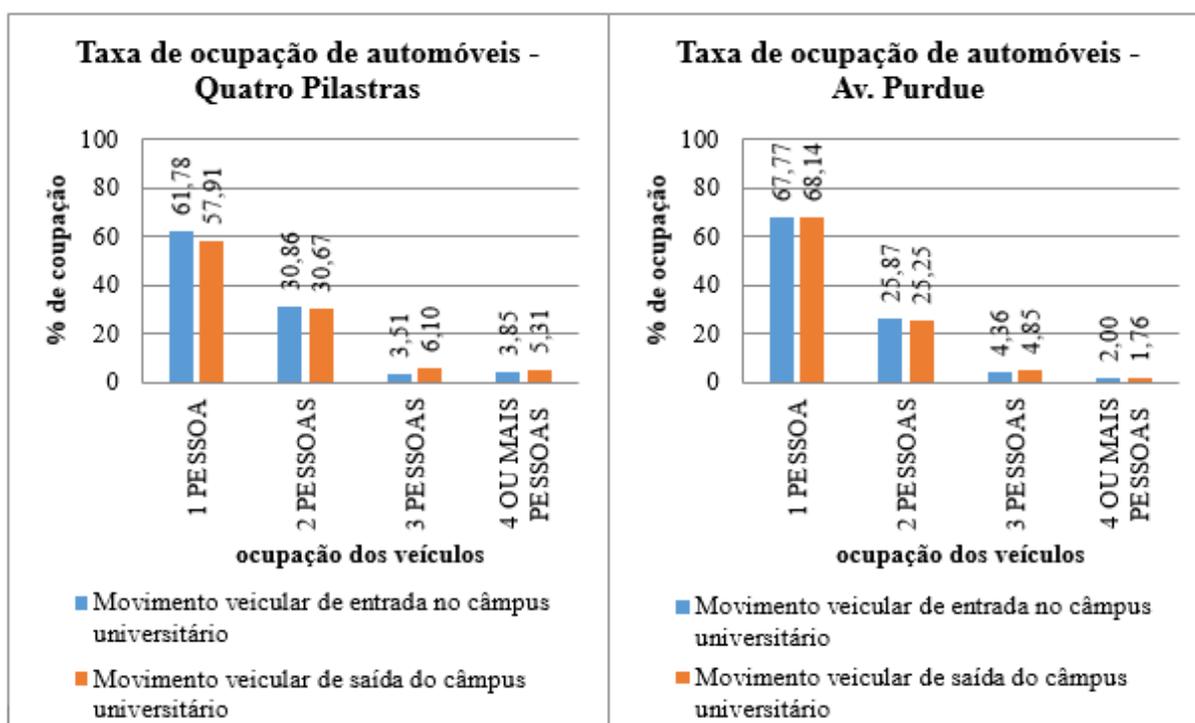
Não há população atingida pela velocidade média do tráfego, visto que esta acontece somente na via por onde trafegam os veículos motorizados e áreas adjacentes, formada por passeios e canteiros, não sendo possível mensurar a população que circula por esses locais. Observou-se que a Avenida da Agronomia possui altas velocidades médias de veículos

motorizados, superiores à máxima permitida para o câmpus, observação para o período analisado.

5.3.2.7 Taxa de ocupação de veículos

Foram realizadas pesquisas em campo entre os meses de junho e agosto do ano de 2017, durante três dias consecutivos, conforme recomendação do Manual do DEER-MG (2013), em vias de acesso ao câmpus universitário analisado, que apresentaram maior número de veículos motorizados: Avenida Peter Henry Rolfs e Avenida Purdue. Foram avaliados os horários de pico para o movimento veicular de entrada (horários de 7h às 9h e 12h às 14h) e o movimento veicular de saída (horários de 11h às 13h e 17h às 19h), conforme apresentado nas Tabelas 7 e 8. A Figura 10 apresenta a ocupação média de veículos nas duas vias onde ocorreu a pesquisa de campo.

Figura 10 – Taxa de ocupação média de automóveis motorizados no câmpus universitário analisado.



Fonte: Próprio autor.

Percebeu-se, a partir dos dados apresentados nas Tabelas 7 e 8, que os resultados encontrados com a pesquisa de campo não apresentam grandes variações quanto ao número de passageiros que ocupam os veículos motorizados no câmpus universitário analisado. Desta

forma, foi adotada a média de ocupação de veículos de 1,47 passageiro/veículo, número adotado para a área urbana no câmpus universitário analisado. Interpolando os valores do Quadro 6, obtém-se o peso 3,47 para todo o polígono da área urbana do câmpus universitário analisado, numa escala de 0 a 10, conforme o mapa de adequabilidade apresentado na Figura 11.

Tabela 7 – Ocupação média dos veículos motorizados que acessaram o câmpus universitário analisado.

	Av. Peter Henry Rolfs (entrada na UFV) (pass/veic)	Av. Purdue (entrada na UFV) (pass/veic)
Entre 7h e 9h	1,50	1,40
Entre 12 e 14h	1,49	1,41

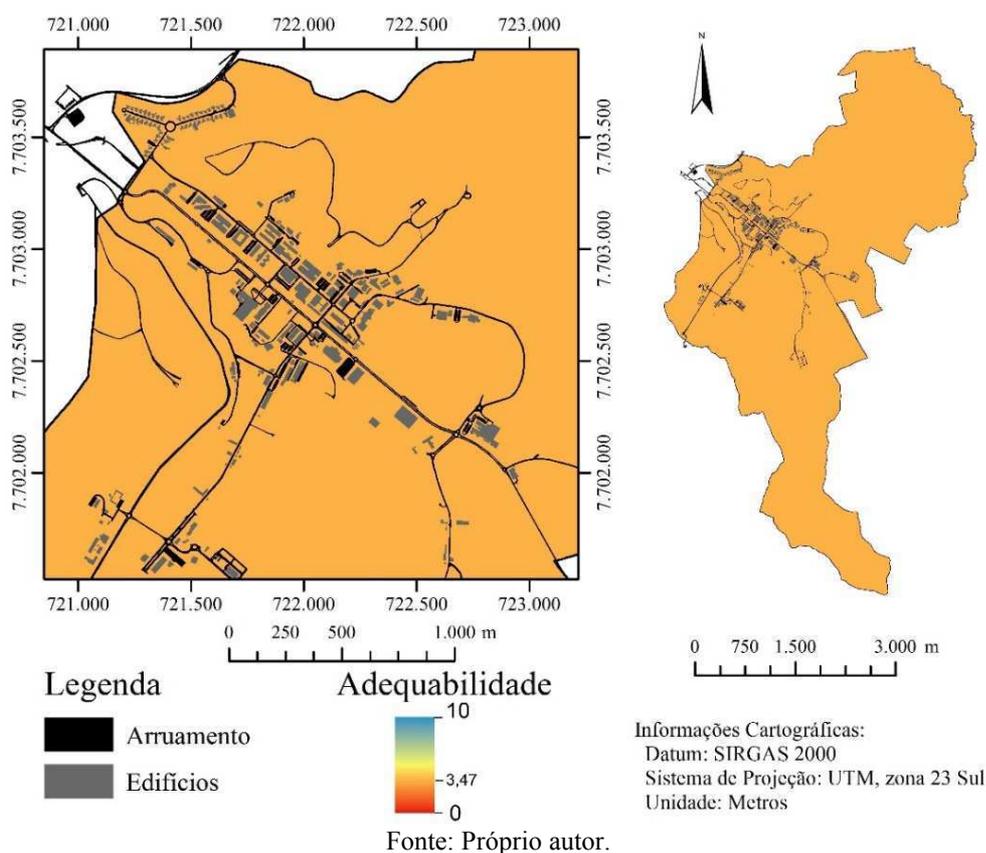
Fonte: Próprio autor.

Tabela 8 – Ocupação média dos veículos motorizados que saíram do câmpus universitário analisado.

	Av. Peter Henry Rolfs (saída da UFV) (pass/veic)	Av. Purdue (saída da UFV) (pass/veic)
Entre 11h e 13h	1,57	1,39
Entre 17 e 19h	1,60	1,41

Fonte: Próprio autor.

Figura 11 – Mapa de adequabilidade para o fator “Taxa de ocupação de veículos”.

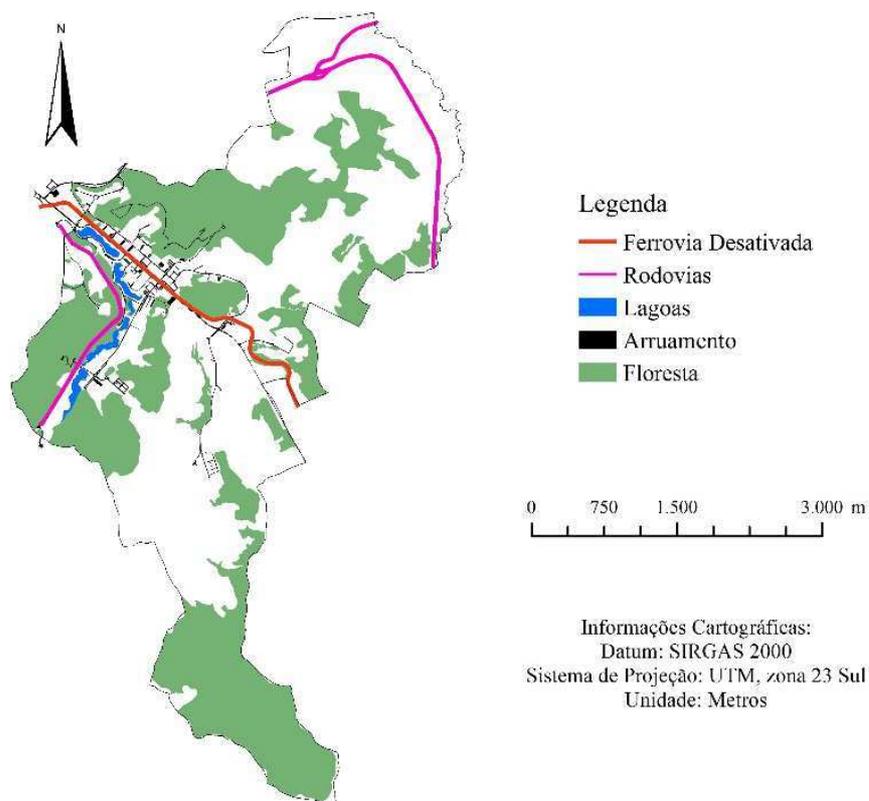


Toda a população da área urbana do câmpus universitário analisado foi atingida por este critério.

5.3.2.8 Fragmentação físico-territorial

Após levantamento de campo na área urbana do câmpus analisado, foram detectadas as barreiras físicas, naturais ou construídas, a saber: 1 (uma) ferrovia desativada (0,0076km²), 2 (duas) rodovias sob jurisdições estadual e federal (0,0278km²), 5 lagoas (0,1473km²) e 29 áreas de florestas (7,6071km²), conforme apresentado na Figura 12. Algumas distâncias foram estendidas devido à impossibilidade ou dificuldade de suas transposições por pedestres e veículos motorizados e não motorizados. Essas áreas totalizam 7,7898km², o que corresponde a 48,34% da área total do câmpus universitário analisado.

Figura 12 – Mapa de restrição para o critério “Fragmentação físico-territorial”.

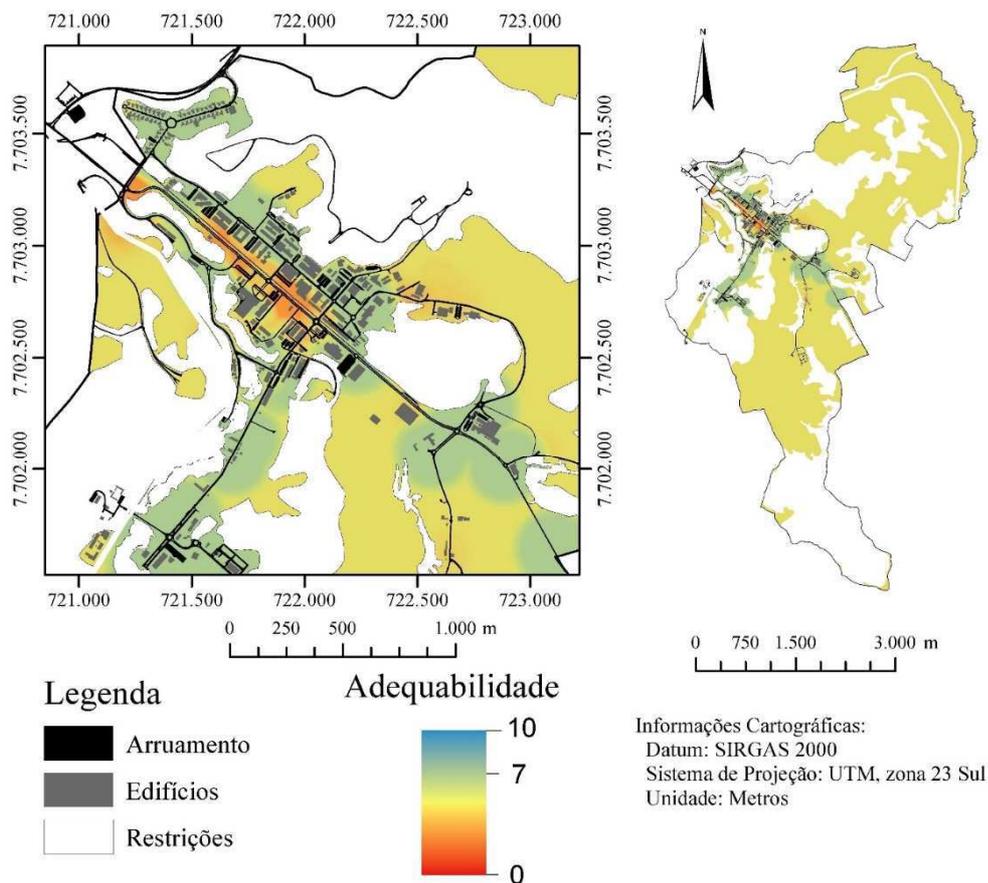


Fonte: Próprio autor.

5.3.2.9 Mapa do índice de mobilidade urbana sustentável para o câmpus universitário analisado

A combinação linear ponderada dos sete critérios (fatores) com um critério (restrição) é apresentada na Figura 13.

Figura 13 – Mapa do índice de mobilidade urbana sustentável para o câmpus universitário analisado.



Fonte: Próprio autor.

Não existiu população atingida para o intervalo entre 7 e 10, numa escala de 0 a 10, visto que, ao efetuar a Equação 2, nenhum resultado de população foi obtido para peso superior a 7. Isto também poder ser justificado pelo fato de os critérios (fatores) “Congestionamento das vias” e “Velocidade média de tráfego” relacionarem-se somente às vias, não possuindo população atingida. Desta forma, para o intervalo de 5 a 7, considerado como mediano, o maior valor encontrado foi de 7, cuja população atingida corresponde a 8.112 pessoas e compreende uma área de 1,699km², que abrange, em sua maioria, as áreas próximas à Avenida Peter Henry Rolfs, entre as Quatro Pilastras e a interseção com a Avenida da Agronomia.

A partir dos dados apresentados nas Tabelas 1, 2, 3 e 4, foram estimadas as populações atendidas pelos critérios (fatores) analisados, que na escala de adequabilidade ficaram entre 7 e

10, numa escala de 0 a 10, resultados considerados como ótimos, sendo possível a geração dos índices apresentados na Tabela 9. Não foi calculado índice para a “Fragmentação físico-territorial” por se tratar de um critério (restrição).

Verifica-se que os melhores índices relativos ao tráfego de veículos e circulação de pessoas como índice de mobilidade urbana sustentável, relacionados à porcentagem de população atendida e obtidos para o câmpus universitário analisado foram: “Acidentes com pedestres”, “Acidentes com ciclistas”, “Acidentes de trânsito” e “Prevenção de acidentes”, ou seja, a condição de segurança viária relativa a acidentes de trânsito é considerada como ótima dentro da área de estudo. Com relação aos critérios (fatores) “Congestionamento”, “Velocidade média de tráfego” e “Taxa de ocupação de veículos”, não há população atingida, não havendo índice obtido.

Tabela 9 – Índices dos critérios (fatores) analisados para a determinação do índice de mobilidade urbana sustentável para o câmpus universitário analisado.

Critérios analisados	Índices obtidos
Acidentes de trânsito	0,79
Acidentes com pedestres	1,00
Acidentes com ciclistas	0,99
Prevenção de acidentes	0,68
Congestionamento	-
Velocidade média de tráfego	-
Taxa de ocupação de veículos	-
Fragmentação físico-territorial	-

Fonte: Próprio autor.

5.4 Considerações finais

Em relação ao método para cálculo do índice de mobilidade urbana com ênfase na segurança viária para câmpus universitário foi possível identificar através dos mapas temáticos gerados os critérios mais críticos e, conseqüentemente, a identificação de possíveis pontos de melhoria. Nesse sentido, o método se mostrou adequado como ferramenta de planejamento, sendo possível ser replicado em outras instituições, adequando-o a realidade de cada uma, se necessário.

Os resultados encontrados para acidentes de trânsito merecem destaque, devido ao seu reduzido número entre 2011 e 2018. A maior densidade de acidentes de trânsito ocorreu na Avenida Peter Henry Rolfs, principal avenida do câmpus universitário analisado. Apesar de um número pequeno, os acidentes com ciclistas também se concentram nesta via, o que pode ser explicado pela falta de ciclovias no câmpus. Com relação aos acidentes com pedestres, o

resultado obtido foi insignificante, devido à presença dos dispositivos para prevenção de acidentes disponíveis na via.

Com relação a baixa taxa de ocupação de veículos recomenda-se que a carona solidária possa ser incentivada e implementada no câmpus estudado.

A confiabilidade dos resultados encontrados é um fator relevante, visto que o diagnóstico realizado das condições relacionadas à segurança viária foi obtido diretamente de levantamentos em campo. O mapa temático que retrata o índice de adequabilidade encontrado, com valor 7, demonstra que o tráfego de veículos e a circulação de pessoas acontece de forma segura no câmpus universitário estudado.

REFERÊNCIAS

- ABDALA, I. M. R.; PASQUALETTO, A. Cálculo do Índice de Mobilidade Urbana Sustentável em Goiânia, monitoramento e auxílio nas Políticas Públicas. In: XV Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional da ANPUR - ENANPUR, 2013, Recife - PE. **Anais...** Recife: ANPUR, 2013.
- AMBROS, J.; NOVÁK, J.; NEUWIRTH, P.; KIEĆ, M; DUDEK, D.; ANDRIEJAUSKAS, T.; SKRODENIS, D. Using speed profiles to investigate the impact of traffic calming measures. In: 29th International Baltic Road Conference, 2017, Tallinn. **Anais...** Tallinn, 2017.
- ASSUNÇÃO, M. A.; SORRATINI, J. A. **Indicadores de mobilidade urbana sustentável - IMUS Uberlândia**. 1. ed. Saarbrücken: Novas Edições Acadêmicas, 2014. 1-193p.
- AZEVEDO FILHO, M. A. N. de; SILVA, A. N. R. da. **Uma Avaliação Retrospectiva de Belém do Pará sob a Ótica da Mobilidade Sustentável**. Revista Transportes, 2013. v. 21 (2), p. 13-20.
- BENINI, L. C.; SILVA, I. N.; CAGNON, J. A. Uso de um sistema de inferência fuzzy na determinação da densidade do solo. In: DINCON'2008 - 7º Brazilian Conference on Dynamics, Control and Applications, 2008, Presidente Prudente – SP. **Anais...** Presidente Prudente, 2008.
- BRASIL. **Lei nº 9.503**, de 23 de setembro de 1997. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19503.htm. Acesso em: 15 jan. 2019.
- BRASIL. Ministério dos Transportes. **Manual Técnico – Programa PARE**. Procedimentos para o tratamento de locais críticos de acidentes de trânsito. Brasília: 2012.
- CADENA, R. P.; ANDRADE, M. O. de; DOURADO, A. B. de F. **Analysis of mobility on universities campuses in metropolises of emerging countries through the combination of inductive reasoning and monographic procedure methods**. [S. l.]:Transportation Research Procedia, 2017. 25, pp. 5003-5022.

CARVALHO, H. H. S. de; SANTOS, A. B. P. S. dos. Aplicação de índice de mobilidade urbana sustentável na Universidade Federal do Maranhão – campus Bacanga. In: 32º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET, 2018, Gramado - RS. **Anais...** Gramado, 2018.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO (CONTRAN). **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito**. Volume V. Sinalização Semafórica, 2014.

COSTA, L. P. da; MORAIS, I. R. D. **Espaço, iniquidade e transporte público: avaliação da acessibilidade urbana na cidade de Natal/RN por meio de indicadores de sustentabilidade**. Sociedade & Natureza (UFU. Online), 2014. v. 26, p. 237-251.

DANIELIS, R.; ROTARIS, L. **The impact of transportation demand management policies on commuting to college facilities: A case study at the University of Trieste, Italy**. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2014. v. 67, p. 127-140.

DEPARTAMENTO DE EDIFICAÇÕES E ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE MINAS GERAIS - DEER. **Manual de procedimentos para elaboração de estudos e projetos de engenharia rodoviária**. Belo Horizonte: Diretoria de Projetos, 2013. v. 1.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Manual de estudos de tráfego**. Brasília: 2006. 384 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Manual de projeto geométrico de travessias urbanas**. Brasília: 2010. 392 p. pp. 186.

EASTMAN, J. R. Decision support: decision strategy analysis. In: Clark University (Ed.). **Idrisi 32 release 2: Guide to GIS and image processing**. Worcester: Clark Labs, 2001. 2, 22.

FELIX, R. R. O. M.; SILVA, P. P. F.; SEYDELL, M. R. R.; LIMA, J. P. Estudo da Aplicabilidade de Indicadores de Mobilidade Urbana Sustentável para o Município de Itajubá – MG. In: Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável – PLURIS 2012: Reabilitar o Urbano, 2012, Brasília – DF. **Anais...** Brasília: Universidade de Brasília. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. 1ª edição. 2012.

FERREIRA, M. A. C.; SANCHES, S. P. Mobilidade cicloviária em Campus Universitário. In: Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito, 2013, Brasília - DF. **Anais...** Brasília: 2013.

FERREIRA, P.; GUARDA, E. L. A. da; LEÃO, M.; SANCHES, J. C. M.; OHIRA, L. S. **Índice de Mobilidade Urbana Sustentável (IMUS) para o Domínio Planejamento Integrado em Sinop-MT**. Cuiabá: E&S - Engineering and Science, 2018, 7:2.

GRIECO, E. P.; PORTUGAL, L. da S.; ALVES, R. M. **Aplicação de um índice do ambiente construído para avaliação da mobilidade sustentável**. Porto Alegre: Revista Ambiente Construído, 2016. v. 6(4), p. 215-225.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades@: Minas Gerais – Viçosa**. Brasília, DF: IBGE, 2016.

LAUTSO, K.; SPIEKERMANN, K.; WEGENER, M.; SHEPPARD, I.; STEADMAN, P.; MARTINO, A.; DOMINGO, R.; GAYDA, S. **PROPOLIS: Planning and research of policies for land use and transport for increasing urban sustainability.** Final Report second edition, 2004. Disponível em: http://www.iee.library.eu/images/all_ieelibrary_docs/229_propolis.pdf. Acesso em: 15 jun. 2019.

MAIA, A. C. L.; AZEVEDO FILHO, M. A. N.; SILVA, A. N. R. da. **A contribuição do transporte público para a mobilidade urbana sustentável: o caso de Fortaleza e sua região metropolitana.** São Paulo: Revista dos Transportes Públicos, 2014. v. 1, p. 93-108.

MATTA, J. P. A.; CUNHA, M. M. **Geração e disponibilização na web de uma base cartográfica planimétrica da Universidade Federal de Viçosa, campus Viçosa.** Monografia. (Engenharia de Agrimensura e Cartográfica). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

MEIRELES, T. F. A. **Mobilidade Sustentável no acesso a Campi Universitários - Estudo de caso: Universidade do Minho.** 2014. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, 2014. Disponível em: https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/36423/1/Dissertação_Tânia%20Meireles_2014.pdf. Acesso em: 15 jun. 2019.

MIRANDA, H. F.; SILVA, A. N. R. **Benchmarking sustainable urban mobility: The case of Curitiba, Brazil.** Lisboa: Transport Policy, 2012. v. 21, p. 141-151.

MORAIS, T. C.; SILVA, A. N. R. da. Avaliação e seleção de alternativas para promoção da mobilidade urbana sustentável - o caso de Anápolis, GO. In: XXVI Congresso Nacional de Ensino e Pesquisa em Transporte - ANPET, 2012, Joinville - SC. **Anais...** Joinville, ANPET, 2012.

PONTES, T. F. **Ocupação urbana da área metropolitana de Brasília versus mobilidade urbana sustentável.** Brasília: Universitas: Arquitetura e Comunicação Social, 2011. v. 8, n. 1.

SILVA, A. N. R.; COSTA, M. da S.; MACEDO, M. H. **Multiple views of sustainable urban mobility: The case of Brazil.** Transport Policy, 2008. v. 15(6), p. 350-360.

SILVA, A. N. R.; RAIÁ JUNIOR, A. A.; BOCANEGRA, C. W. R. Exploring an ANN modeling approach that combines accessibility and mobility into a single trip potential index for strategic planning. In: Annual meeting of the Transportation Research Board, 2002, Washington, D.C. - EUA. **Anais...** Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2002.

STEIN, P. P.; SILVA, A. N. R. da. **Barriers, motivators and strategies for sustainable mobility at the USP campus in São Carlos, Brazil.** Case Studies on Transport Policy. São Carlos, 2018. v. 6, p. 329-335. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2017.11.007>. Acesso em: 15 set. 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (UFV). **UFV em números 2016 (Ano base 2015).** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2016.

6 ÍNDICE DE MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL PARA CÂMPUS UNIVERSITÁRIOS COM ÊNFASE NOS SISTEMAS DE TRANSPORTES URBANOS

RESUMO - O objetivo deste estudo foi propor um método para o cálculo de um índice de mobilidade urbana sustentável, a partir do levantamento de dados pertinentes ao sistema de transportes urbanos de um campus universitário brasileiro. Utilizando-se de Análise Multicritério de Apoio à Decisão (AMAD), foram propostos os seguintes critérios, entre fatores e restrição: (i) extensão da rede de transporte público; (ii) frequência de atendimento do transporte público; (iii) pontualidade; (iv) idade média da frota de transporte público; (v) satisfação do usuário com o serviço de transporte público; (vi) diversidade de modos de transporte; (vii) transporte público \times transporte privado; (viii) modos motorizados \times modos não motorizados e; (ix) fragmentação físico-territorial. Dentre os critérios analisados, os relativos à frequência de atendimento do transporte público e à extensão da rede de transporte público no campus obtiveram a melhor avaliação, pelo fato de ter um maior nível de adequabilidade para o cálculo do índice. Percebeu-se uma alta dependência do transporte particular em detrimento do transporte público oferecido. A representação dos resultados em mapas temáticos, através de pesos, possibilitou identificar quais os critérios mais críticos, que necessitam receber atenção especial. Conclui-se que o índice constitui uma ferramenta de suporte à proposição de políticas públicas que visem à avaliação do sistema de transportes urbanos no âmbito de universidades.

Palavras-chave: transportes urbanos, análise multicritério, mobilidade urbana sustentável, campus universitários.

SUSTAINABLE URBAN MOBILITY INDEX FOR UNIVERSITY CAMPUS EMPHASIZING URBAN TRANSPORT SYSTEMS

ABSTRACT - This study proposes a method for the calculation of a sustainable urban mobility index, based on data from the urban transportation system of a Brazilian university campus. Using multiple criteria decision analysis (MCDA), the following criteria were proposed, including factors and restriction: (i) length of public transportation system; (ii) frequency of public transportation service; (iii) punctuality; (iv) average age of public transportation fleet; (v) public transportation service user's satisfaction; (vi) diversity of modes of transportation; (vii) public transportation \times private transportation; (viii) motorized modes \times non-motorized

modes and; (ix) physical-territorial fragmentation. Among the analyzed criteria, the ones related to the frequency of attendance of public transportation and the extension of the public transportation network in the campus obtained the best evaluation, because it has a higher level of adequacy for the calculation of the index. There was a high dependence on private transportation over public transportation. The representation of the results in thematic maps, through the attribution of weights, made it possible to identify the most critical criteria that need special attention. It is concluded that the index is a support tool for the proposition of public policies aimed at the evaluation of the urban transportation system within universities.

Keywords: urban transportation, multicriteria analysis, sustainable urban mobility, university campuses.

6.1 Introdução

A mobilidade urbana sustentável pode ser definida como um sistema projetado para incorporar, simultaneamente, a viabilidade econômica, a estabilidade ambiental e a equidade social, visando atender, de forma eficiente, às necessidades de transporte e uso da terra de gerações presentes e futuras (KAYAL, SINGH e KUMAR, 2014). Dentre os fatores que interferem diretamente na mobilidade, citam-se, por exemplo, renda, trabalho, gênero, idade e tipo de modal de transporte local. Esses fatores passam a diferenciar e determinar as condições individuais e coletivas em termos de mobilidade no espaço urbano (KLEIMAN, 2011).

Enquanto a rápida urbanização, o crescimento econômico e a motorização levam à deterioração dos ambientes urbanos, o transporte público e o tráfego de pedestres e ciclistas podem ajudar a suprimir essa tendência de declínio na qualidade de vida (TAMAKI *et al.*, 2019).

Da mesma forma que nos centros urbanos, o planejamento sustentável de transportes deve ser realizado em um câmpus universitário, provendo incentivos para o uso de meios não motorizados de transportes, como o andar a pé e a bicicleta, o uso de meios coletivos e públicos de transportes e o estímulo à carona, desencorajando desta forma o uso de veículos particulares, principalmente com apenas um ocupante. Balsas (2003) indica que o planejamento de transportes deve estar alinhado com as evoluções do uso do solo do município no qual a universidade está inserida.

A maioria dos pesquisadores preocupados com a avaliação do desempenho do transporte sustentável concorda que os indicadores são a maneira mais conveniente de avaliar a

sustentabilidade (TOTH-SZABO *et al.*, 2011). A literatura apresenta uma série de trabalhos que sustentam e evidenciam essa preocupação.

Toth-Szabo *et al.* (2011) usaram a estrutura do programa de pesquisa HASTA (*Sustainable Attractive City*) para monitorar a sustentabilidade do transporte das cidades suecas, estudo que destacou a importância de indicadores subjetivos na medição da satisfação da população com o sistema de transporte existente. Kepaptsoglou *et al.* (2012) propuseram um esquema de gestão da qualidade na gestão da mobilidade para apoiar a sustentabilidade dos transportes das cidades.

Awasthi e Chauhan (2011) propuseram um Índice de Sustentabilidade dos Transportes (*Transport Sustainability Index – TSI*) para medir o impacto de uma estratégia de compartilhamento de carros na sustentabilidade das cidades. Jones, Tefe, e Appiah-Opoku (2013) definiram um sistema de pontuação, em termos de Pontuação de Sustentabilidade Localizada (*Localized Sustainability Score – LSS*), para classificar projetos de transporte urbano para refletir as circunstâncias locais, avaliando projetos de transporte de diferentes escalas.

Diante dos estudos apresentados, percebe-se, porém, que há uma lacuna relativa aos sistemas de transportes urbanos em universidades, ainda que esses locais sejam importantes polos geradores de viagens (PGVs). Desta forma, visando à melhoria dos sistemas de transportes urbanos e da qualidade de vida das pessoas nas universidades, este estudo irá propor uma contribuição à ciência, através da utilização da análise multicritério para a determinação de um índice de mobilidade sustentável aplicável aos sistemas de transportes urbanos em câmpus universitários. O método proposto não funciona como mitigador de problemas relacionados à mobilidade urbana, mas sim como moderador da condição da mobilidade urbana em áreas urbanas de câmpus universitários brasileiros. Ressalta-se que a criação do índice permite comparações temporais.

6.2 Método proposto

6.2.1 Descrição do método

6.2.1.1 Considerações iniciais

A base de referência para a elaboração desse estudo foi o método para determinação do Índice de Mobilidade Urbana Sustentável (IMUS) concebido por Silva, Costa e Macedo (2008).

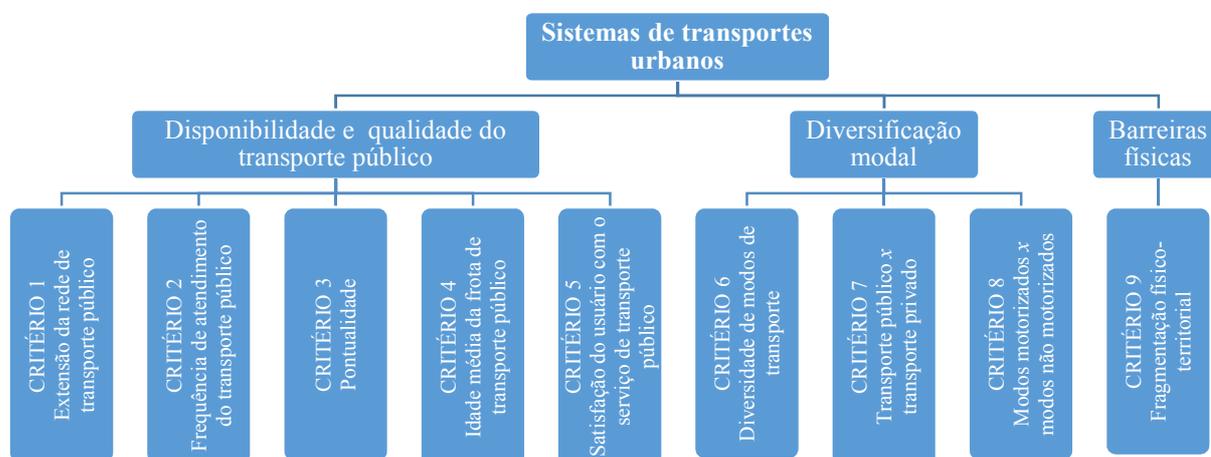
O IMUS inicialmente foi aplicado à cidade de São Carlos, no estado de São Paulo, Brasil. O IMUS conta com 9 domínios, divididos em 87 indicadores, e o estudo dos sistemas de transportes urbanos proposto aqui faz parte de um dos domínios apresentados no referido trabalho. Este domínio conta com 18 indicadores e destes foram selecionados 9 que melhor se aplicam aos câmpus universitários. Neste trabalho, os indicadores selecionados foram denominados critérios.

Técnicas de geoprocessamento foram acrescentadas ao método, visando à espacialização dos atributos coletados em campo, em um sistema de informação geográfica (SIG). Para o ordenamento de critérios e a obtenção de um método para determinação do índice proposto, utilizou-se de Análise Multicritério de Apoio à Decisão (AMAD).

Foi utilizada a função linear para cada critério (fator) analisado. Em sistemas *Fuzzy*, cujos parâmetros podem ser completamente definidos por especialistas, a escolha de funções lineares é mais comum, pois são mais simples de serem implementadas, em comparação às funções gaussianas. Isso se deve à ideia de que definir regiões de pertinência total, média e nula é mais intuitivo que a especificação do valor médio e de dispersão, os quais são conceitos ligados ao segundo tipo de funções (EASTMAN, 2001; BENINI, SILVA e CAGNON, 2008).

O processo de elaboração de um método para a utilização dos sistemas de transportes urbanos como índice de mobilidade urbana sustentável para câmpus universitários brasileiros foi decomposto em três indicadores e um total de nove critérios (fatores e restrição) (Figura 1), em que os oito primeiros critérios foram considerados como fatores, e o nono critério, como restrição na análise multicritério.

Figura 1 – Potenciais indicadores de mobilidade urbana sustentável para os sistemas de transportes urbanos.



Fonte: Adaptado de Silva, Costa e Macedo (2008).

Para a determinação do índice “Sistemas de transportes urbanos”, foi proposta a delimitação da área efetivamente urbanizada na base georreferenciada do câmpus universitário em análise, que contém informações sobre a população que utiliza cada prédio, visto que foi inserido, em um banco de dados vinculado à referida base cartográfica, o número de funcionários e alunos por prédio, dados que foram fornecidos pela própria instituição de ensino superior. Os elementos de cada critério (fator) foram inseridos na base cartográfica do câmpus universitário.

6.2.1.2 Descrição dos critérios

6.2.1.2.1 Distribuição de pesos segundo a Lógica *Fuzzy*

Cada um dos critérios (fatores) descritos na Figura 1 recebeu pesos, conforme Quadro 1.

A aplicação dos pesos adotados e da lógica *Fuzzy* gerou um fator em que os valores são chamados de adequabilidade. Esse procedimento foi utilizado para todos os critérios (fatores) adotados para esta pesquisa.

Quadro 1 – Pesos para os critérios (fatores).

CRITÉRIO 1 Extensão da rede de transporte público ¹	Peso	Faixa de influência direta (m)	
	10 \geq varia linearmente > 7		De 0 a 300
7 \geq varia linearmente > 5		De 301 a 360	
5 \geq varia linearmente > 2		De 361 a 450	
2 \geq varia linearmente > 0		De 451 a 500	
0		> 500	
CRITÉRIO 2 Frequência de atendimento do transporte público ²	Peso	Intervalo de atendimento (min)	
	10 \geq varia linearmente > 7		De 0 a 15
7 \geq varia linearmente > 5		De 16 a 20	
5 \geq varia linearmente > 2		De 21 a 26	
2 \geq varia linearmente > 0		De 26 a 30	
0		> 30	
CRITÉRIO 3 Pontualidade ³	Peso	Percentual de viagens realizadas dentro do limite de tolerância	
	10 \geq varia linearmente > 7		De 100 a 98,125
7 \geq varia linearmente > 5		De 98,124 a 81,250	
5 \geq varia linearmente > 2		De 81,249 a 32,500	
2 \geq varia linearmente ≥ 0		De 32,499 a 0	
CRITÉRIO 4 Idade média da frota de transporte público ⁴	Peso	Idade média (anos)	
	10 \geq varia linearmente > 7		De 0 a 5
7 \geq varia linearmente > 5		De 5,1 a 6,5	
5 \geq varia linearmente > 2		De 6,6 a 8,5	
2 \geq varia linearmente > 0		De 8,6 a 10	
0		> 10	
CRITÉRIO 5 Satisfação do usuário do transporte público	Peso	Transporte público	
	10		Excelente
10 $>$ varia linearmente > 7		Bom	
7 \geq varia linearmente > 5		Regular	
5 \geq varia linearmente > 2		Ruim	
2 \geq varia linearmente > 0		Muito ruim	
0		Não utiliza	
CRITÉRIO 6 Diversidade dos modos de transporte ⁶	Peso	Número de modos de transporte (público, semi-público e privado) que o câmpus dispõe	
	10		7 ou mais
7		6	
5		5	
2		Entre 1 e 4	
0		0	
CRITÉRIO 7 Transporte público x transporte privado ⁷	Peso	Tipo de transporte utilizado (%)	
		Transporte público	Transporte privado
10 \geq varia linearmente > 7		De 70 a 100	De 0 a 30
7 \geq varia linearmente > 5		De 50 a 69	De 31 a 50
5 \geq varia linearmente > 2		De 20 a 49	De 51 a 80
2 \geq varia linearmente ≥ 0		De 0 a 19	De 81 a 100
CRITÉRIO 8 Modos motorizados x modos não motorizados ⁸	Peso	Modo de transporte utilizado (%)	
		Modo motorizado	Modo não motorizado
10 \geq varia linearmente > 7		De 70 a 100	De 0 a 30
7 \geq varia linearmente > 5		De 50 a 69	De 31 a 50
5 \geq varia linearmente > 2		De 20 a 49	De 51 a 80
2 \geq varia linearmente ≥ 0		De 0 a 19	De 81 a 100

Fonte ^{1,2,4,6}: Adaptado de Ferraz e Torres (2001).

Fonte ³: Adaptado de BHTrans (2017).

Fonte ^{7,8}: Adaptado de CNT (2017).

Nota: Peso 10: excelente; Peso 7: bom; Peso 5: regular; Peso 2: ruim e Peso 0: muito ruim.

6.2.1.2.2 Extensão da rede de transporte público

A partir de um levantamento de campo, foi realizada a espacialização das características de toda a rede de transporte público de passageiros e respectivas infraestruturas e extensões na base cartográfica da área urbana do câmpus universitário.

O método adotado para o tratamento de dados deste critério (fator) foi o mapa de distâncias, gerado a partir do eixo da rede de transporte público. Esse método foi escolhido por ser o método de variáveis quantitativas que reflete o distanciamento de cada localização da área de estudo para as infraestruturas de transporte público.

Logo em seguida, foi aplicada a lógica *Fuzzy*, em função das classes de distâncias pré-estabelecidas, adaptadas de Ferraz e Torres (2001), adotando-se a distância de 500m para um raio máximo de influência, visto que, a partir dessa distância, entende-se que a população fica com o acesso comprometido quanto à utilização da infraestrutura de transporte público. Distâncias de até 300m foram adotadas como sendo a melhor faixa de influência direta, conforme apresentado no Quadro 1.

6.2.1.2.3 Frequência de atendimento do transporte público

Além da rede de transporte público mapeada no critério (fator) anterior, foram coletadas informações relativas à frequência de atendimento do transporte público que circula pelo câmpus universitário. Aos intervalos de atendimento obtidos de Ferraz e Torres (2001) foram atribuídos pesos. Intervalos de atendimento de até 15 minutos foram considerados como satisfatórios, conforme Quadro 1.

Após a definição do peso para o fator “Frequência de atendimento do transporte público”, o critério foi reclassificado de acordo com o mapa de distância, no qual distâncias menores que 500m receberam o valor encontrado no Quadro 1, e maiores que 500m, conforme Ferraz e Torres (2001), receberam o valor zero.

6.2.1.2.4 Pontualidade

Além da rede de transporte público mapeada, foram coletadas informações relativas ao quadro de horário e ao horário de passagem de todas as linhas que circulam pelo câmpus universitário. A pontualidade foi expressa pela confiabilidade do sistema proposto por BHTrans (2017), em que os parâmetros de avaliação foram dados pelas viagens não realizadas ou

realizadas com adiantamentos ou atrasos acima de 10 minutos. O percentual de viagens realizadas considerado ideal está entre 98,125 e 100%.

Após a definição do peso para o fator “Pontualidade”, o critério foi reclassificado de acordo com o mapa de distância, no qual distâncias menores que 500m receberam o valor encontrado no Quadro 1, e maiores que 500m, conforme Ferraz e Torres (2001), receberam o valor zero.

6.2.1.2.5 Idade média da frota de transporte público

Foram coletadas informações relativas à idade de todos os ônibus que circulam pelo câmpus universitário. A idade média da frota foi calculada através da média das idades dos ônibus e micro-ônibus, conforme proposto por Ferraz e Torres (2001). Foram admitidos veículos de até 10 anos circulando na frota, idade limite admitida nas principais cidades do país.

Após a definição do peso para o fator “Idade média da frota de transporte público”, o critério foi reclassificado de acordo com o mapa de distância, no qual distâncias menores que 500m receberam o valor encontrado no Quadro 1, e maiores que 500m, conforme Ferraz e Torres (2001), receberam o valor zero.

6.2.1.2.6 Satisfação do usuário com o serviço de transporte público

Para verificar a satisfação dos usuários que utilizam o serviço de transporte público na área urbana do câmpus universitário analisado, foi realizada uma pesquisa de opinião, adotando-se a amostra mínima de acordo com o corpo social da área de estudo. A pesquisa quantitativa foi utilizada para quantificar opiniões através de técnicas estatísticas, priorizando os resultados numéricos.

Os pesos referentes ao nível de satisfação dos usuários foram distribuídos proporcionalmente de acordo com a escala *Likert*, em que, para cada nível de satisfação, é atribuída uma nota que varia de 1 a 5. Estes valores foram adequados à escala de pesos proposta, conforme apresentados no Quadro 1.

Após a tabulação da pesquisa de acordo com técnicas estatísticas, foi utilizada a média para a distribuição simétrica de dados, e, para a distribuição assimétrica, a mediana. Foi utilizada a lógica *Fuzzy* para atribuir um valor de adequabilidade em todo o polígono analisado, visto que, na pesquisa de opinião, não houve questões específicas para cada setor da área urbana do câmpus universitário analisado e não foi identificado a qual setor o usuário pertence.

6.2.1.2.7 Diversidade de modos de transporte

Foram verificados, no câmpus universitário analisado, os modos de transporte disponíveis. Segundo Ferraz e Torres (2001), os modos de transportes são divididos da seguinte forma:

- a) Privado ou individual: modos motorizados – automóvel e/ou motocicleta;
- b) Semipúblico: táxis; vans, serviços especiais (fretados, serviços programados por telefone);
- c) Público, coletivo ou de massa: ônibus e/ou micro-ônibus, bonde, pré-metrô, metrô leve ou VLT, metrô, trem urbano ou metropolitano, outros modos de transporte (monotrilho, elevador, funicular, teleférico, balsas, barcas, etc.).

Os modos de transporte não motorizados (a pé e bicicleta) são modos de locomoção primários e essenciais em todas as cidades (SILVA, COSTA e MACEDO, 2008) e, portanto, não são considerados no cálculo do critério. A quantidade de modos de transporte que o câmpus dispõe recebeu o peso correspondente, conforme Ferraz e Torres (2001), apresentado no Quadro 1. Cada peso corresponde aos modos indicados a seguir:

Peso 10: 7 ou mais modos de transporte (caminhada, ciclismo, automóvel particular, taxi, ônibus e sistemas sobre trilhos – metrô leve, metrô ou trem de subúrbio, transporte aquaviário – barcas, *ferry boat*, balsas – *mobility services – car sharing, bike sharing*);

Peso 7: 6 modos de transporte (caminhada, ciclismo, automóvel particular, taxi, ônibus e sistemas sobre trilhos – metrô leve, metrô ou trem de subúrbio);

Peso 5: 5 modos de transporte (caminhada, ciclismo, automóvel particular, taxi e ônibus);

Peso 2: Entre 1 e 4 modos de transporte (caminhada, ciclismo, automóvel particular e taxi);

Peso 0: nenhum modo de transporte.

6.2.1.2.8 Transporte público x transporte privado

Na pesquisa de opinião realizada no câmpus universitário, verificou-se qual tipo de transporte o usuário utiliza com mais frequência durante a semana, a saber: i) transporte público (ônibus e van); ii) transporte privado (automóvel, na condição de motorista ou carona, e motocicleta). Através da lógica *Fuzzy*, foram gerados os pesos referentes às respostas obtidas, a partir de CNT (2017), conforme Quadro 1.

6.2.1.2.9 Modos motorizados x modos não motorizados

Ainda a partir da pesquisa de opinião realizada no câmpus universitário, foi verificado qual o modo de transporte mais utilizado, a saber: i) modo motorizado (automóvel: na condição de motorista ou carona, motocicleta, ônibus ou van); ii) modo não motorizado (a pé, bicicleta ou se mora dentro do próprio câmpus). Através da lógica *Fuzzy*, foram gerados os pesos referentes às respostas obtidas, a partir de CNT (2017), conforme Quadro 1.

6.2.1.2.10 Fragmentação físico-territorial

A fragmentação físico-territorial é um critério (restrição) e se limita à parcela de terra contínua, do total da área urbanizada do câmpus universitário analisado, que não é dividida por infraestruturas de transporte, como vias de trânsito rápido (rodovias, vias expressas e vias arteriais), vias para transporte ferroviário (ainda que desativadas) ou qualquer outra barreira física, natural ou construída, que acarrete em descontinuidade.

6.2.1.3 Índice proposto

Após a verificação de cada critério (fator), utilizou-se o método de Combinação Linear Ponderada (*Weighted Linear Combination – WLC*), no *software* ArcGis 10.5, para gerar o mapa de índice de mobilidade urbana sustentável em função dos sistemas de transportes urbanos. A partir dos mapas dos critérios (fatores), foram quantificados os números de pessoas e das áreas atingidas pela condição, determinada em função das análises utilizadas para cada critério (fator), permitindo a mensuração de cada critério (fator) na determinação do índice de mobilidade urbana sustentável para a área urbana do câmpus universitário analisado.

Os oito critérios considerados fatores na análise multicritério receberam pesos, conforme apresentados no Quadro 2. O critério “Fragmentação físico-territorial” (Critério 9) foi considerado como uma restrição (neste estudo, foram consideradas a via ferroviária desativada, as rodovias sob jurisdição federal e estadual, as lagoas e as florestas). O câmpus universitário analisado possui um sistema viário composto, na sua maioria, por vias classificadas hierarquicamente como secundárias, cuja velocidade máxima de operação é de 40km/h.

Quadro 2 – Pesos adotados para os critérios (fatores) analisados na pesquisa.

Numeração do critério	Crítérios (Fatores)	Pesos
1	Extensão da rede de transporte público	0,15
2	Frequência de atendimento do transporte público	0,09
3	Pontualidade	0,09
4	Idade média da frota de transporte público	0,09
5	Satisfação do usuário com o serviço de transporte público	0,12
6	Diversidade de modos de transporte	0,06
7	Transporte público x transporte privado	0,20
8	Modos motorizados x modos não motorizados	0,20
	Total	1,00

Fonte: Próprio autor.

A hierarquia de pesos foi dada em função da importância dos critérios (fatores) em relação aos sistemas de transportes urbanos. Os fatores de maior importância foram atribuídos aos critérios “Transporte público x transporte privado” e “Modos motorizados x modos não motorizados”, devido às importâncias que o sistema de transporte público e os modos não motorizados possuem para a mobilidade urbana sustentável. Em sequência, tem-se o fator “Extensão da rede de transporte público”, de modo que quanto maior a rede de transporte público, melhor será a possibilidade de utilização desse serviço pela população. Na ordem, tem-se a “Satisfação do usuário com o serviço de transporte público”, que demonstra a importância de um transporte público capaz de atender às expectativas dos usuários.

Os fatores “Frequência de atendimento do transporte público”, “Pontualidade” e “Idade média da frota de transporte público” foram vistos de forma igual, por representarem características do transporte público. Foi considerada como fator de menor importância a “Diversidade de modos de transporte”, justamente por considerar-se que a área de estudo, independente da diversidade apresentada, necessita obrigatoriamente de um serviço de transporte público de qualidade e condições adequadas para o uso dos modos não motorizados.

Os pesos foram adotados em função das características do campus estudado e em função da importância deles do ponto de vista da utilização. Após a definição dos pesos para os critérios (fatores) analisados, gerou-se um índice para o sistema de transportes urbanos, conforme a Equação 1.

$$\text{Índice para os sistemas de transportes urbanos} = \{[(\textit{Critério 1}) * 0,15] + [(\textit{Critério 2}) * 0,09] + [(\textit{Critério 3}) * 0,09] + [(\textit{Critério 4}) * 0,09] + [(\textit{Critério 5}) * 0,12] + [(\textit{Critério 6}) * 0,06] + [(\textit{Critério 7}) * 0,20] + [(\textit{Critério 8}) * 0,20]\} * (\textit{Critério 9}) \quad (1)$$

6.3 Área para aplicação piloto do método proposto

O câmpus Viçosa da Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizado no município de Viçosa, no estado de Minas Gerais, Brasil, foi escolhido como área de estudo. Com relação às suas coordenadas geográficas, situa-se no paralelo de 20°45'S e no meridiano de 42°52'W. A referida instituição de ensino superior possui uma área de 16,133km² (UFV, 2018) e quadro social de 22.359 pessoas (UFV, 2016).

Compõem o quadro social da instituição os corpos discente, docente e técnico-administrativo, os funcionários de empresas terceirizadas que prestam serviços à universidade, além dos corpos discente, docente e técnico-administrativo de duas escolas de nível médio que estão localizadas no espaço físico do câmpus, a saber, o Colégio de Aplicação da Universidade Federal de Viçosa (CAp-COLUNI) e a Escola Estadual Effie Rolfs.

6.4 Pesquisa exploratória

Para a pesquisa de opinião realizada no câmpus, foi utilizada a amostra mínima, calculada a partir do corpo social total do câmpus Viçosa da UFV. Os números de discentes, docentes e funcionários encontram-se no Quadro 3.

Quadro 3 – Corpo social do câmpus Viçosa da UFV.

Classe	Quantidade por classe
Ensino Médio e Técnico	18.184
Graduação	
Pós-Graduação (<i>Stricto Sensu</i>)	
Pós-Graduação (<i>Lato Sensu</i>)	
Corpo Docente	1.064
Corpo Técnico-Administrativo	2.163
Terceirizados	948
TOTAL	22.359

Fonte: UFV (2016).

A partir das informações contidas no Quadro 3, buscou-se estabelecer uma amostra significativa para as análises propostas no estudo. Nesse sentido, com o número da população definido, determinou-se o tamanho da amostra com um erro amostral e grau de confiança pré-determinados. Assim sendo, o nível de confiabilidade adotado foi de 95% e o erro amostral de 5%. Neste caso, a amostra mínima foi de 378 pessoas, conforme detalhado a seguir, a partir da Equação 2 (TRIOLA, 2013):

Cálculo da amostra mínima para população finita

$$n = \frac{Z^2 \sigma^2 N}{(N-1) \epsilon^2 + Z^2 \sigma^2} \quad (2)$$

Sendo:

N: número de elementos da população

n: número de elementos da amostra

ϵ : erro permissível

σ : desvio padrão populacional

Z: obtido através da tabela normal em função do nível de significância

Tem-se:

N = 22.359 (Quadro 3)

$\epsilon = 5\%$

Z = 1,96 [da tabela de distribuição normal tendo: $\alpha = 5\%$; $(1-\alpha) = 95\%$]

$\sigma^2 = p \cdot q$, onde: $p + q = 1$. Então $\sigma^2 = p (1 - p)$ onde p é a proporção

$p = 50\% = 0,5$

Substituindo na Equação 2:

$$n = \frac{1,96^2 * 0,5 (1 - 0,5) * 22.359}{(22.359 - 1) * (0,05)^2 + 1,96^2 0,5 (1 - 0,5)}$$

$$n = 377,70 = 378 \text{ pessoas}$$

Atendendo às porcentagens do Quadro 3, obteve-se a quantidade de pessoas a serem entrevistadas para atendimento à amostra mínima para cada segmento, conforme apresentado na Tabela 1. Os questionários foram aplicados entre os meses de abril e junho de 2017.

Tabela 1 – Amostra mínima para pesquisa de opinião no câmpus Viçosa da UFV.

Classe	Quantidade por Classe	% do corpo social	Amostra mínima
Ensino Médio e Técnico			
Graduação	18.184	81,33	304
Pós-Graduação (<i>Stricto Sensu</i>)			
Pós-Graduação (<i>Lato Sensu</i>)			
Corpo Docente	1.064	4,76	19
Corpo Técnico-Administrativo	2.163	9,67	38
Terceirizados	948	4,24	17
TOTAL	22.359	100	378

Fonte: Próprio autor.

6.5 Resultados e discussões

6.5.1 Considerações iniciais

Foi disponibilizado pela Administração do câmpus universitário analisado o número de usuários (professores, técnicos-administrativos e estudantes) locados em cada prédio de sua área urbana. Com relação aos estudantes, foi disponibilizada a grade horária semanal da ocupação de cada prédio. Para cada prédio, foi escolhido o número máximo informado de alunos por hora durante a semana, que foi somado ao número de professores e funcionários.

Com o auxílio do *software* ArcGis, este número foi inserido em cada um dos prédios, com a finalidade de estimar a população de usuários em cada intervalo de peso atribuído aos critérios (fatores) analisados. O somatório da população de usuários dos diversos prédios da área urbana do câmpus universitário analisado foi de 9.484 pessoas, para o primeiro semestre de 2017.

Desta forma, foi possível verificar a população que está compreendida entre os pesos propostos, tanto nos mapas de adequabilidade de cada critério (fator), quanto no mapa final de adequabilidade do índice de mobilidade urbana para câmpus universitário.

6.5.2 Extensão da rede de transporte público

Através de informações disponibilizadas pela Empresa União, que atende o transporte coletivo na cidade de Viçosa, foi mapeado o percurso das linhas que circulam pelo câmpus Viçosa da UFV, conforme Figura 2.

Foram verificadas 17 linhas de transporte coletivo dentro do câmpus universitário, sendo 13 atendidas por ônibus adaptados e 4 atendidas por micro-ônibus. A extensão da rede viária atendida pelo transporte público no câmpus Viçosa da UFV é de 12.762m, e a rede viária total é de 66.661m, ou seja, uma parcela de 19,14% do sistema viário é atendida pelo transporte coletivo, proporção igual à encontrada na cidade de São Paulo, de acordo com pesquisa divulgada por Un-Habitat (2013).

Para a distância de adequabilidade de 0 a 300m, classificado na Tabela 2 como ótimo, depreende-se que a rede de transportes atende a uma população de 8.899 pessoas, ou seja, 93,83% da população que utiliza os diversos prédios da área urbana do câmpus universitário analisado, abrangendo 3,606km² da área de estudo. Salienta-se que a rede de transporte atende às principais vias do câmpus universitário, atingindo, na sua faixa de influência considerada como ótima, a quase todos os prédios existentes.

Figura 2 – Mapa de adequabilidade para o fator “Extensão da rede de transporte público”.

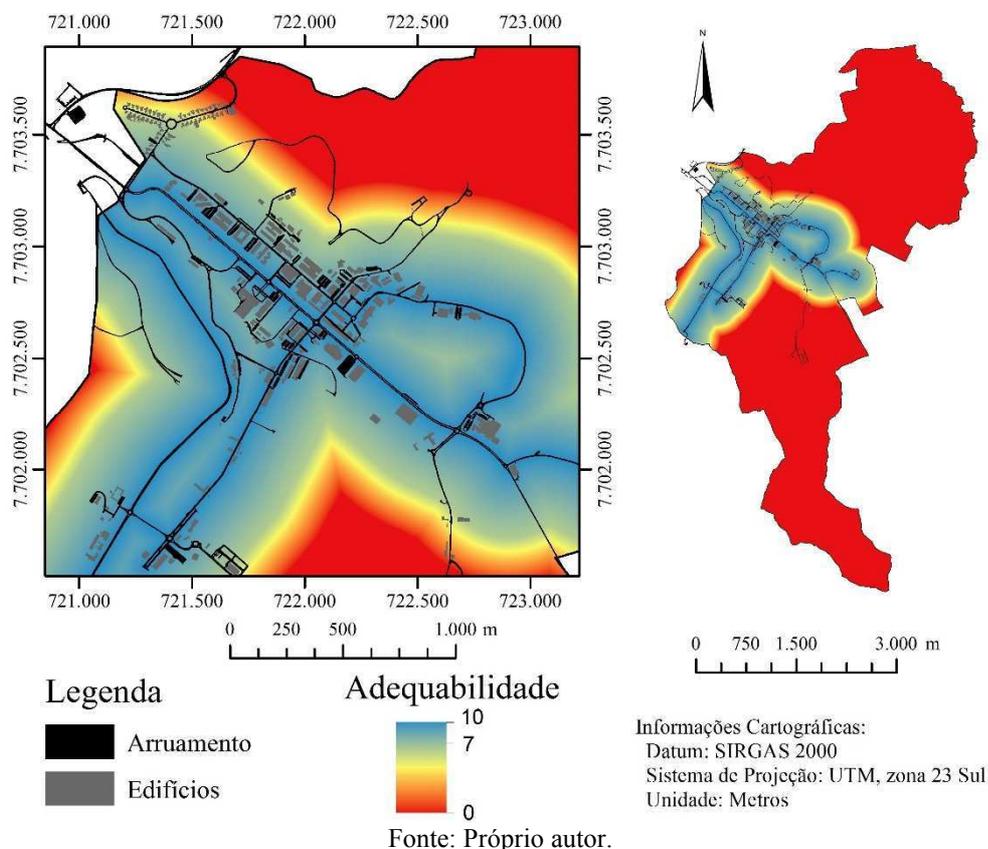


Tabela 2 – População atendida pelo critério (fator) “Extensão das redes de transportes” por faixa de influência na área urbana do câmpus universitário analisado.

Pesos	Faixa de influência direta (m)	População	Área (km ²)
$10 \geq$ varia linearmente > 7	De 0 a 300	8.899	3,606
$7 \geq$ varia linearmente > 5	De 301 a 360	150	0,506
$5 \geq$ varia linearmente > 2	De 361 a 450	81	0,165
$2 \geq$ varia linearmente > 0	De 451 a 500	50	0,035
0	> 500	304	11,801
Total		9.484	16,113

Fonte: Próprio autor.

6.5.3 Frequência de atendimento do transporte público

Durante três dias consecutivos (terça-feira, quarta-feira e quinta-feira), entre 6h e 20h, período de movimentação representativa de trânsito, verificou-se a frequência de atendimento do transporte coletivo dentro do câmpus Viçosa da UFV, conforme orientação do Manual do DEER-MG (2013). A pesquisa foi realizada no mês de junho de 2017 e a semana escolhida para a realização da pesquisa se deu em período letivo, sendo semana típica, sem ocorrência de feriados ou eventos na UFV. A pesquisa de campo foi realizada na Avenida Peter Henry Rolfs,

principal via do câmpus universitário, por onde passam todas as linhas de transporte público, nos dois sentidos.

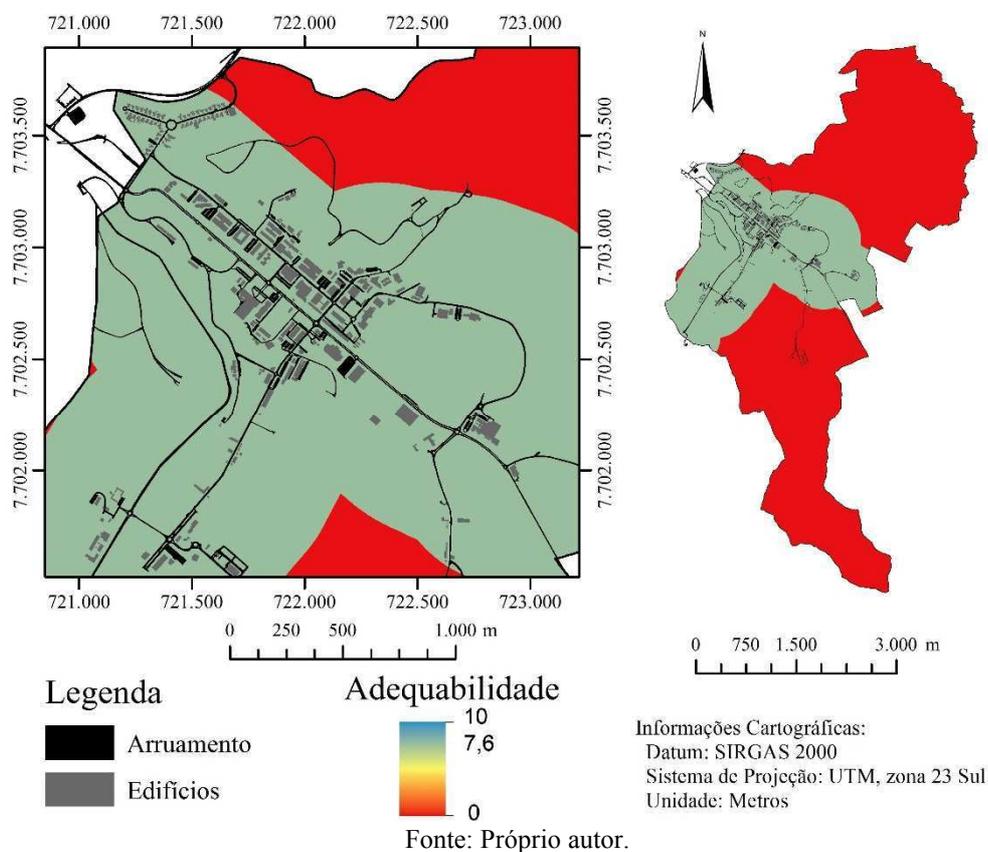
O maior intervalo de atendimento encontrado na pesquisa de campo aconteceu entre as 19h e 20h, tendo um ônibus a cada 12 minutos no câmpus Viçosa da UFV, sentido Centro/UFV. Durante os três dias de pesquisa, foi observada a passagem de 997 ônibus e micro-ônibus.

De acordo com o Quadro 1, realizando a interpolação dos valores para o intervalo de atendimento de 12 minutos, tem-se peso 7,6 para uma escala de 0 a 10. O peso 7,6 foi aplicado em toda a extensão da rede de transporte público dentro de uma distância de 500m, ou seja, com a rede de transporte público, foi feito o mapa de distância e a frequência de atendimento do transporte público foi reclassificada, de modo que distâncias menores que 500m receberam o valor de 7,6, e distâncias maiores que 500m receberam o valor 0.

De acordo com a Figura 3, considerando-se a distância de adequabilidade de 0 a 500m, conclui-se que, na frequência encontrada, o transporte coletivo, com peso 7,6 inserido no intervalo de 7 a 10, atende a uma população de 9.393 pessoas, o que corresponde a 99,04% da população locada nos diversos edificios do câmpus, os quais ocupam a área de 5,104km². O restante da população, que corresponde a 91 pessoas, recebeu o peso zero e ocupa uma área de 11,009km².

Pode-se afirmar que toda a área urbanizada do câmpus universitário é atendida pelo transporte urbano com frequência classificada como ótima.

Figura 3 – Mapa de adequabilidade para o fator “Frequência de atendimento do transporte público”.



6.5.4 Pontualidade

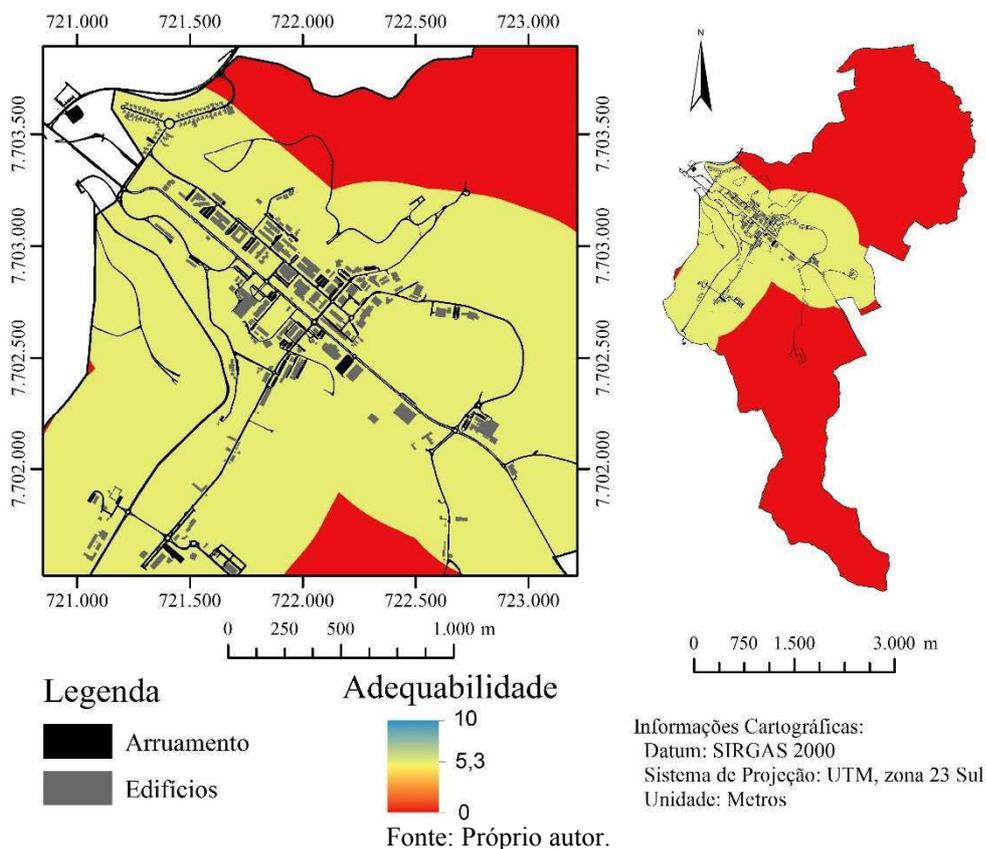
Utilizando os dados da mesma pesquisa realizada para o critério anterior, verificou-se a pontualidade do transporte coletivo dentro do câmpus Viçosa da UFV, em comparação com o quadro de horários disponibilizado pela Empresa União, que opera na cidade.

A partir da observação em campo, verificou-se que 85,46% das viagens foram realizadas de acordo com o programado ou atendem aos critérios de pontualidade estabelecidos no Quadro 1. Realizando a interpolação dos valores, tem-se peso 5,3 para uma escala de 0 a 10. O peso 5,3 foi aplicado em toda a extensão da rede de transporte público dentro de uma distância de 500m, ou seja, com a rede de transporte público foi feito o mapa de distância, e a pontualidade do transporte público foi reclassificada, de modo que distâncias menores que 500m receberam o valor de 5,3, e distâncias maiores que 500m receberam o valor 0.

Da mesma forma que no critério anterior, de acordo com a Figura 4, considerando-se a distância de adequabilidade de 0 a 500m, conclui-se que, na pontualidade encontrada, com peso

de 5,3, o transporte coletivo atende a uma população de 9.393 pessoas, o que corresponde a 99,04% da população locada nos diversos edifícios do câmpus.

Figura 4 – Mapa de adequabilidade para o fator “Pontualidade”.



Com relação à pontualidade do transporte público no câmpus, observa-se um número significativo de viagens que não estão sendo realizadas dentro dos intervalos permitidos.

6.5.5 Idade média da frota de transporte público

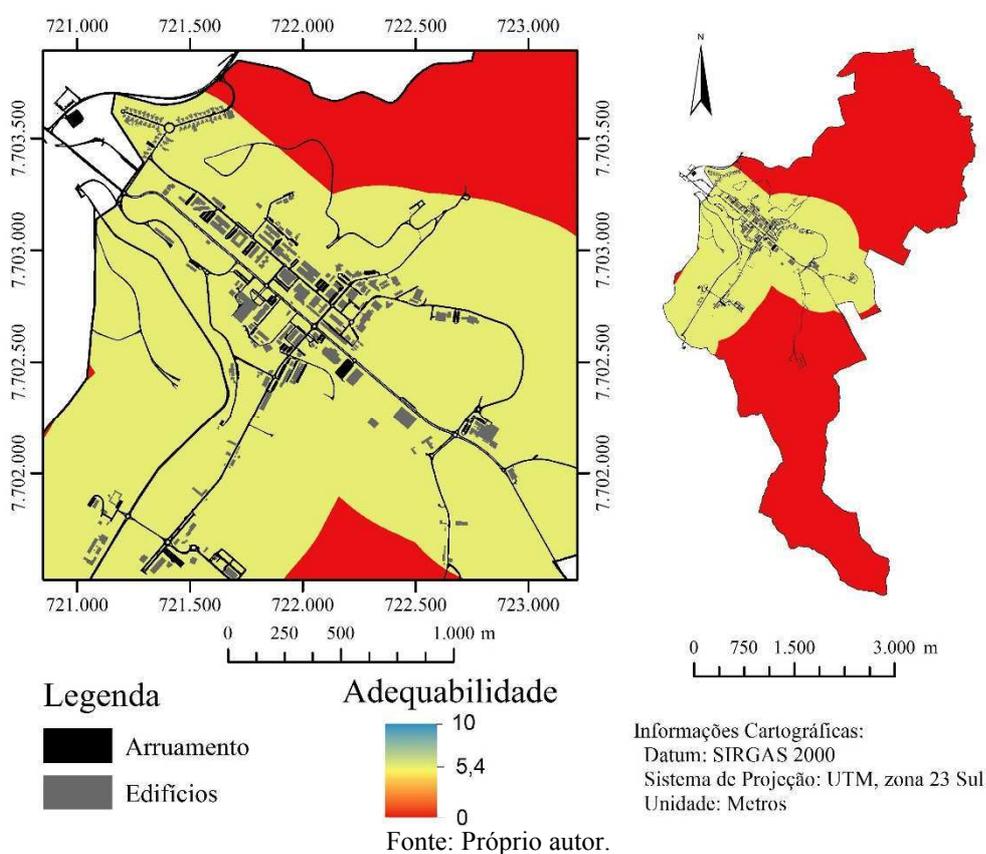
De acordo com a Empresa União, que opera o transporte coletivo em Viçosa, não há frota exclusiva operando em cada linha do transporte coletivo na cidade. Qualquer ônibus poderá circular em qualquer linha, de acordo com a necessidade diária, o mesmo valendo para os micro-ônibus. A frota total é de 44 veículos, sendo 36 ônibus e 8 micro-ônibus, com ano de fabricação do veículo entre 2007 e 2017.

A idade média da frota de transporte coletivo é de 6,11 anos. Utilizando o Quadro 1, através da interpolação dos valores, obtém-se peso 5,4 para uma escala de 0 a 10, para este critério. O peso 5,4 foi aplicado em toda a extensão da rede de transporte público dentro de uma

distância de 500m, ou seja, com a rede de transporte público foi feito o mapa de distância, e a idade média da frota do transporte público foi reclassificada, de modo que distâncias menores que 500m receberam o valor de 5,4, e distâncias maiores que 500m receberam o valor 0.

De acordo com a Figura 5, considerando-se a distância de adequabilidade de 0 a 500m, conclui-se que, na idade média encontrada, o transporte coletivo, com peso 5,4, atende a uma população de 9.393 pessoas, o que corresponde a 99,04% da população locada nos diversos edifícios do câmpus.

Figura 5 – Mapa de adequabilidade para o fator “Idade média da frota de transporte público”.



A idade média da frota é considerada regular, o que pode ocasionar um número maior de veículos parados para manutenção ao longo do período de operação.

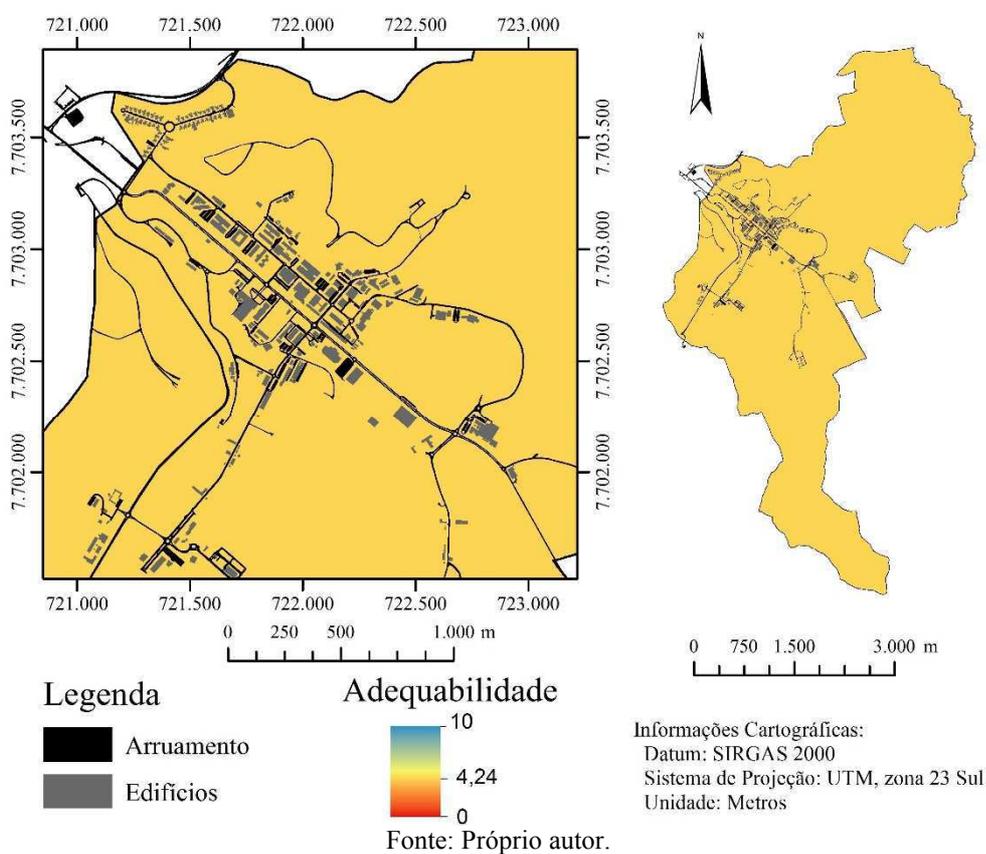
6.5.6 Satisfação do usuário com o serviço de transporte público

Em atendimento ao corpo social da área urbana do câmpus universitário e preservando a significância estatística, adotou-se a amostra mínima de 378 questionários para a realização da

pesquisa de opinião (Apêndice F). Como o resultado das pesquisas apresentou uma distribuição simétrica, foi adotada a média.

A média obtida através das respostas dos questionários foi de 42,4%, que corresponde à satisfação do usuário com o serviço de transporte público entre regular e ruim. De acordo com o apresentado no Quadro 1, o peso obtido para o critério (fator) foi de 4,24, numa escala de 0 a 10, conforme apresentado na Figura 6. A população atingida por este critério abrange toda a população do câmpus Viçosa da UFV, ou seja, 9.484 pessoas, para o peso 4,24.

Figura 6 – Mapa de adequabilidade para o fator “Satisfação do usuário com o serviço de transporte público”.



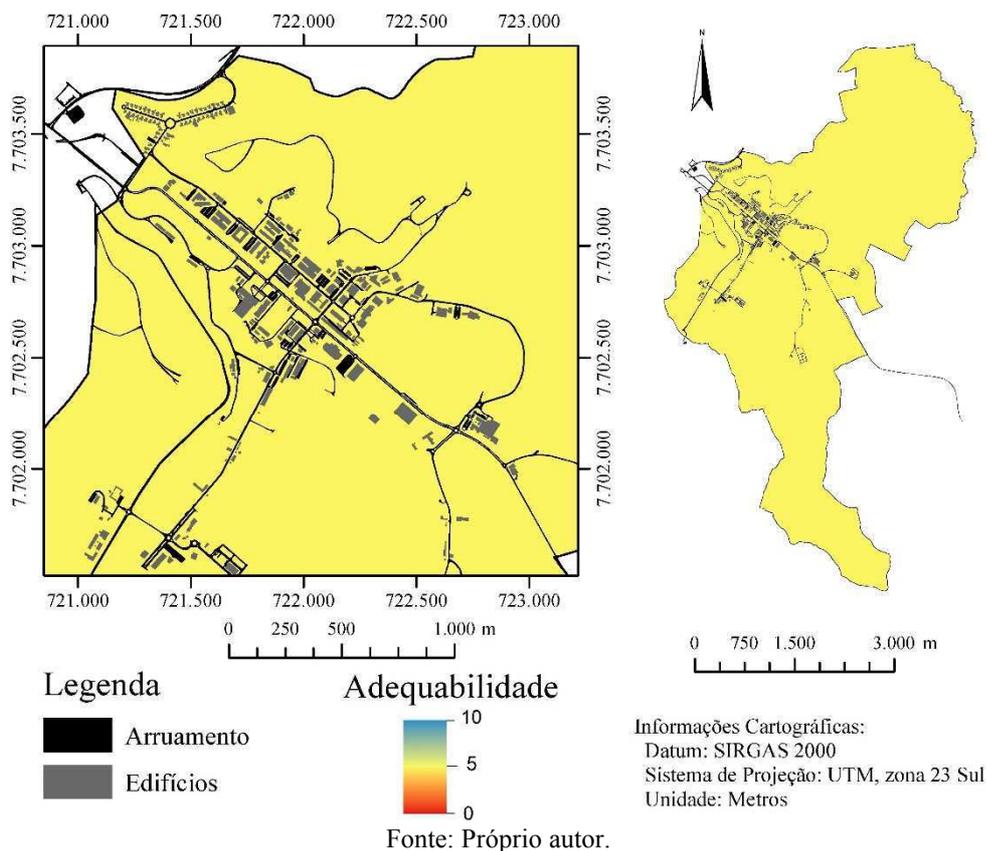
De acordo com resultado da pesquisa, torna-se necessária a identificação dos motivos que levaram a uma avaliação tão baixa.

6.5.7 Diversidade de modos de transporte

O câmpus universitário estudado possui 5 meios de transporte disponíveis. Conforme explicado anteriormente, não foram considerados os modos de transporte não motorizados (a

pé e bicicleta). Desta forma, será adotado o peso 5 para o câmpus Viçosa da UFV. Este peso será aplicado para todo o polígono. Desta forma, de acordo com a Figura 7, a população atingida por este critério abrange toda a população do câmpus.

Figura 7 – Mapa de adequabilidade para o fator “Diversidade de modos de transporte”.



6.5.8 Transporte público x transporte privado

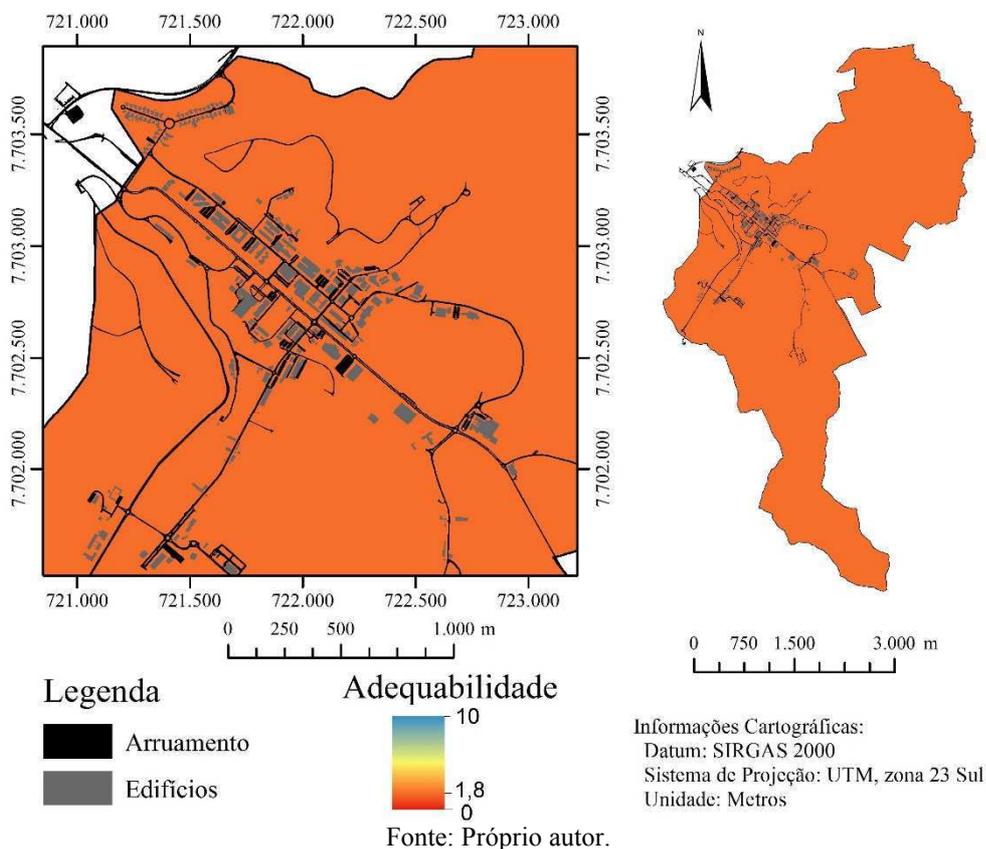
Tal como foi feito no critério “Satisfação do usuário com o serviço de transporte público”, adotou-se a amostra mínima de 378 questionários. Deste total, 36,77% chegam ao câmpus Viçosa da UFV a pé, 21,43% de automóvel (na condição de motorista), 17,2% de bicicleta, 9,26% de ônibus, 6,08% de automóvel (na condição de carona), 7,14% de motocicleta, 1,59% moram no alojamento da UFV e 0,53% utilizam van.

Na pesquisa, ônibus e vans foram considerados como transporte público, e, como transporte privado, automóvel (na condição de motorista ou carona) e motocicleta.

Foram obtidos 22,02% para utilização do transporte público e 77,98% para utilização do transporte privado. Isto representa uma alta dependência do veículo particular. Realizando a interpolação dos valores, conforme Quadro 1, tem-se peso 1,8 para uma escala de 0 a 10. Este

peso será aplicado para todo o polígono. Desta forma, de acordo com a Figura 8, a população atingida por este critério abrange toda a população do câmpus Viçosa da UFV.

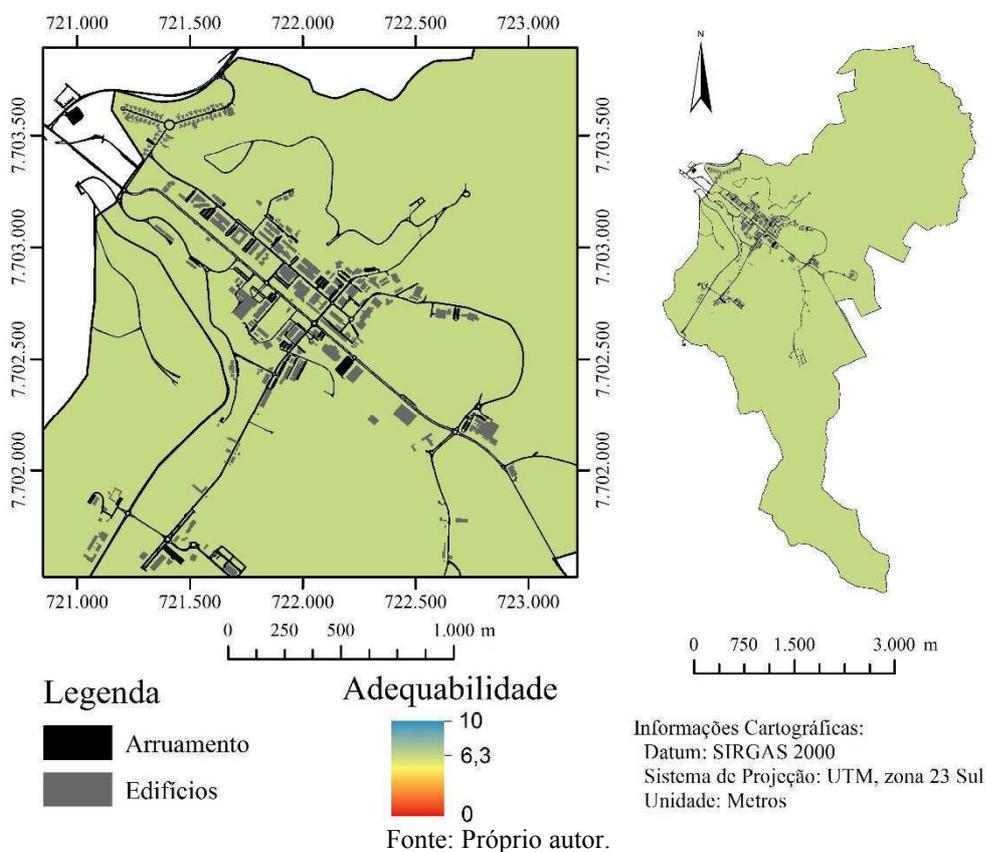
Figura 8 – Mapa de adequabilidade para o fator “Transporte público x transporte privado”.



6.5.9 Modos motorizados x modos não motorizados

A partir da pesquisa de opinião (Apêndice F) realizada, para este critério (fator), foram considerados, como transporte público, ônibus e vans, e como transporte privado, automóvel (na condição de motorista ou carona) e motocicleta. Foram obtidos 44,44% para utilização dos modos motorizados e 55,56% para utilização dos modos não motorizados. Isto representa um aspecto muito positivo para o câmpus, que possui taxa de utilização de modos não motorizados maior que a de modos motorizados. Realizando a interpolação dos valores, conforme Quadro 1, tem-se o peso de 6,3 para uma escala de 0 a 10. Este peso será aplicado para todo o polígono. Desta forma, de acordo com a Figura 9, a população atingida por este critério abrange toda a população do câmpus da UFV.

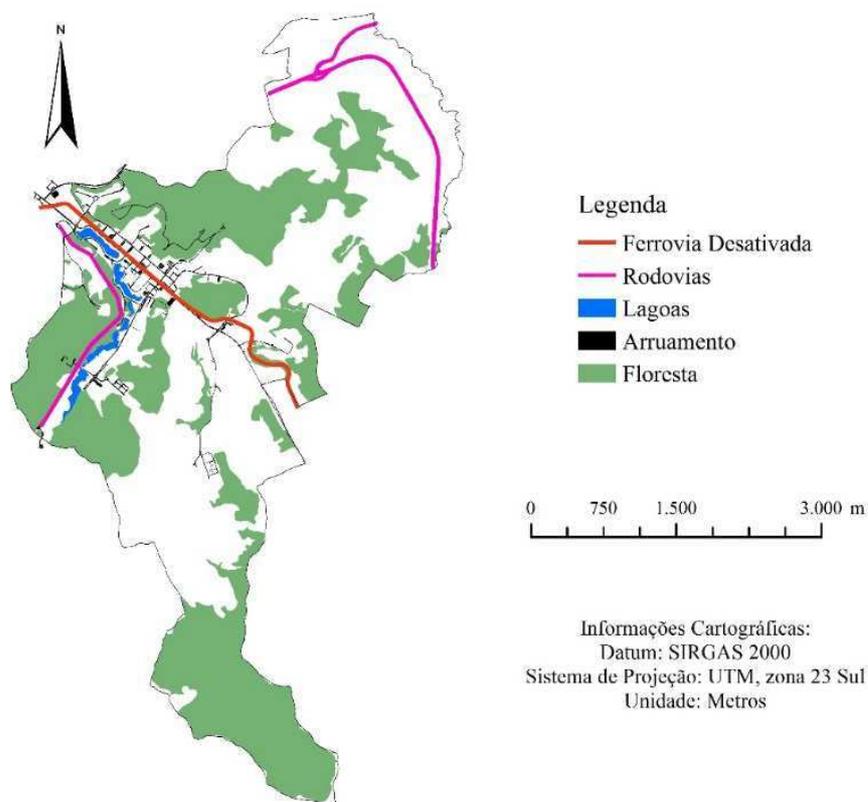
Figura 9 – Mapa de adequabilidade para o fator “Modos motorizados x modos não motorizados”.



6.5.10 Fragmentação físico-territorial

Após levantamento de campo na área urbana do câmpus analisado, foram detectadas as barreiras físicas, naturais ou construídas, a saber: 1 ferrovia desativada (0,0076km²), 2 rodovias (0,0278km²), 5 lagoas (0,1473km²) e 29 áreas de florestas (7,6071km²), conforme apresentado na Figura 10. Algumas distâncias foram estendidas devido à impossibilidade ou dificuldade de suas transposições por pedestres e veículos motorizados e não motorizados. Essas áreas totalizam 7,7898km², o que corresponde a 48,34% da área total do câmpus universitário analisado.

Figura 10 – Mapa da restrição “Fragmentação físico-territorial”.



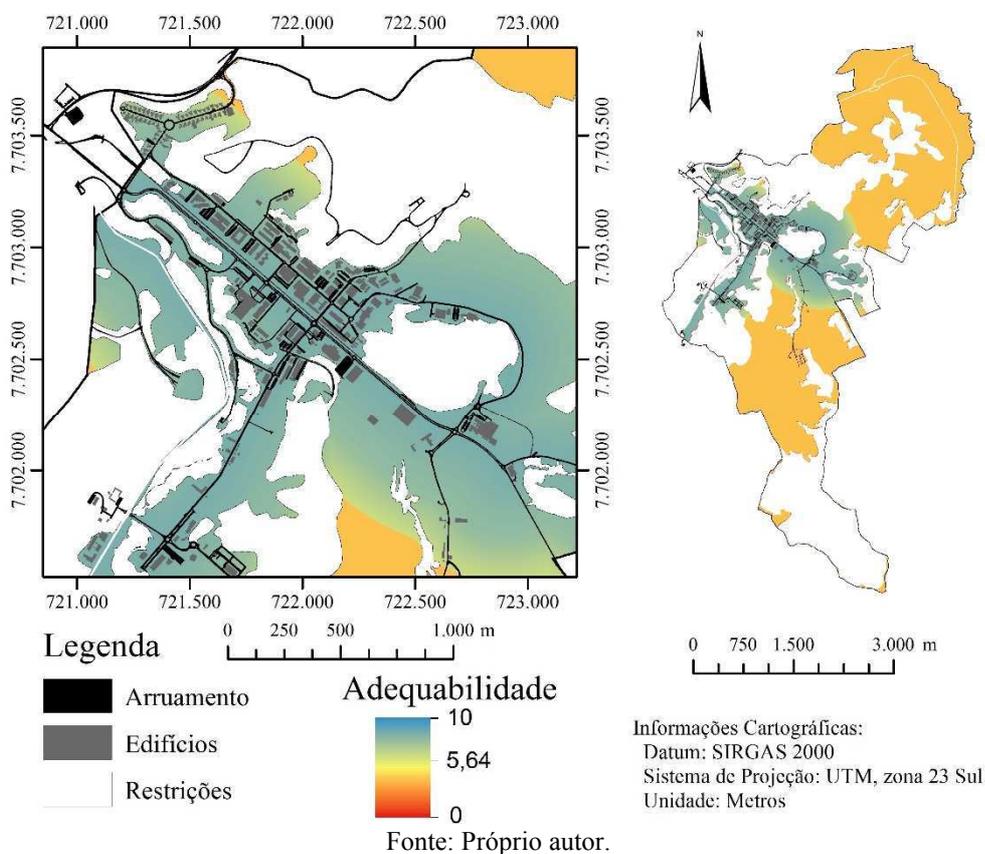
Fonte: Próprio autor.

6.5.11 Mapa do índice para os sistemas de transportes urbanos para o câmpus universitário analisado

A combinação linear ponderada dos oito critérios (fatores) com um critério (restrição) é apresentada na Figura 11.

Não existe população atingida para o intervalo de adequabilidade de 7 a 10, numa escala de 0 a 10, visto que, ao utilizar a Equação 1, nenhum resultado relativo à população foi obtido para adequabilidade superior a 7. Isto poder ser justificado pelos critérios (fatores) “Pontualidade”, “Idade média da frota de transporte público”, “Satisfação do usuário com o serviço de transporte público”, “Diversidade de modos de transporte”, “Transporte público x transporte privado” e “Modos motorizados x modos não motorizados”, que obtiveram notas inferiores a 7, numa escala de 0 a 10. Desta forma, para o intervalo de adequabilidade de 5 a 7, cuja avaliação varia de regular a bom, a população atingida na área de estudo corresponde a 9.132 pessoas, que utilizam uma área de 2,6305km². Na escala de adequabilidade, a nota máxima obtida pelo câmpus analisado foi de 5,64, numa escala de 0 a 10.

Figura 11 – Mapa do índice de mobilidade urbana sustentável para o câmpus universitário analisado.



6.6 Conclusões

A influência dos critérios (fatores), por meio dos pesos atribuídos, teve importância significativa no mapa final do índice de mobilidade urbana sustentável para os sistemas de transportes urbanos do câmpus universitário analisado, uma vez que o valor máximo obtido na escala de adequabilidade sugere a necessidade de alterações no sistema utilizado.

A rede de transporte público atende a toda a região urbanizada lotada nos prédios do câmpus Viçosa da UFV. A frequência de atendimento também é satisfatória, apresentando intervalos maiores após as 19h, período em que o câmpus analisado tem menor movimentação, devido ao reduzido número de aulas que acontece neste turno.

Com relação à pontualidade do transporte público no câmpus, há uma deficiência, conforme pode ser verificado no índice de adequabilidade encontrado. É necessário, juntamente com a Prefeitura Municipal de Viçosa, que gerencia e fiscaliza o sistema de transporte coletivo na cidade, que exista controle para que as viagens realizadas possam ser cumpridas conforme o programado e para que seja cumprido o quadro de horários disponível para as linhas que

circulam dentro do câmpus. Deve-se também disponibilizar para a população usuária do câmpus o quadro de horários atualizados, investir em tecnologia em tempo real para que o usuário do sistema possa programar suas viagens sem surpresas desnecessárias, criar programas e projetos desestimulando o uso do automóvel particular, oferecer infraestrutura cicloviária e melhorar as condições de segurança dos pedestres.

A idade média da frota também é um dos fatores preocupantes, visto que está além do valor máximo estipulado, fazendo com que os veículos necessitem de maior manutenção ou trocas frequentes durante o tempo diário de operação.

O resultado da pesquisa de satisfação do usuário com relação ao sistema de transporte público mostra que há uma insatisfação declarada. Recomenda-se que, em pesquisas futuras, possam ser avaliadas pontualmente quais características do transporte não são satisfatórias para o usuário, podendo trabalhar em soluções adequadas.

A diversidade dos modos de transporte ofertados no câmpus, apesar de não ser ideal, é a mesma que a apresentada na cidade de Viçosa, uma cidade de porte médio, onde grande parte da população anda a pé ou utiliza a bicicleta. Através da pesquisa, verificou-se que, quanto aos transportes motorizados, há uma alta dependência do veículo particular.

O índice de mobilidade urbana sustentável para os sistemas de transporte urbanos em câmpus universitários constituiu-se, nesta pesquisa, em uma ferramenta de suporte à proposição de políticas públicas, ao direcionamento de ações e, principalmente, à identificação de critérios que devem ser tratados de forma diferenciada, de modo a garantir aos usuários mais conforto e qualidade.

REFERÊNCIAS

AWASTHI, A.; CHAUHAN, S. S. **Using AHP and Dempster–Shafer theory for evaluating sustainable transport solutions**. [S. l.]: Environ. Model. Softw., 2011. 26, pp. 787-796.

BALSAS, C. J. **Sustainable transportation planning on college campuses**. [S. l.]: Transport Policy, 2003. 10(1), 35-49.

BENINI, L. C.; SILVA, I. N.; CAGNON, J. A. Uso de um sistema de inferência fuzzy na determinação da densidade do solo. In: DINCON'2008 - 7º Brazilian Conference on Dynamics, Control and Applications, 2008, Presidente Prudente – SP. **Anais...** Presidente Prudente, 2008.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT): Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos. **Pesquisa mobilidade da população urbana**. Brasília: 2017. 96 p.

DEPARTAMENTO DE EDIFICAÇÕES E ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE MINAS GERAIS - DEER. **Manual de procedimentos para elaboração de estudos e projetos de engenharia rodoviária**. Belo Horizonte: Diretoria de Projetos, 2013. v. 1.

EASTMAN, J. R. Decision support: decision strategy analysis. In: Clark University (Ed.). **Idrisi 32 release 2: Guide to GIS and image processing**. Worcester: Clark Labs, 2001. 2, 22.

EMPRESA DE TRANSPORTES E TRÂNSITO DE BELO HORIZONTE (BHTrans). **Planmob BH Observatório 2017**. Belo Horizonte: 2017. Disponível em: [http://www.bhtrans.pbh.gov.br/portal/page/portal/portalpublico/Temas/ObservatorioMobilidade/Indicadores/Transporte%20Coletivo/Indicadores%20de%20qualidade%20do%20transporte%20coletivo%20\(IDO%20ICP%20IPV](http://www.bhtrans.pbh.gov.br/portal/page/portal/portalpublico/Temas/ObservatorioMobilidade/Indicadores/Transporte%20Coletivo/Indicadores%20de%20qualidade%20do%20transporte%20coletivo%20(IDO%20ICP%20IPV). Acesso em: 20 fev. 2019.

FERRAZ, A C. P.; TORRES, I. G. E. **Transporte Público Urbano**. São Carlos: Rima, 2001. 2 ed. 367p.

JONES, S.; TEFE, M.; APPIAH-OPOKU, S. **Proposed framework for sustainability screening of urban transport projects in developing countries: a case study of Accra, Ghana**. [S. l.]: Transp. Res. A, 2013. 49, pp. 21-34.

KAYAL, P.; SINGH, R.; KUMAR, M. **Defining sustainable urban mobility**. New Delhi: 2014.

KEPAPTSOGLU, K.; MEERSCHAERT, V.; NEERGAARD, K.; PAPADIMITRIOU, S.; RYE, T.; SCHREMSE R.; VLEUGLES, I. **Quality management in mobility management: a scheme for supporting sustainable transportation in cities**. Int. J. Sustain. Transp., 2012. 6, pp. 238-256.

KLEIMAN, M. **Transportes e mobilidade e seu contexto na América Latina**. Estudos e Debates nº 61. Rio de Janeiro: Ippur, UFRJ, 2011.

SILVA, A. N. R.; COSTA, M. da S.; MACEDO, M. H. **Multiple views of sustainable urban mobility: The case of Brazil**. Transport Policy, 2008. v. 15(6), p. 350-360.

TAMAKI, T.; NAKAMURA, H.; FUJIB, H.; MANAGI, S. **Efficiency and emissions from urban transport: Application to world city-level public transportation**. Economic Analysis and Policy, 2019. 61, pp. 55-63. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eap.2016.09.001>. Acesso em: 10 out. 2019.

TOTH-SZABO, Z.; VÁRHELYI, A.; KOGLIN, A.; ANGJELEVSKA, B. **Measuring Sustainability of Transport in the City: Development of an Indicator Set (Bulletin 261)**. Lund, Sweden: Traffic & Roads, Department of Technology and Society, Lund University, 2011.

TRIOLA, M. F. **Introdução à Estatística**. 11 edição. São Paulo: Livros técnicos e científicos, 2013.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (UFV). **UFV em números 2016 (Ano base 2015)**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2016.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (UFV). **UFV em números 2018 (Ano base 2017)**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2018.

UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME (UN-HABITAT). **Streets as public spaces and drivers of urban prosperity** – Un habitat for a better urban future. Nairobi: 2013. Disponível em: <https://unhabitat.org/books/streets-as-public-spaces-and-drivers-of-urban-prosperity/>. Acesso em: 15 jan. 2019.

7 MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DE ÍNDICE DE MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL A PARTIR DE ANÁLISE DE INFRAESTRUTURAS PARA TRANSPORTES MOTORIZADOS

RESUMO - O objetivo deste estudo foi propor um método para cálculo de um índice de mobilidade urbana sustentável, a partir de análises de infraestruturas para transportes motorizados, visando a sua utilização em câmpus universitários brasileiros. Utilizando-se de análise multicritério de apoio à decisão (AMAD), foram propostos os critérios (fatores e restrição) a serem analisados, a saber: (i) densidade viária; (ii) grau de conectividade; (iii) vias pavimentadas; (iv) sinalização viária para modos motorizados e; (v) fragmentação físico-territorial. Dentre os critérios (fatores) analisados, a densidade viária no câmpus universitário foi o melhor avaliado, pelo fato de ter um maior valor de adequabilidade para atendimento ao método proposto. O critério (fator) grau de conectividade apresentou o menor valor de adequabilidade, o que pode ser justificado pela necessidade de se percorrer distâncias mais longas para a circulação dos veículos motorizados. A apresentação dos resultados obtidos em mapas de adequabilidade possibilitou identificar quais critérios e locais necessitam de mais interferências para atendimento às condições mínimas relacionadas à infraestrutura para transportes motorizados.

Palavras-chave: infraestruturas para transportes motorizados, análise multicritério, mobilidade urbana sustentável, câmpus universitários brasileiros.

METHOD FOR DETERMINING SUSTAINABLE URBAN MOBILITY INDEX FROM MOTORIZED TRANSPORT INFRASTRUCTURE ANALYSIS

ABSTRACT - This study aimed to propose a method for calculating a sustainable urban mobility index, based on analysis of infrastructure for motorized transportation, aiming at its use in Brazilian university campuses. Using multiple criteria decision analysis (MCDA), the criteria (factors and restriction) to be analyzed were proposed, namely: (i) road density; (ii) degree of connectivity; (iii) paved roads; (iv) road signs for motorized modes and; (v) physical-territorial fragmentation. Among the criteria (factors) analyzed, the road density was the best evaluated, due to the fact that it has a greater suitability value to meet the proposed method. The criterion (factor) degree of connectivity showed the lowest suitability value, which can be justified by the need to travel longer distances for the circulation of motor vehicles. The

presentation of results by means of suitability maps made it possible to identify which criteria and locations need the most interference to meet the minimum conditions related to the infrastructure for motorized transportation.

Keywords: infrastructures for motorized transportation, multicriteria analysis, sustainable urban mobility, Brazilian university campuses.

7.1 Introdução

Segundo Gabrielli *et al.* (2014), a mobilidade urbana sustentável aparece como um novo paradigma, tornando-se um ponto chave de investigação e intervenção para governantes e outros atores interessados em promover metas de sustentabilidade.

Um câmpus universitário, na condição de Polo Gerador de Viagem (PGV), destaca-se no contexto socioeconômico e geográfico das cidades. Nesse sentido, requer estudos específicos de gerenciamento da mobilidade urbana, nos quais devem ser levados em consideração “a infraestrutura viária disponível e as condições de tráfego, internas e externas” (CARVALHO e SANTOS, 2018), indicando sua importância quanto aos equipamentos urbanos dentro da cidade.

Para avaliar os dados obtidos com os estudos sobre a mobilidade urbana dentro de câmpus universitários, deve-se qualificá-los e classificá-los com base em critérios pré-estabelecidos. É bastante útil e recomendável a utilização de índices, o que já foi validado em outros estudos, pois configuram-se como boas ferramentas para análise (GOMES *et al.*, 2011).

De acordo com Tan, Silva e Souza (2019), índices são importantes para prever com certa precisão a tendência de comportamento de critérios analisados, auxiliando na tomada de decisões referentes a eles. Silva, Costa e Macedo (2016) reitera que “índices são ferramentas que agregam indicadores através de métodos aritméticos ou regras de decisão, permitindo simplificar parâmetros complexos”. Assim, essa ferramenta passa a caracterizar um processo de modo que seu resultado seja compreensível inclusive para leigos.

Na literatura técnica é possível encontrar diversos estudos que buscam métodos para melhorar as condições de mobilidade sustentável em câmpus universitários brasileiros; dessa forma, torna-se importante elencar algumas das contribuições a este tema. Cevada e Costa (2014) fizeram uma análise dos perfis dos usuários de bicicleta no câmpus da Universidade Federal da Paraíba. Ferreira e Sanches (2016) avaliaram o potencial e restrições existentes para implantação de mobilidade ciclovária no câmpus da Universidade Federal de São Carlos.

Gaion (2013) realizou um levantamento histórico das medidas relacionadas à mobilidade no câmpus da Universidade Federal de São Carlos.

Guerreiro, Stein e Silva (2013) avaliaram o impacto de infraestrutura cicloviária sobre diferentes grupos de usuários em um câmpus universitário. Neri (2014) avaliou o uso da bicicleta como um meio de transporte potencialmente viável, de modo a contribuir com a melhoria do trânsito no acesso ao câmpus. Neris *et al.* (2014) estudaram a aplicação de avaliação multicritério baseada em função das distâncias até um destino-chave para o nível de acessibilidade no câmpus universitário da Universidade Federal do Paraná. A investigação foi impulsionada pelo crescimento da utilização dos meios motorizados percebido pela comunidade.

Oliveira e Silva (2015) desenvolveram uma metodologia para o planejamento da mobilidade relacionada a grandes PGVs e a aplicaram no câmpus da Universidade de São Paulo. Pereira e Pereira (2014) realizaram uma análise da mobilidade urbana e das condições dos espaços de convivência no câmpus de Palmas da Universidade Federal do Tocantins. Pires (2013) identificou estratégias para o gerenciamento da mobilidade nos deslocamentos para a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Stein e Silva (2018) realizaram pesquisas com usuários e caracterizaram os deslocamentos para mensurar impactos de novos possíveis acessos exclusivos para pedestres nas distâncias de caminhada para o câmpus de São Carlos da Universidade de São Paulo.

Os estudos conduzidos até então não realizaram um diagnóstico das reais condições da infraestrutura para os modos motorizados em um câmpus universitário brasileiro. Devido a esta deficiência, este estudo propôs um método para o cálculo de um índice de mobilidade urbana sustentável, a partir de dados pertinentes às infraestruturas para transportes motorizados. Por meio do método proposto, será possível verificar qualidades e deficiências de forma espacializada.

Para esta pesquisa foi utilizada a função linear para cada critério (fator) analisado. Em sistemas *Fuzzy*, cujos parâmetros podem ser completamente definidos por especialistas, a escolha de funções lineares é mais comum, pois são as mais simples de serem implementadas. Dessa forma, elas são amplamente utilizadas, pois a ideia de se definir regiões de pertinência total, média e nula é mais intuitiva que a especificação do valor médio e de dispersão, os quais são conceitos ligados às funções gaussianas (EASTMAN, 2001; BENINI, SILVA e CAGNON, 2008). Lautso et al. (2004) partem da teoria de que é necessário assumir como hipótese inicial a linearidade da função, e na pesquisa deles foi demonstrado que, no caso de escalas de representação alternativas, usar aquela com maior aproximação leva de volta a uma função

linear. Salienta-se que a maioria dos processos de normalização utiliza um valor máximo e outro mínimo para a definição de uma escala, em que a forma mais simples para obtenção dos valores intermediários é uma variação linear (EASTMAN, 2001; SILVA, RAIA JUNIOR e BOCANEGRA, 2002).

7.2 Método proposto

7.2.1 Descrição do método

7.2.1.1 Considerações iniciais

O método para determinação do Índice de Mobilidade Urbana Sustentável (IMUS) concebido por Silva, Costa e Macedo (2008), que em seus domínios enfocou tanto os modos não motorizados quanto os motorizados, foi o estudo de referência para essa pesquisa. Do método proposto pelos autores, foram selecionados os critérios que melhor se aplicam aos câmpus universitários brasileiros. Também foi acrescida ao método para determinação do IMUS a utilização de técnicas de geoprocessamento, visando o mapeamento de atributos em campo, e do sistema de informação geográfica ArcGIS versão 10.5, para ordenamento de critérios (fatores) e determinação do índice de mobilidade urbana sustentável proposto, utilizando-se de análise multicritério de apoio à decisão (AMAD).

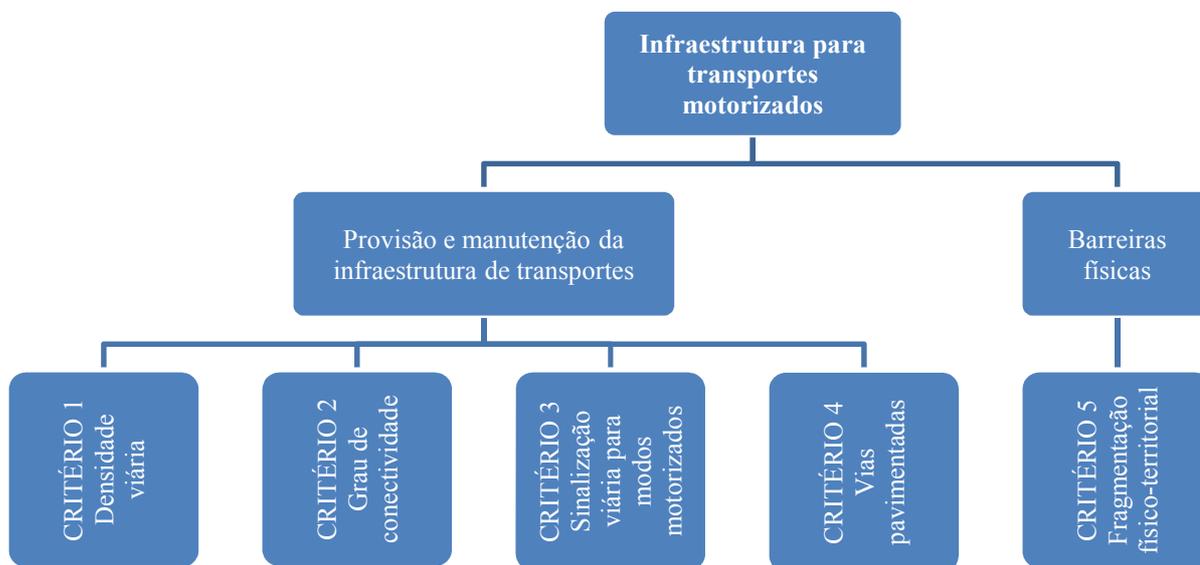
Foram aplicados pesos a cada um dos critérios e, através da lógica *Fuzzy*, gerou-se o mapa de adequabilidade desse critério (fator). Esse procedimento foi utilizado para todos os critérios (fatores) adotados nesse estudo.

O método proposto para determinação de um índice de mobilidade urbana sustentável para câmpus universitários brasileiros foi dividido em dois indicadores que englobam cinco critérios (fatores e restrição), conforme apresentado na Figura 1, em que os quatro primeiros critérios foram considerados como fatores e o quinto foi considerado como restrição na análise multicritério realizada.

Para a determinação do índice de mobilidade urbana em função de análises de infraestruturas para transportes motorizados, foi proposta a delimitação da área efetivamente urbanizada na base cartográfica georreferenciada do câmpus universitário analisado, a qual contém informações sobre a população que utilizou cada prédio no período do desenvolvimento desse estudo. Isto foi possível devido à inserção, em um banco de dados vinculado à referida base cartográfica, do número de funcionários e alunos que regularmente frequentava cada

prédio, dados que foram fornecidos pela própria instituição de ensino superior, relativos ao primeiro semestre letivo do ano de 2017.

Figura 1 – Indicadores de mobilidade urbana sustentável analisados.



Fonte: Adaptado de Silva, Costa e Macedo (2008).

7.2.1.2 Descrição dos critérios (fatores e restrição)

7.2.1.2.1 Densidade viária

A densidade viária é a relação entre a extensão total das vias e a área total do campus universitário, descontadas as áreas de proteção ambiental ou com restrições à ocupação de edificações. Considerando a base cartográfica georreferenciada da área urbana do campus universitário, calculou-se a densidade viária. A lógica *Fuzzy* foi utilizada para atribuir uma escala comum.

O valor da densidade viária calculado foi aplicado em todo o polígono do campus universitário, sendo considerada a densidade ideal como aquela que possui valor maior ou igual a 10 km/km², conforme proposto por Silva, Costa e Macedo (2008), e através dos valores determinados na pesquisa realizada por Un-Habitat (2013) para as cidades na América Latina, foram adotados os valores de referência do Quadro 1. No Brasil há uma grande deficiência de dados relativos à densidade viária, tanto que os dados adotados são os disponíveis para as cidades de São Paulo, São Carlos e Campinas, no Estado de São Paulo, Brasil.

Quadro 1 – Pesos adotados para os critérios (fatores) “Densidade viária”.

Pesos	Densidade viária (km/km ²)
10	Maior que 10
10 > varia linearmente > 7	De 10 a 7,5
7 ≥ varia linearmente > 5	De 7,4 a 5
5 ≥ varia linearmente > 2	De 4,9 a 2,5
2 ≥ varia linearmente ≥ 0	De 2,4 a 0

Fonte: Adaptado de Silva, Costa e Macedo (2008) e Un-Habitat (2013).

Nota: Peso 10: excelente; Peso 7: bom; Peso 5: regular; Peso 2: ruim e Peso 0: muito ruim

Quanto maior a densidade viária, melhor a infraestrutura de transporte para veículos motorizados. Assim o valor de adequabilidade igual a 10 corresponde a densidades viárias iguais ou maiores que 10km/km², considerando-se adequabilidade igual a 0 para baixas densidades viárias.

7.2.1.2.2 Grau de conectividade

Na base cartográfica georreferenciada da área urbana do câmpus universitário analisado foi criada uma malha de pontos ou *grid* de 300x300m, conforme adotado por Singh *et al.* (2015), com a finalidade de quantificar o número de nós que cobre toda a área onde se desenvolveu o sistema viário. Áreas de proteção ambiental ou com restrições à ocupação de edificações, como áreas de lagoas ou com vegetação densa não foram cobertas pelo *grid*.

Definiu-se como nó o elemento de uma rede que caracteriza o início e o fim de um segmento viário. Em uma rede viária, corresponde às interseções (cruzamentos de vias) e às extremidades de vias.

A conectividade foi analisada com base no número de nós que configuram o sistema viário da área urbana do câmpus universitário analisado. A proporção de nós observados para o sistema viário em relação ao número ideal de nós da área urbana do câmpus universitário analisado foi apresentado no Quadro 2, a partir de recomendações de Silva, Costa e Macedo (2008).

Quanto maior a conectividade entre as vias, menores as distâncias de deslocamento, consequentemente, menores os tempos de viagem e maior a facilidade de circulação. O valor de adequabilidade igual a 10 corresponde à conectividade igual ou maior que 50% da conectividade ideal, considerando-se adequabilidade igual a 0 para nenhuma conectividade entre as vias.

Quadro 2 – Pesos adotados para os critérios (fatores) “Grau de conectividade”.

Pesos	Número de nós ideal/ número de nós medido
10	Maior que 50%
$10 > \text{varia linearmente} > 7$	De 49% a 35%
$7 \geq \text{varia linearmente} > 5$	De 34% a 25%
$5 \geq \text{varia linearmente} > 2$	De 24% a 10%
$2 \geq \text{varia linearmente} \geq 0$	De 10% a 0

Fonte: Adaptado de Silva, Costa e Macedo (2008).

Nota: Peso 10: excelente; Peso 7: bom; Peso 5: regular; Peso 2: ruim e Peso 0: muito ruim

7.2.1.2.3 Vias pavimentadas

Para as vias pavimentadas, foram verificados os atributos relativos à largura, tipo de pavimento e existência de canteiro central, com base no Manual de Sinalização Horizontal (CONTRAN, 2014).

A partir do mapeamento dos atributos de cada via pertencente à área urbana do câmpus universitário analisado, com receptores de sistema de posicionamento global (GPS), foi realizada a espacialização desses pontos na base cartográfica georreferenciada da área de estudo. Para interpolar estas informações, utilizou-se o interpolador de polígonos de *Thiessen*.

Para este critério (fator), adotaram-se os polígonos de *Thiessen*, ou polígonos de influência, visto que as variáveis presentes são qualitativas e não quantitativas, o que faz com que não seja possível interpolar os valores das variáveis por toda a área de estudo.

Em seguida, foi realizada uma seleção espacial a partir dos atributos dos polígonos de *Thiessen* (cada polígono tem os atributos idênticos ao ponto que lhe deu origem). Para a área urbana do câmpus universitário analisado, foram encontrados os seguintes tipos de pavimento: asfalto, bloquete, concreto e revestimento primário. Os valores adotados foram obtidos a partir do Manual de Sinalização Horizontal (CONTRAN, 2014), para vias urbanas, em que a largura mínima de via pavimentada é de 3,00m por faixa de tráfego. Vias urbanas com larguras menores que 6,00m são consideradas inadequadas para a circulação de veículos em duplo sentido de circulação, conforme apresentado no Quadro 3.

A área urbana do câmpus universitário analisado possui um sistema viário composto, na sua maioria, por vias urbanas classificadas hierarquicamente como secundárias, cuja velocidade máxima de operação é de 40km/h.

O valor de adequabilidade igual a 10 corresponde à melhor condição de uma via, tendo pavimento asfáltico, largura igual ou superior a 6,00m com duplo sentido de tráfego e existência

de canteiro central, considerando-se adequabilidade igual a 0 para vias com revestimento primário e largura inferior a 6,00m com duplo sentido de circulação.

Quadro 3 – Pesos adotados para o critério (fator) “Vias pavimentadas”.

Pesos	Largura (m)	Tipo de pavimento	Existência de canteiro central
10	$L \geq 6,00$	Asfalto	sim
7		Asfalto	não
5		Bloquete ou concreto	-
2		Revestimento primário	-
2	$L < 6,00$	Asfalto/Bloquete/Concreto	-
0		Revestimento primário	-

Fonte: Contran (2014).

Nota: Peso 10: excelente; Peso 7: bom; Peso 5: regular; Peso 2: ruim; Peso 0: muito ruim e L: Largura.

7.2.1.2.4 Sinalização viária para modos motorizados

Para verificar a satisfação dos usuários que utilizam o sistema viário da área urbana do câmpus universitário analisado, em relação à sinalização viária para os modos motorizados, foi realizada uma pesquisa de opinião, adotando-se a amostra mínima de acordo com o corpo social da área de estudo. A pesquisa quantitativa foi utilizada para quantificar opiniões, priorizando os resultados numéricos.

Em atendimento ao corpo social da área urbana do câmpus universitário analisado, de aproximadamente 22.359 pessoas, e preservando a significância estatística, adotou-se a amostra mínima de 378 questionários para realização da pesquisa de opinião, que foi realizada entre os meses de março e maio do ano de 2017.

Os pesos referentes ao nível de satisfação dos usuários foram distribuídos proporcionalmente, de acordo com a escala *Likert*, em que, para cada nível de satisfação, é atribuída uma nota que varia de 1 a 5. Estes valores foram adequados à escala de pesos proposta, conforme apresentado no Quadro 4.

Após a tabulação dos dados da pesquisa, utilizou-se a estatística descritiva, em que, para a distribuição simétrica de dados foi utilizada a média, já que representou a maioria dos dados. Foi utilizada a lógica *Fuzzy* para atribuir um valor de adequabilidade em todo o polígono analisado, visto que na pesquisa de opinião não houve questões específicas para cada via existente na área urbana do câmpus universitário analisado, e também não foi identificado a qual edificação da área de estudo o usuário pertencia ou utilizava.

Quadro 4 – Pesos adotados para os critérios (fatores) “Sinalização viária para modos motorizados”.

Pesos	Sinalização viária
10	Excelente
$10 > \text{varia linearmente} > 7$	Bom
$7 \geq \text{varia linearmente} > 5$	Regular
$5 \geq \text{varia linearmente} > 2$	Ruim
$2 \geq \text{varia linearmente} \geq 0$	Muito ruim

Fonte: Próprio autor.

Nota: Peso 10: excelente; Peso 7: bom; Peso 5: regular; Peso 2: ruim e Peso 0: muito ruim

Quanto maior a satisfação do usuário, melhor a condição da sinalização viária para os modos motorizados. O valor de adequabilidade igual a 10 corresponde à condição excelente, considerando-se adequabilidade igual a zero para condição muito ruim de sinalização viária das vias analisadas na área de estudo.

7.2.1.2.5 Fragmentação físico-territorial

A fragmentação físico-territorial é um critério (restrição) e se limita à parcela de terra contínua, do total da área urbanizada do câmpus universitário analisado, que não é dividida por infraestruturas para transportes motorizados, como vias de trânsito rápido (rodovias, vias expressas e vias arteriais), vias para transporte ferroviário (ainda que desativadas) ou qualquer outra barreira física, natural ou construída, que acarrete em descontinuidade.

Após levantamento de campo na área urbana do câmpus universitário analisado, foram detectadas as barreiras físicas, naturais ou construídas, a saber: 1 (uma) ferrovia desativada (0,0076km²), 2 (duas) rodovias sob jurisdições estadual e federal (0,0278km²), 5 lagoas (0,1473km²) e 29 áreas de florestas (7,6071km²). Algumas distâncias foram estendidas devido à impossibilidade ou dificuldade de suas transposições por pedestres e veículos motorizados e não motorizados. Essas áreas totalizam 7,79km², o que corresponde a 48,34% da área total do câmpus universitário analisado.

7.2.1.3 Índice de mobilidade urbana sustentável proposto

O Quadro 5 apresenta os critérios (fatores) e os métodos de avaliação utilizados para a geração de mapas de adequabilidade.

Quadro 5 – Métodos de avaliação para a geração de mapas de adequabilidade dos critérios (fatores), utilizando a lógica *Fuzzy*.

	Crítérios (Fatores)	Métodos de avaliação
1	Densidade viária	Aplicação de peso a todo o polígono
2	Grau de conectividade	Aplicação de peso a todo o polígono
3	Vias pavimentadas	Polígono de <i>Thiessen</i>
4	Sinalização viária para modos motorizados	Aplicação de peso a todo o polígono

Fonte: Próprio autor.

Após a ponderação de cada critério (fator), utilizou-se o método de Combinação Linear Ponderada (*Weighted Linear Combination - WLC*), para gerar o mapa de adequabilidade do índice de mobilidade urbana sustentável, em função das infraestruturas para transportes motorizados existentes na área urbana do campus universitário analisado. A partir dos mapas de adequabilidade dos critérios (fatores), foram quantificados os números de pessoas e as áreas atingidas pelas condições determinadas para cada critério (fator), permitindo a mensuração da influência de cada critério (fator) na determinação do mapa de adequabilidade do índice de mobilidade urbana sustentável.

A implementação do método WLC foi feita a partir da média ponderada dos pesos aplicados aos critérios (fatores) analisados. Os pesos aplicados aos quatro critérios (fatores) para a realização da análise multicritério são apresentados no Quadro 6.

Quadro 6 – Pesos adotados para os critérios (fatores) analisados na pesquisa.

	Crítérios (Fatores)	Pesos propostos
1	Densidade viária	0,28
2	Grau de conectividade	0,26
3	Vias pavimentadas	0,24
4	Sinalização viária para modos motorizados	0,22
	Total	1,00

Fonte: Próprio autor.

A hierarquia de pesos foi dada em função da relevância dos critérios (fatores) em relação às interferências das infraestruturas para o atendimento necessário aos transportes motorizados. O critério (fator) de maior importância foi a “Densidade viária”, visto que quanto maior a extensão das vias abertas para a circulação de veículos motorizados, mais fácil será a movimentação veicular na área urbana do câmpus universitário analisado. Em sequência, tem-se o critério (fator) “Grau de conectividade”, que representa a possibilidade de deslocamentos menores, visto que, as distâncias se tornam menores quanto maior é a ligação entre as vias. Será considerado como critério (fator) de menor importância a “Sinalização viária para modos

motorizados”, visto que funciona como um elemento complementar, visando o bom uso das infraestruturas disponíveis para os transportes motorizados.

Após definição de pesos para os critérios (fatores) apresentados no Quadro 6, calculou-se o valor do índice para a mobilidade urbana sustentável em função das infraestruturas disponíveis para transportes motorizados, conforme a Equação 1.

$$\begin{aligned} \text{Índice de} \\ \text{mobilidade urbana} \\ \text{sustentável} = & \{[(\textit{Critério 1}) * 0,28] + [(\textit{Critério 2}) * 0,26] + [(\textit{Critério 3}) * 0,24] + \\ & [(\textit{Critério 4}) * 0,22]\} * (\textit{Critério 5}) \quad \mathbf{(1)} \end{aligned}$$

Utilizando-se a combinação de critérios (fatores) ponderados e as restrições, em função do critério fragmentação físico-territorial da área de estudo, foi obtido o valor do índice de mobilidade urbana sustentável em função de infraestruturas disponíveis para transportes motorizados para a área urbana do câmpus universitário analisado.

Foi disponibilizado pela Administração Superior da Universidade Federal de Viçosa o número de usuários (professores, técnicos-administrativos e estudantes) locados em cada prédio da área urbana do câmpus universitário de Viçosa, para o primeiro semestre do ano de 2017. Com relação aos estudantes, foi disponibilizada a grade horária semanal das aulas, do primeiro semestre de 2017, para que fosse possível identificar a ocupação de cada prédio da área de estudo. Para esses prédios, utilizou-se o número máximo de alunos por hora, de segunda-feira a sexta-feira, o qual foi somado ao número de professores e técnicos-administrativos.

Com o auxílio do *software* ArcGis versão 10.5, este número foi inserido em cada um dos pontos representativos dos prédios na base cartográfica georreferenciada da área de estudo, com a finalidade de estimar a população de usuários em cada intervalo de peso atribuído aos critérios (fatores) analisados. O somatório da população de usuários dos diversos prédios da área urbana do câmpus universitário analisado foi de 9.484 pessoas.

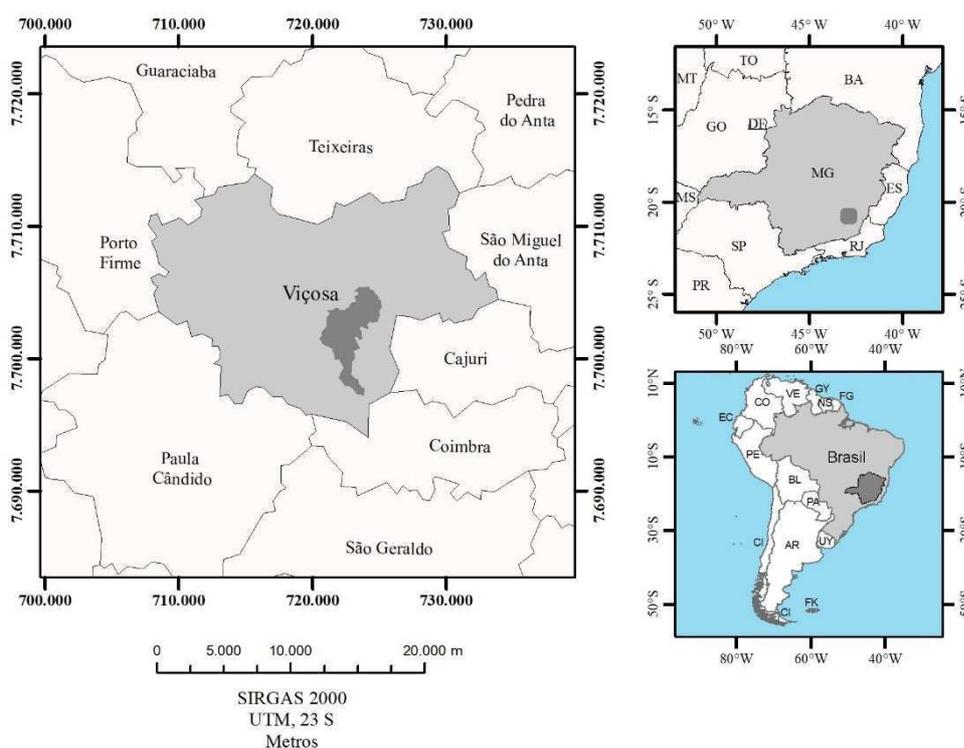
Desta forma, foi possível, nos mapas de adequabilidade de cada critério (fator), verificar a população que está compreendida entre os pesos com valores entre 7 e 10, cujo intervalo foi entendido como faixa de influência ótima, de acordo com o proposto por Veiga (2004) e Cury (2007). Além de possibilitar a comparação das populações atendidas pelos diversos critérios (fatores) analisados no estudo proposto, bem como no mapa final de adequabilidade para o índice de mobilidade urbana sustentável em função das infraestruturas disponíveis para transportes motorizados.

7.3 Experimento

7.3.1 Área para aplicação piloto do método proposto

O câmpus Viçosa da Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizado no município de Viçosa, estado de Minas Gerais, Brasil, foi escolhido como área de estudo, o qual é apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Próprio autor.

Em 2016, Viçosa contava com uma população de 77.863 habitantes (IBGE, 2016). A Universidade apresenta importante papel no município e na região, tendo em seu corpo social aproximadamente 25% da população do município. Com relação às suas coordenadas geográficas, situa-se no paralelo de $20^{\circ}45'S$ e no meridiano de $42^{\circ}52'W$. A referida instituição de ensino superior possui uma área de 1.611,30ha ($16,113\text{km}^2$) e quadro social de 22.359 pessoas (UFV, 2016).

Este número representa os corpos discente, docente, técnico-administrativo e funcionários de empresas terceirizadas que prestam serviços à universidade, somados aos corpos discente, docente e técnico-administrativo de duas escolas de nível médio que estão

localizadas no espaço físico do câmpus universitário, a saber, o Colégio de Aplicação da Universidade Federal de Viçosa (COLUNI) e a Escola Estadual Effie Rolfs. A Universidade possui cinco pontos de acesso, os quais interligam o câmpus com o meio externo, representado pela cidade de Viçosa e pelas rodovias sob jurisdições federal e estadual (BR-120 e MG-280, respectivamente).

7.3.2 Pesquisa exploratória

Para a pesquisa de opinião realizada no câmpus, foi utilizada a amostra mínima, calculada a partir do corpo social total do câmpus Viçosa da UFV. Os números de discentes, docentes e funcionários encontram-se no Quadro 7.

Quadro 7 – Corpo social do câmpus Viçosa da UFV.

Classe	Quantidade por classe
Ensino Médio e Técnico	18.184
Graduação	
Pós-Graduação (<i>Stricto Sensu</i>)	
Pós-Graduação (<i>Lato Sensu</i>)	
Corpo Docente	1.064
Corpo Técnico-Administrativo	2.163
Terceirizados	948
TOTAL	22.359

Fonte: UFV (2016).

A partir das informações contidas no Quadro 7, buscou-se estabelecer uma amostra significativa para as análises propostas no estudo. Nesse sentido, com o número da população definido, determinou-se o tamanho da amostra com um erro amostral e grau de confiança pré-determinados. Assim sendo, o nível de confiabilidade adotado foi de 95% e o erro amostral de 5%. Neste caso, a amostra mínima foi de 378 pessoas, conforme detalhado a seguir, a partir da Equação 2 (TRIOLA, 2013):

Cálculo da amostra mínima para população finita

$$n = \frac{Z^2 \sigma^2 N}{(N-1) \cdot \epsilon^2 + Z^2 \sigma^2} \quad (2)$$

Sendo:

N: número de elementos da população

n: número de elementos da amostra

ϵ : erro permissível

σ : desvio padrão populacional

Z: obtido através da tabela normal em função do nível de significância

Tem-se:

$N = 22.359$ (Quadro 7)

$\varepsilon = 5\%$

$Z = 1,96$ (da tabela de distribuição normal tendo: $\alpha = 5\%$; $(1-\alpha) = 95\%$)

$\sigma^2 = p \cdot q$, onde: $p + q = 1$. Então $\sigma^2 = p(1 - p)$ onde p é a proporção

$p = 50\% = 0,5$

Substituindo na Equação 2:

$$n = \frac{1,96^2 * 0,5 (1 - 0,5) * 22.359}{(22.359 - 1) * (0,05)^2 + 1,96^2 0,5 (1 - 0,5)}$$

$$n = 377,70 = 378 \text{ pessoas}$$

Atendendo às porcentagens do Quadro 7, obteve-se a quantidade de pessoas a serem entrevistadas para atendimento à amostra mínima de cada segmento, conforme apresentado na Tabela 1. Os questionários foram aplicados entre os meses de abril e junho de 2017.

Tabela 1 – Amostra mínima para pesquisa de opinião no câmpus Viçosa da UFV.

Classe	Quantidade por classe	% do corpo social	Amostra mínima
Ensino Médio e Técnico			
Graduação	18.184	81,33	304
Pós-Graduação (<i>Stricto Sensu</i>)			
Pós-Graduação (<i>Lato Sensu</i>)			
Corpo Docente	1.064	4,76	19
Corpo Técnico-Administrativo	2.163	9,67	38
Terceirizados	948	4,24	17
TOTAL	22.359	100	378

Fonte: Próprio autor.

7.3.3 Resultados e discussões

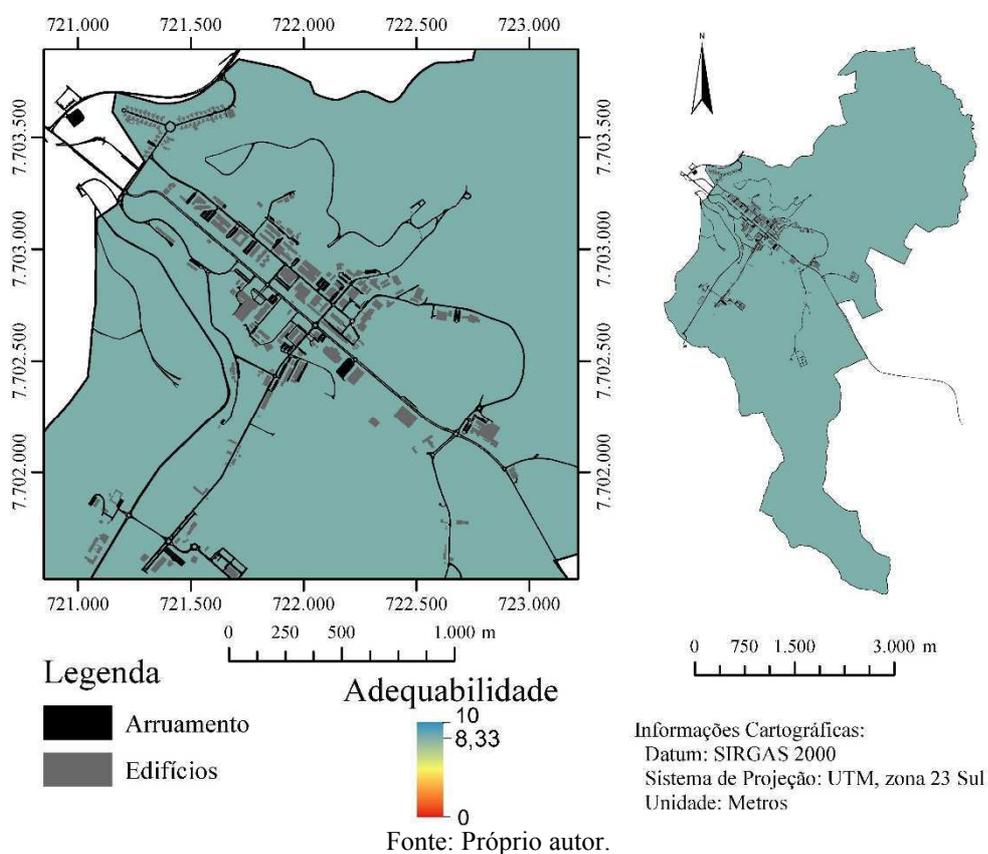
7.3.3.1 Densidade viária

Na área urbana do câmpus universitário analisado foram mensurados 141 trechos viários, dos quais 71 são trechos de vias asfaltadas, que totalizam 26,65km, e 70 são trechos de vias não asfaltadas a saber: 0,80km com bloquete, 0,39km com concreto e 38,83km de vias com revestimento primário. A extensão de vias dentro do câmpus universitário totaliza 66,67km, ocupando uma área de 0,04km². Para a área total do câmpus universitário Viçosa da UFV, de 16,113km², foram descontadas as áreas de fragmentação físico-territorial, que totalizam 7,79km², restando, desta forma, 8,32km² de área urbanizada.

A razão encontrada entre a extensão de vias e a área urbanizada do câmpus universitário fornece o valor da densidade viária de $8,01\text{km}/\text{km}^2$. Interpolando o valor encontrado no Quadro 1, obtém-se o peso 8,33 numa escala de 0 a 10, que foi aplicado na área urbana do câmpus universitário Viçosa da UFV.

De acordo com a Figura 3, a população atingida por este critério abrange toda a população da área urbanizada do câmpus Viçosa da UFV, ou seja, 9.484 pessoas, para o peso com valor de 8,33.

Figura 3 – Mapas de adequabilidade para o critério (fator) “Densidade viária”.



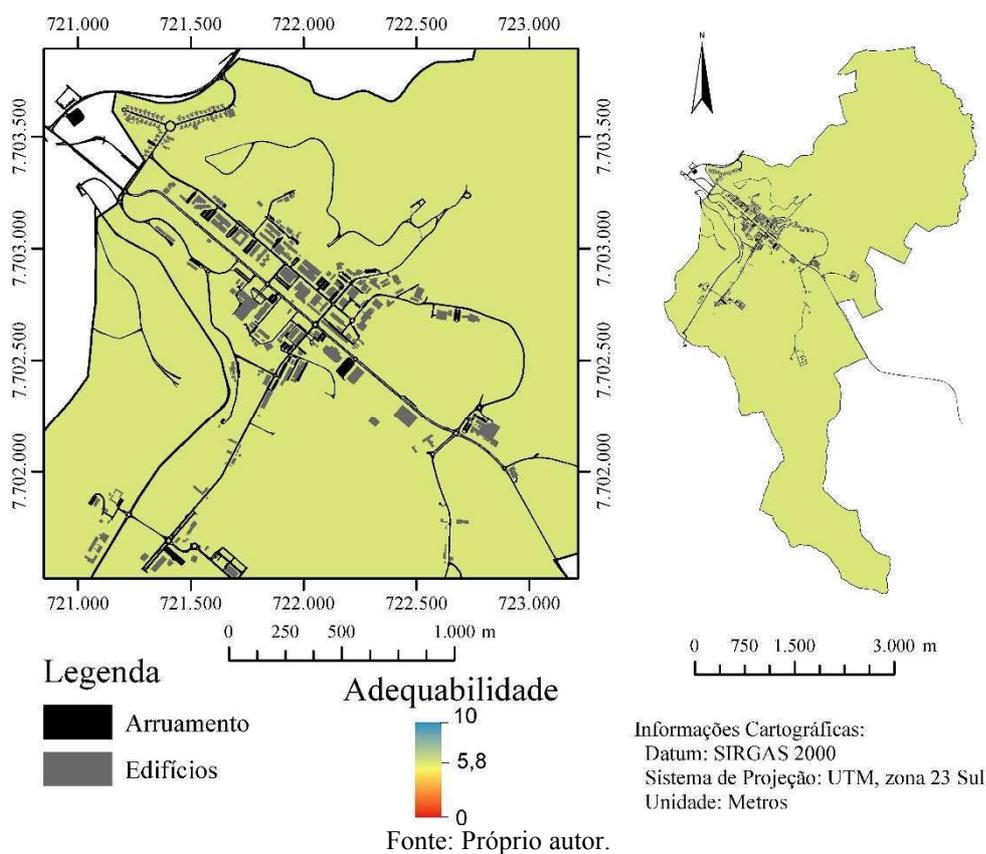
A partir dos valores de densidade viária apresentados no estudo para algumas cidades brasileiras, percebe-se que o índice de adequabilidade determinado para o critério (fator) demonstra uma boa distribuição de vias por quilômetro quadrado. Áreas onde a densidade viária é elevada apresentam maior acessibilidade. Isso pode ser verificado pelas extensas avenidas que cruzam o câmpus em todos os sentidos, sendo cinco as principais: Avenida Peter Henry Rolfs, Avenida da Agronomia, Avenida Purdue, Via Lagos, Via Alternativa 1 e Vila Giannetti.

7.3.3.2 Grau de conectividade

Através de levantamentos realizados em campo e da base cartográfica georreferenciada da área de estudo, obtiveram-se 156 nós gerados na área urbanizada do câmpus Viçosa da UFV. Conforme o lançamento do *grid* de 300x300m, verificou-se 535 nós gerados nesta área. Foram subtraídas da área urbanizada as restrições representadas pelo critério fragmentação físico-territorial.

A conectividade viária do câmpus em análise foi de 0,29. Interpolando os valores apresentados no Quadro 2, foi encontrado o peso 5,80, em uma escala de 0 a 10. De acordo com o apresentado na Figura 4, a população atingida por este critério abrange toda a população da área urbanizada do câmpus Viçosa da UFV, que é equivalente a 9.484 pessoas.

Figura 4 – Mapa de adequabilidade para o critério (fator) “Grau de conectividade”.



O índice de adequabilidade determinado para este critério (fator) demonstra que o número de cruzamentos existentes está abaixo do considerado ideal, que atende a pelo menos 50% dos nós gerados pelo *grid* de 300x300m, o que faz com que alguns caminhos tenham suas distâncias aumentadas quando se utiliza o transporte motorizado. Um dos fatores que diminui ainda mais

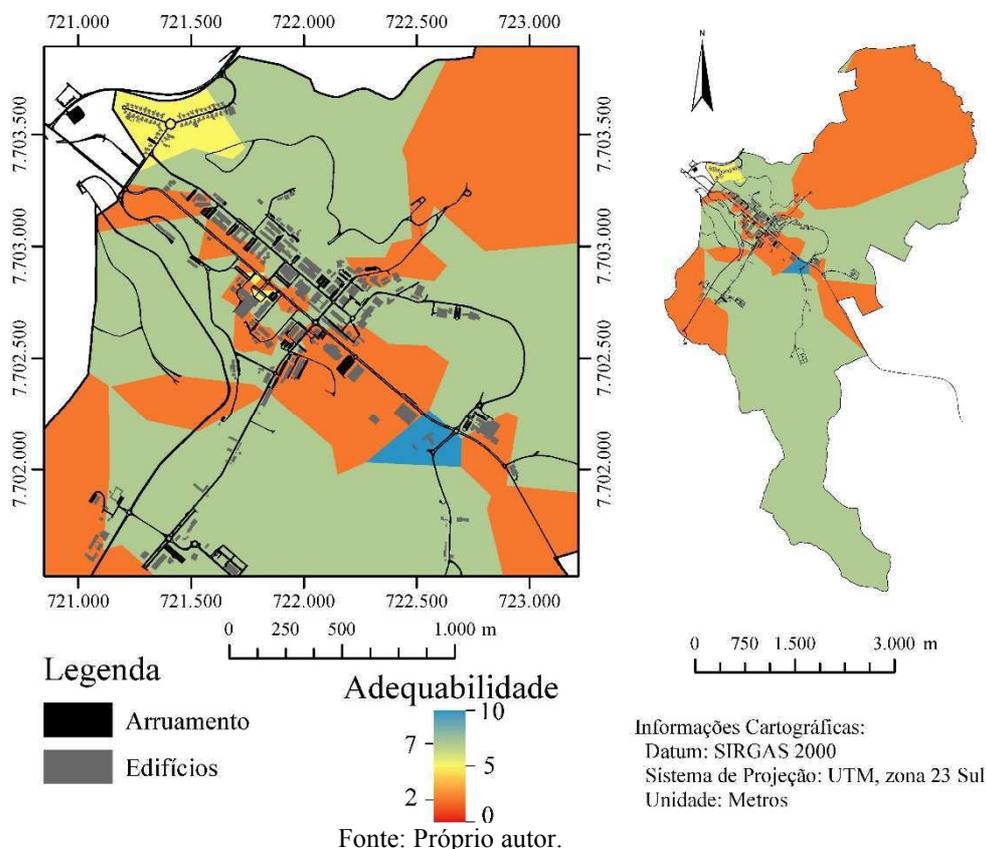
a conectividade do câmpus Viçosa da UFV é a linha férrea que corta o câmpus em toda sua extensão, aumentando as distâncias de transposição para veículos motorizados. A Avenida Peter Henry Rolfs, a Avenida Purdue e a Via Lagos têm poucas ligações entre si, devido à presença da linha férrea entre as duas primeiras e das lagoas entre a primeira e terceira.

7.3.3.3 Vias pavimentadas

Existem na área urbanizada do câmpus universitário analisado 27,84km de vias pavimentadas. Tais informações subsidiaram a elaboração do mapa de adequabilidade para esse critério (fator), conforme apresentado na Figura 5. Conforme constatado *in loco*, a área de estudo possui calçadas em boas condições de mobilidade e acessibilidade para pedestres.

Observou-se que a extensão de vias pavimentadas, consideradas com nível de adequabilidade entre 7 e 10, pavimentadas com asfalto, existentes na área urbana do câmpus universitário analisado atende a uma população de 7.133 pessoas, o que corresponde a 75,21% da população que utiliza os diversos prédios da área de estudo, abrangendo uma área de 9,7615km². Esta área contempla as principais edificações do câmpus, o que facilita a movimentação de veículos motorizados. As principais vias do câmpus possuem pavimento em asfalto, sendo que a Avenida Peter Henry Rolfs possui canteiro central em toda a sua extensão, o que aumenta a condição de segurança tanto para os veículos motorizados quanto para os pedestres que a atravessam por faixas elevadas para pedestres.

Figura 5 – Mapa de adequabilidade para o critério (fator) “Vias pavimentadas”.

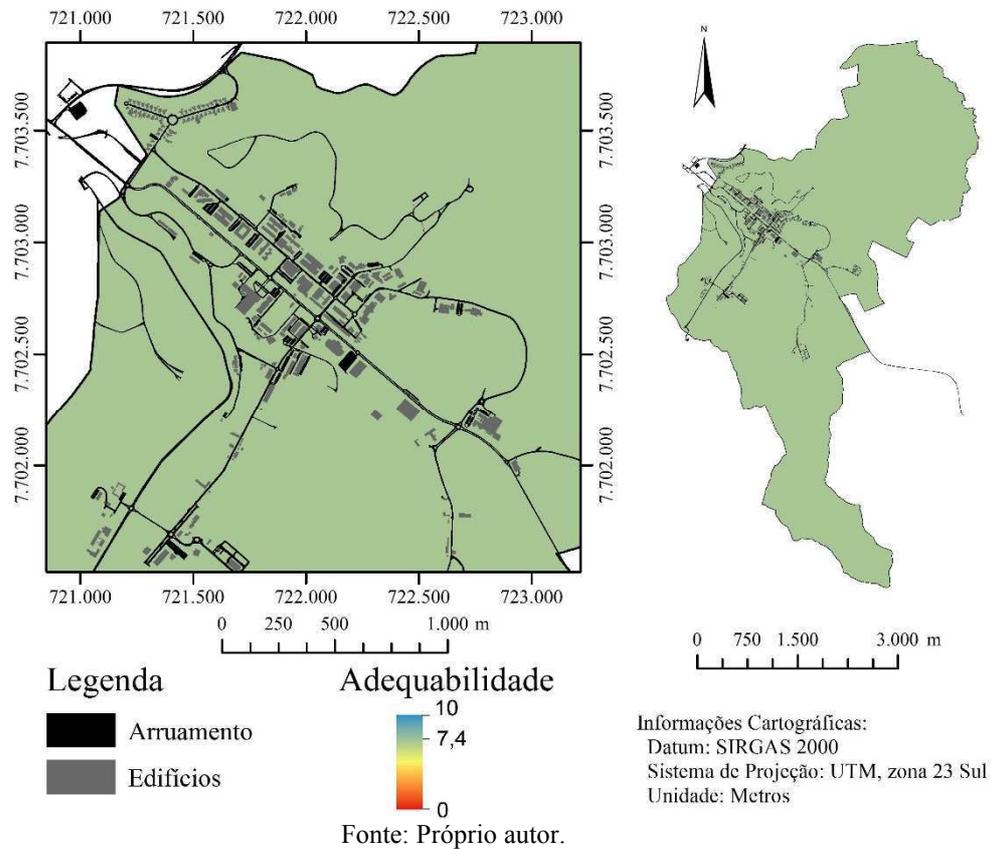


7.3.3.4 Sinalização viária para modos motorizados

Após a tabulação da pesquisa de opinião (Apêndice F) realizada no câmpus universitário, o valor médio obtido por meio das respostas dos questionários aplicados foi de 74,0%, que corresponde a uma boa satisfação do usuário. Após interpolação dos valores apresentados no Quadro 3, o valor do peso obtido para esse critério (fator) foi de 7,4, numa escala de 0 a 10, conforme apresentado na Figura 6.

De acordo com a Figura 6, a população atingida por este critério (fator) abrange toda a população que utiliza os diversos prédios da área urbana do câmpus universitário analisado, o que corresponde a 9.484 pessoas. O índice de adequabilidade encontrado demonstra que os usuários do câmpus analisado avaliaram como suficientes as condições da sinalização viária para modos motorizados. O câmpus universitário analisado possui sinalizações de trânsito horizontal e vertical (regulamentação e advertência) em boas condições e bem distribuídas em suas principais vias, de acordo com o Código de Trânsito Brasileiro.

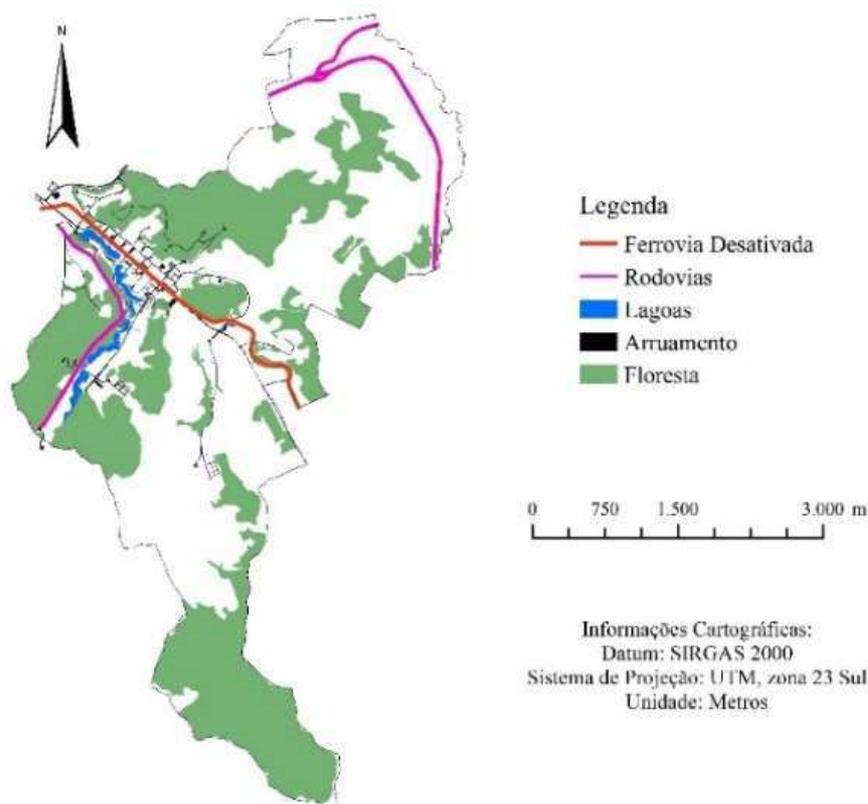
Figura 6 – Mapa de adequabilidade para o critério (fator) “Sinalização viária para modos motorizados”.



7.3.3.5 Fragmentação físico-territorial

A Figura 7 apresenta as barreiras físicas, naturais ou construídas, existentes no câmpus universitário analisado.

Figura 7 – Mapa de restrições para o critério “Fragmentação físico-territorial”.



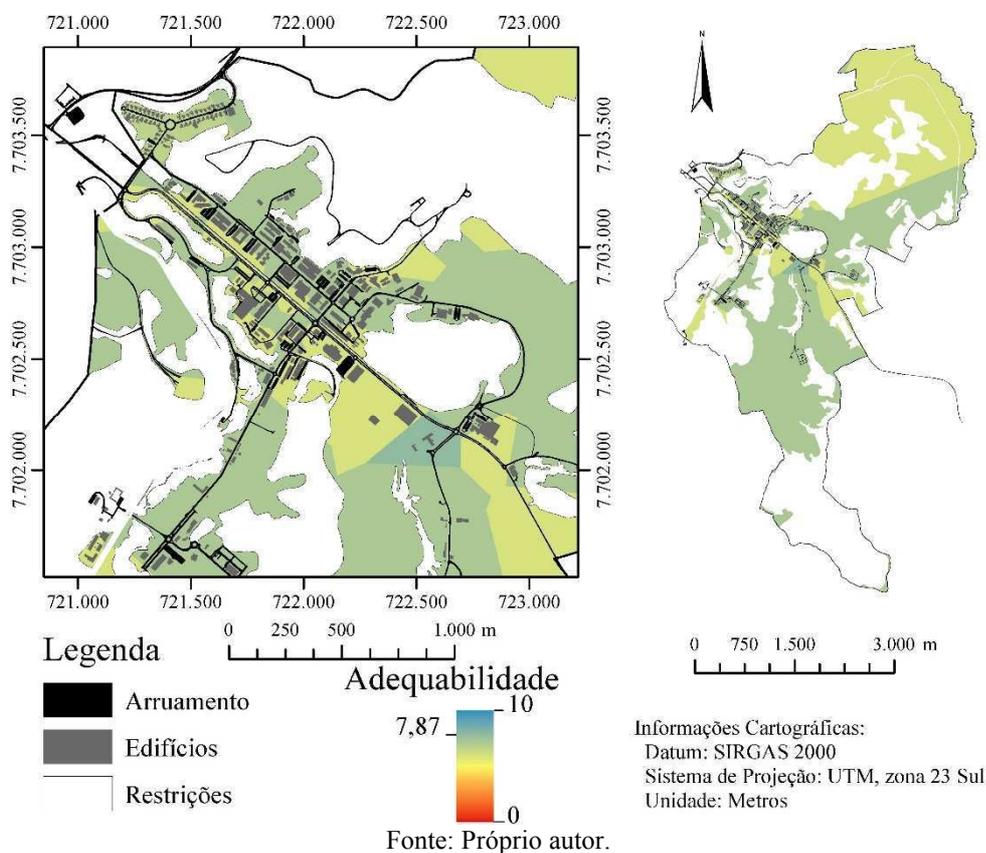
Fonte: Próprio autor.

7.3.3.6 Mapa do índice de mobilidade urbana sustentável em função de infraestruturas para transportes motorizados

A combinação linear ponderada dos quatro critérios (fatores) com o critério (restrição) é apresentada no mapa de adequabilidade do índice de mobilidade urbana sustentável em função da análise de infraestruturas para transportes motorizados, apresentado na Figura 8.

Na escala de adequabilidade utilizada na análise dos critérios (fatores) avaliados nesse estudo, a nota máxima obtida para o câmpus universitário analisado foi de 7,87, numa escala de 0 a 10. A população atingida pela melhor condição de infraestrutura para transportes motorizados foi de 7.133 pessoas, e compreende uma área de 9,7615km² que abrange, em sua maioria, as áreas próximas à Avenida Peter Henry Rolfs, ao longo de toda a sua extensão.

Figura 8 – Mapa de adequabilidade para o índice de mobilidade urbana sustentável para o câmpus universitário analisado.



7.4 Conclusões

Em relação ao método proposto para cálculo do índice de mobilidade urbana sustentável, em função de análises de infraestruturas para transportes motorizados para câmpus universitário, foi possível identificar, através de mapas de adequabilidade gerados, os critérios (fatores) mais críticos e, conseqüentemente, a identificação de possíveis pontos de melhoria. Nesse sentido, o método proposto se mostrou adequado para ser replicado em outras instituições.

De acordo com o método utilizado, dentre os critérios analisados aquele que se mostrou mais crítico foi o critério (fator) grau de conectividade, por ter apresentado índice de adequabilidade baixo, dificultando a circulação de veículos motorizados, o que ocorre principalmente pela presença das lagoas e da linha férrea desativada. O critério (fator) densidade viária apresentou alto índice de adequabilidade, o que demonstra uma boa distribuição de vias no câmpus analisado. De acordo com o resultado da pesquisa de opinião

aplicada, a sinalização viária implantada atende às expectativas dos usuários da área de estudo. Já o mapa do critério (fator) vias pavimentadas demonstra áreas com baixa adequabilidade, as quais se traduzem em áreas com restrições para edificações.

A confiabilidade dos resultados encontrados é um fator relevante, visto que o diagnóstico realizado para as condições relacionadas às infraestruturas para os transportes motorizados foi obtido diretamente a partir de levantamentos em campo. O mapa temático que retrata o índice de adequabilidade encontrado, com valor 7,87, numa escala de 0 a 10, demonstra as boas condições dessas infraestruturas para o câmpus universitário analisado.

REFERÊNCIAS

- BENINI, L. C.; SILVA, I. N.; CAGNON, J. A. Uso de um sistema de inferência fuzzy na determinação da densidade do solo. In: DINCON'2008 - 7º Brazilian Conference on Dynamics, Control and Applications, 2008, Presidente Prudente – SP. **Anais...** Presidente Prudente, 2008.
- CARVALHO, H. H. S. de; SANTOS, A. B. P. S. dos. Aplicação de índice de mobilidade urbana sustentável na Universidade Federal do Maranhão – campus Bacanga. In: 32º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET, 2018, Gramado - RS. **Anais...** Gramado, 2018.
- CEVADA, C. M.; COSTA, A. O potencial da bicicleta para o campus I da UFPB. In: XXVIII ANPET - Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2014, Curitiba - PR. **Anais...** Curitiba: ANPET, 2014.
- CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO (CONTRAN). **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito**. Sinalização horizontal / Contran-Denatran. Brasília: 2014. Volume V.
- CURY, M. V. Q. **Método para avaliar a percepção do usuário sobre a qualidade de sistemas de transporte urbano sobre trilhos com utilização da tecnologia neuro-fuzzy**. Transportes, 2007. v. XV, n.1, p. 7-15.
- EASTMAN, J. R. Decision support: decision strategy analysis. In: Clark University (Ed.). **Idrisi 32 release 2: Guide to GIS and image processing**. Worcester: Clark Labs, 2001. 2, 22.
- FERREIRA, M. A. G.; SANCHES, S. P. Identification of potential cyclists in a university campus. In: XIX - PANAM Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito, Transporte y Logística, 2016, Cidade do México. **Anais...** Cidade do México: 2016.
- GABRIELLI, S.; FORBES, P.; JYLHÄ, A.; WELLS, S.; SIRÉN, M.; HEMMINKI, S.; NURMI, P.; MAIMONE, J.; MASTHOFF, J.; JACUCCI, G. **Design challenges in motivating change for sustainable urban mobility**. [S. l.]: Computers in Human Behavior, 2014. 41, 416-423.

GAION, P. P. **Diretrizes de planejamento e projeto urbano sustentável de campi universitários: o caso da UFSCar.** 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013. 255 f.

GUERREIRO, T. de C. M.; STEIN, P. P.; SILVA, A. N. R. Potencial de uma infraestrutura cicloviária para diferentes usuários de um pólo gerador de viagens: o caso de um campus universitário. In: XXVII ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2013, Belém – PA. **Anais...** Belém: ANPET, 2013.

GOMES, L. D. S.; BORGES, A. M.; RABELO, E. S.; PINHEIRO, A. M. G. S. Circulação de veículos no entorno do acesso principal ao campus universitário do Guamá, Belém – PA. In: Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito e VII Exposição Internacional de Transporte e Trânsito, 2011, Rio de Janeiro – RJ. **Anais...** Rio de Janeiro: 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades@:** Minas Gerais – Viçosa. Brasília, DF: IBGE, 2016.

LAUTSO, K.; SPIEKERMANN, K.; WEGENER, M.; SHEPPARD, I.; STEADMAN, P.; MARTINO, A.; DOMINGO, R.; GAYDA, S. **PROPOLIS:** Planning and research of policies for land use and transport for increasing urban sustainability. Final Report second edition, 2004. Disponível em: http://www.iee.library.eu/images/all_ieelibrary_docs/229_propolis.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2018.

NERI, H. C. F. R. **Transporte não motorizado: o uso da bicicleta e seu potencial no entorno da Universidade Federal do Amazonas- UFAM.** 2014. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, 2014. 97 f.

NERIS, D. F.; BERNARDIS, M. A. P.; PLAZA, C. V.; FERRAZ, A. C. P. Estratégias de Análise da Acessibilidade no Campus Centro Politécnico da UFPR. In: XXVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2014, Curitiba – PR. **Anais...** Curitiba: ANPET, 2014.

OLIVEIRA, A. M.; SILVA, A. N. R. da. Construção e validação de um índice para o planejamento da mobilidade com foco em grandes polos geradores de viagens. In: XXVIX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2015, Ouro Preto – MG. **Anais...** Ouro Preto: ANPET, 2015.

PEREIRA, A. P. B.; PEREIRA, O. C. M. A mobilidade urbana e os espaços de convivência no campus universitário de Palmas da UFT. In: III Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo - ENANPARQ, 2014, São Paulo - SP. **Anais...** São Paulo, 2014.

PIRES, L. S. **Mobilidade sustentável em campi universitários: um estudo de caso na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – campus Seropédica – Rio de Janeiro.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. 152 p.

SILVA, A. N. R.; COSTA, M. S.; MACEDO, M. H. Integrated planning, spatial organization and sustainable mobility in the context of Brazilian cities. In: **City and Movement - Mobilities and Interactions in Urban Development**. [S. l.]: IPEA/ITDP, 2016.

SILVA, A. N. R.; COSTA, M. S.; MACEDO, M. H. **Multiple views of sustainable urban mobility**: The case of Brazil. *Transport Policy*, 2008. v. 15(6), p. 350-360.

SILVA, A. N. R.; RAIA JUNIOR, A. A.; BOCANEGRA, C. W. R. Exploring an ANN modeling approach that combines accessibility and mobility into a single trip potential index for strategic planning. In: Annual meeting of the Transportation Research Board, 2002, Washington, D.C. - EUA. **Anais...** Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2002.

SINGH, Y. J.; LUKMAN, A.; HE, P.; FLACKE, J.; ZUIDGEEST, M.; MAARSEVEEN, M. Planning for Transit Oriented Development (TOD) using a TOD index. In: Transport Research Board 94th Annual Meeting, 2015, Washington D.C. **Anais...** Washington D.C., 2015.

STEIN, P. P.; SILVA, A. N. R. da. **Barriers, motivators and strategies for sustainable mobility at the USP campus in São Carlos, Brazil**. *Case Studies on Transport Policy*. São Carlos, 2018. v. 6, p. 329-335. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2017.11.007>. Acesso em: 15 set. 2018.

TAN, F. M.; SILVA, A. N. R. da; SOUZA, P. B. de (2019). Indicadores comuns para avaliação da mobilidade sustentável em distintos campi universitários. In: 33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2019, Balneário Camboriú – SC. **Anais...** Balneário Camboriú: ANPET, 2019.

TRIOLA, M. F. **Introdução à Estatística**. 11 edição. São Paulo: Livros técnicos e científicos, 2013.

UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME (UN-HABITAT). **Streets as public spaces and drivers of urban prosperity** – Un habitat for a better urban future. Nairobi: 2013. Disponível em: <https://unhabitat.org/books/streets-as-public-spaces-and-drivers-of-urban-prosperity/>. Acesso em: 15 ago. 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (UFV). **UFV em números 2016 (Ano base 2015)**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2016.

VEIGA, F. J. P. **Técnica Neuro-Fuzzy para a avaliação do desempenho operacional de rodovias**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes), Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2004.

8 CONCLUSÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O objetivo principal deste trabalho foi desenvolver um método para o cálculo dos índices de mobilidade urbana sustentável para câmpus universitários, utilizando a análise multicritério e o sistema de informação geográfica. O processo de construção de índices capazes de auxiliar no planejamento e gestão da mobilidade urbana sustentável desses locais, conforme proposto neste trabalho, teve como ponto inicial o levantamento de dados em campo, seguido de uma pesquisa de opinião. Considerando-se que a pesquisa foi realizada por meio da internet e de forma presencial, atendendo à amostra mínima de acordo com o corpo social da instituição, ressalta-se que essa forma de identificação dos fatores relevantes para o objeto de estudo agrega um caráter participativo ao processo de planejamento proposto.

Um fator relevante com relação ao método proposto é a confiabilidade dos resultados encontrados. A representação dos resultados em mapas temáticos possibilitou identificar, nas diversas regiões do câmpus universitário investigado, quais os locais críticos que necessitam de maior atenção. A influência dos critérios (fatores), por meio dos pesos atribuídos, teve importância significativa no mapa final do índice de mobilidade urbana sustentável para cada um dos estudos. Dentre as pesquisas realizadas, percebe-se que o índice que obteve menor nota foi o relacionado aos modos não motorizados. Para as particularidades do objeto de investigação, isto se deve claramente à ausência de infraestruturas cicloviárias no câmpus. As infraestruturas para os deslocamentos às edificações obtiveram maior nota.

Dentre as limitações encontradas durante a realização de todo o estudo, citam-se:

- ✓ baixo número de referências em estudos relacionados à mobilidade urbana sustentável em câmpus universitários;
- ✓ dificuldade em estabelecer pesos para os critérios (fatores) de cada estudo, visto que, no trabalho utilizado como referência, a distribuição de pesos para cada índice se dava de forma igual entre todos os critérios.

Para que tal prática seja amplamente difundida para quaisquer universidades, são necessárias ações apoiadas em informações atualizadas sobre os padrões de viagens de todo o corpo social, além do apoio na meta para a mobilidade sustentável que se queira atingir.

Defende-se aqui que o índice de mobilidade urbana sustentável possa constituir uma ferramenta de suporte à proposição de políticas públicas, para o direcionamento de ações e, principalmente, para a identificação de áreas críticas. Sua aplicação pode se dar em toda a área do câmpus universitário ou em regiões específicas, permitindo uma avaliação comparativa e o

desenvolvimento de ações apropriadas, visando a melhoria das condições de mobilidade em termos sociais, econômicos e ambientais.

Para os próximos trabalhos, recomenda-se:

- ✓ explorar, de forma mais ampla, o uso dos índices como ferramenta para a simulação de cenários futuros, por meio de metas de planejamento e análise da viabilidade a partir dos resultados encontrados;
- ✓ a elaboração de um plano de mobilidade sustentável para o câmpus Viçosa da UFV, a partir dos resultados encontrados;
- ✓ a utilização dos índices como ferramentas de monitoramento da eficácia das medidas de intervenções;
- ✓ a construção e a validação de um modelo de índices de mobilidade sustentável para outros câmpus, a fim de analisar as similaridades entre os modelos obtidos e a possibilidade de determinação de uma estrutura comum a este tipo de Polo Gerador de Viagem (PGV);
- ✓ a construção e a validação de um índice de mobilidade sustentável, a partir dos procedimentos descritos neste trabalho, para outros tipos de PGVs de grande porte, como condomínios ou grandes empresas, a fim de avaliar a aplicabilidade e os possíveis desdobramentos destes procedimentos;
- ✓ a reaplicação periódica do índice, com nova coleta de dados, em um mesmo câmpus para monitoramento das condições de mobilidade ao longo do tempo;
- ✓ o refinamento do método de avaliação proposto em relação aos critérios escolhidos, valores de referência e pesos;
- ✓ a utilização de outros tipos de funções *Fuzzy*, além da função linear.

Como propostas para trabalhos futuros, sugerem-se, ainda, estudos específicos, em outros câmpus universitários, sobre possibilidades de melhoria da mobilidade urbana sustentável sob a ótica das diretrizes do Plano Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU), que inclui parâmetros de acessibilidade, equidade modal e sustentabilidade.

APÊNDICE F – Questionário: Mobilidade urbana no câmpus Viçosa da Universidade Federal de Viçosa



QUESTIONÁRIO: MOBILIDADE URBANA NO CÂMPUS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (FORM. 6)

1. Identificação: _____

2. Sexo: Feminino Masculino

3. Idade: Menos de 18 anos
 18-24 anos
 25-30 anos
 31-39 anos
 40-49 anos
 50-59 anos
 60 anos ou mais

4. Grupo social: Aluno secundarista
 Aluno Graduação
 Aluno Pós-Graduação
 Técnico-Administrativo
 Docente
 Tercerizado

5. Qual o local de moradia?

- | | | | |
|---|---|--|--|
| <input type="checkbox"/> UFV (alojamento) | <input type="checkbox"/> Acamari | <input type="checkbox"/> Arduíno Bolivar | <input type="checkbox"/> Barrinha |
| <input type="checkbox"/> Bela Vista | <input type="checkbox"/> Belvedere | <input type="checkbox"/> Betânia | <input type="checkbox"/> Boa Vista |
| <input type="checkbox"/> Bom Jesus | <input type="checkbox"/> Cachoeira de S. Cruz | <input type="checkbox"/> Centro | <input type="checkbox"/> Cidade Nova |
| <input type="checkbox"/> Clélia Bernardes | <input type="checkbox"/> Criciúma | <input type="checkbox"/> Estrelas | <input type="checkbox"/> Fátima |
| <input type="checkbox"/> Floresta | <input type="checkbox"/> Fuad Chequer | <input type="checkbox"/> Inácio Martins | <input type="checkbox"/> Inconfidentes |
| <input type="checkbox"/> Jardins do Vale | <input type="checkbox"/> JK | <input type="checkbox"/> João Braz | <input type="checkbox"/> João Mariano |
| <input type="checkbox"/> Julia Mollá | <input type="checkbox"/> Liberdade | <input type="checkbox"/> Lourdes | <input type="checkbox"/> Maria Eugênia |
| <input type="checkbox"/> Monte Rei | <input type="checkbox"/> Monte Verde | <input type="checkbox"/> Morada do Sol | <input type="checkbox"/> Morada do Sol II |
| <input type="checkbox"/> Nova Era | <input type="checkbox"/> Nova Viçosa | <input type="checkbox"/> Novo Silvestre | <input type="checkbox"/> Parque do Ipê |
| <input type="checkbox"/> Paraíso | <input type="checkbox"/> Quintas G. Ferreira | <input type="checkbox"/> Ramos | <input type="checkbox"/> Recanto da Serra |
| <input type="checkbox"/> Romão dos Reis | <input type="checkbox"/> Rua Nova | <input type="checkbox"/> Sagrada Família | <input type="checkbox"/> Sagrado Coração |
| <input type="checkbox"/> Santa Clara | <input type="checkbox"/> Santo Antônio | <input type="checkbox"/> São José | <input type="checkbox"/> São José do Triunfo |
| <input type="checkbox"/> São Sebastião | <input type="checkbox"/> Serra Verde | <input type="checkbox"/> Silvestre | <input type="checkbox"/> União |
| <input type="checkbox"/> Vale do Sol | <input type="checkbox"/> Vale Verde | <input type="checkbox"/> Vau Açú | <input type="checkbox"/> Vereda do Bosque |
| <input type="checkbox"/> Vila Alves | <input type="checkbox"/> Violeira | | |
| <input type="checkbox"/> Cidades circunvizinhas | (_____) | | |
| <input type="checkbox"/> Outros: | (_____) | | |

6. Sinalização viária horizontal/vertical

Como o Sr.(a) classifica a sinalização viária horizontal/vertical do câmpus Viçosa da UFV?	
PARA OS MODOS MOTORIZADOS DE TRANSPORTE (ônibus, caminhão, carro de passeio, moto, e etc.)	PARA OS MODOS NÃO MOTORIZADOS DE TRANSPORTE (pedestres, bicicletas, e etc.)
<input type="checkbox"/> Excelente (5)	<input type="checkbox"/> Excelente (5)
<input type="checkbox"/> Boa (4)	<input type="checkbox"/> Boa (4)
<input type="checkbox"/> Regular (3)	<input type="checkbox"/> Regular (3)
<input type="checkbox"/> Ruim (2)	<input type="checkbox"/> Ruim (2)
<input type="checkbox"/> Muito ruim (1)	<input type="checkbox"/> Muito ruim (1)

7. Grau de satisfação

Qual sua avaliação em relação ao sistema de transporte público urbano no campus Viçosa da UFV:
<input type="checkbox"/> Excelente (5)
<input type="checkbox"/> Bom (4)
<input type="checkbox"/> Regular (3)
<input type="checkbox"/> Ruim (2)
<input type="checkbox"/> Muito ruim (1)
<input type="checkbox"/> Não utilizo (0)

8. Identificação do modo de transporte: transporte público x transporte privado

De que forma você chega ao câmpus Viçosa da UFV:
<input type="checkbox"/> a pé
<input type="checkbox"/> de automóvel na condição de MOTORISTA
<input type="checkbox"/> de automóvel na condição de CARONA
<input type="checkbox"/> de bicicleta
<input type="checkbox"/> de motocicleta
<input type="checkbox"/> de ônibus
<input type="checkbox"/> mora no alojamento da UFV
<input type="checkbox"/> outros: especificar _____

9. Qual a forma que você mais utiliza para se deslocar até o câmpus Viçosa da UFV?

Automóvel (motorista)
 Automóvel (carona)
 Ônibus
 Motocicleta
 A pé
 Bicicleta

9.1. Com que frequência

1 a 2
 2 a 3
 3 a 4
 4 a 5
 5 a 6
 6 a 7
 (dias na semana)?

10. Você deixaria de utilizar o meio de transporte motorizado ou a pé, caso o câmpus Viçosa da UFV possuísse uma infraestrutura apropriada para bicicletas?

- Com certeza sim Provavelmente sim Não sei Provavelmente não Com certeza não

11. Por que você não utiliza bicicleta?

- Clima Custo de aquisição Ausência de infraestrutura cicloviária
 Falta de hábito Falta prática Ausência de estacionamentos

12. Como você avalia as seguintes questões, considerando os ciclistas, na área do câmpus Viçosa da UFV?

- | | | | | | |
|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| a. Segurança no tráfego | <input type="checkbox"/> Excelente | <input type="checkbox"/> Boa | <input type="checkbox"/> Moderada | <input type="checkbox"/> Ruim | <input type="checkbox"/> Péssima |
| b. Segurança Pessoal | <input type="checkbox"/> Excelente | <input type="checkbox"/> Boa | <input type="checkbox"/> Moderada | <input type="checkbox"/> Ruim | <input type="checkbox"/> Péssima |
| c. Estacionamento | <input type="checkbox"/> Excelente | <input type="checkbox"/> Boa | <input type="checkbox"/> Moderada | <input type="checkbox"/> Ruim | <input type="checkbox"/> Péssima |
| d. Vestiário | <input type="checkbox"/> Excelente | <input type="checkbox"/> Boa | <input type="checkbox"/> Moderada | <input type="checkbox"/> Ruim | <input type="checkbox"/> Péssima |
| e. Infraestrutura cicloviária | <input type="checkbox"/> Excelente | <input type="checkbox"/> Boa | <input type="checkbox"/> Moderada | <input type="checkbox"/> Ruim | <input type="checkbox"/> Péssima |
| f. Rotatórias/Paradas de ônibus | <input type="checkbox"/> Excelente | <input type="checkbox"/> Boa | <input type="checkbox"/> Moderada | <input type="checkbox"/> Ruim | <input type="checkbox"/> Péssima |

APÊNDICE I – Formulário para pesquisa de capacidade de interseção

 UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA						PESQUISA DE CAPACIDADE DE INTERSEÇÃO - FORM. 9					
LOCAL:											
Hora início:				Data:				Tempo () Bom () Chuvoso () Instável			
Hora término:				Dia da semana:							
Hora	Automóvel	Moto	Ônibus	Caminhão	Unidade de Veículo de Passeio (UVP)						
6:00 - 6:15											
6:15 - 6:30											
6:30 - 6:45											
6:45 - 7:00											
7:00 - 7:15											
7:15 - 7:30											
7:30 - 7:45											
7:45 - 8:00											
8:00 - 8:15											
8:15 - 8:30											
8:30 - 8:45											
8:45 - 9:00											
12:00 - 12:15											
12:15 - 12:30											
12:30 - 12:45											
12:45 - 13:00											
13:00 - 13:15											
13:15 - 13:30											
13:30 - 13:45											
13:45 - 14:00											
17:00 - 17:15											
17:15 - 17:30											
17:30 - 17:45											
17:45 - 18:00											
18:00 - 18:15											
18:15 - 18:30											
18:30 - 18:45											
18:45 - 19:00											
19:00 - 19:15											
19:15 - 19:30											
19:30 - 19:45											
19:45 - 20:00											

Fonte: Próprio autor.

APÊNDICE K – Formulário para pesquisa de ocupação visual para automóveis e utilitários

 UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA		PESQUISA DE OCUPAÇÃO VISUAL - FORM. 11		
		FICHA DE OCUPAÇÃO VISUAL: AUTOMÓVEL + UTILITÁRIO		
ENDEREÇO:			DATA:	PESQUISADOR:
HORÁRIO	1 PESSOA	2 PESSOAS	3 PESSOAS	4 OU MAIS PESSOAS
6:00 - 6:15				
6:15 - 6:30				
6:30 - 6:45				
6:45 - 7:00				
7:00 - 7:15				
7:15 - 7:30				
7:30 - 7:45				
7:45 - 8:00				
8:00 - 8:15				
8:15 - 8:30				
8:30 - 8:45				
8:45 - 9:00				
12:00 - 12:15				
12:15 - 12:30				
12:30 - 12:45				
12:45 - 13:00				
13:00 - 13:15				
13:15 - 13:30				
13:30 - 13:45				
13:45 - 14:00				
17:00 - 17:15				
17:15 - 17:30				
17:30 - 17:45				
17:45 - 18:00				
18:00 - 18:15				
18:15 - 18:30				
18:30 - 18:45				
18:45 - 19:00				
19:00 - 19:15				
19:15 - 19:30				
19:30 - 19:45				
19:45 - 20:00				

Fonte: Próprio autor.

ANEXO A – Documentos complementares



UNIVERSIDADE FEDERAL DE
VIÇOSA - UFV



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: INDICADORES DE MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL: ESTUDO DE CASO PARA O CAMPUS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Pesquisador: TACIANO OLIVEIRA DA SILVA

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 64758117.9.0000.5153

Instituição Proponente: Departamento de Engenharia Civil

Patrocinador Principal: Universidade Federal de Viçosa

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 1.983.901

Apresentação do Projeto:

Dada a magnitude territorial do campus da Universidade Federal de Viçosa e sua diversidade funcional (moradias, comércio, serviços, equipamentos públicos e, obviamente, espaços de estudo), os autores afirmam que a universidade em si é um polo gerador de viagens. E, nesse sentido, pretendem investigar o que chamam sua mobilidade urbana sustentável. Entrevistarão, assim, 378 indivíduos, lhes aplicando um questionário de múltipla escolha. Esperam, com esse esforço, subsidiar futuramente Planos de Mobilidade Municipal e para a própria UFV.

Objetivo da Pesquisa:

O principal objetivo do trabalho, como relatado pelos pesquisadores, é: "Desenvolver um modelo para avaliação e monitoramento da mobilidade urbana sustentável no campus da Universidade Federal de Viçosa". Ele é composto de objetivos específicos, como: exploração bibliográfica sobre os conceitos selecionados a priori, diagnóstico das condições de mobilidade urbana do campus, realização de um plano amostral, etc..

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Os autores ponderam que os participantes poderão se sentir constrangidos, intimidados ou até mesmo cansados – devido à extensão do questionário. Asseguram, desse modo, que os participantes poderão interromper a entrevista a qualquer momento.

Endereço: Universidade Federal de Viçosa, Avenida PH Rolfs s/n, Edifício Arthur Bernardes
Bairro: Campus Universitário CEP: 36.570-000
UF: MG Município: VIÇOSA
Telefone: (51)3894-2402 E-mail: cep@ufv.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DE
VIÇOSA - UFV



Continuação do Parecer: 1.993.9011

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Os autores são zelosos ao evidenciar alguns dos riscos a que estarão expostos os participantes. Estão igualmente preocupados em esclarecer formas de minimizá-los. Dessa maneira, o atual projeto de investigação atende os critérios éticos para o desenvolvimento da pesquisa de campo.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

APRESENTAM:

- a) folha de rosto: em conformidade;
- b) projeto de pesquisa: em conformidade;
- c) cronograma: em conformidade;
- d) TCLE: em conformidade;
- f) formulário on-line: em conformidade;
- g) roteiros das entrevistas e questionários: em conformidade.

Recomendações:

Quando da coleta de dados, o TCLE deve ser elaborado em duas vias, rubricado em todas as suas páginas e assinado, ao seu término, pelo convidado a participar da pesquisa ou responsável legal, bem como pelo pesquisador responsável, ou pessoa(s) por ele delegada(s), devendo todas as assinaturas constar na mesma folha.

Não é necessário apresentar os TCLEs assinados ao CEP/UFV. Uma via deve ser mantida em arquivo pelo pesquisador e a outra é do participante da pesquisa.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Aprovado

Considerações Finais a critério do CEP:

Ao término da pesquisa é necessário apresentar, via notificação, o Relatório Final (modelo disponível no site www.cep.ufv.br). Após ser emitido o Parecer Consubstanciado de aprovação do Relatório Final, deve ser encaminhado, via notificação, o Comunicado de Término dos Estudos para encerramento de todo o protocolo na Plataforma Brasil.

Projeto aprovado autorizando o início da coleta de dados com os seres humanos a partir da data de emissão deste parecer.

Endereço: Universidade Federal de Viçosa, Avenida PH Rolfs s/n, Edifício Arthur Bernardes
Bairro: Campus Universitário CEP: 36.570-900
UF: MG Município: VIÇOSA
Telefone: (31)3899-2482 E-mail: cep@ufv.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DE
VIÇOSA - UFV



Continuação do Parecer: 1.903.901

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PE_INFORMAÇÕES_BASICAS_DO_PROJETO_836441.pdf	09/03/2017 13:52:05		Aceito
Outros	Carta_Resposta.odt	09/03/2017 13:51:39	TACIANO OLIVEIRA DA SILVA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_modificado.docx	09/03/2017 13:50:16	TACIANO OLIVEIRA DA SILVA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.docx	09/03/2017 13:50:08	TACIANO OLIVEIRA DA SILVA	Aceito
Outros	Questionario_modificado.docx	09/03/2017 13:49:59	TACIANO OLIVEIRA DA SILVA	Aceito
Outros	Questionario.docx	09/03/2017 13:49:41	TACIANO OLIVEIRA DA SILVA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto.docx	09/03/2017 11:38:31	TACIANO OLIVEIRA DA SILVA	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_rosto_assinada.pdf	13/02/2017 21:56:35	TACIANO OLIVEIRA DA SILVA	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

VICOSA, 27 de Março de 2017

Assinado por:
Maria da Conceição Aparecida Pereira Zolinier
(Coordenador)

Endereço: Universidade Federal de Viçosa, Avenida PH Rolfs s/n, Edifício Arthur Bernardes
Bairro: Campus Universitário CEP: 36.570-000
UF: MG Município: Viçosa
Telefone: (31)3809-3492 E-mail: cep@ufv.br



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
REITORIA

Campus Universitário – Viçosa, MG – 36570-000 – Tel (31) 3899-2811 – Fax (31) 3899-2108 – E-mail: reitoria@ufv.br

DECLARAÇÃO

Declaramos, para os devidos fins, que a doutoranda SHEILA ELISÂNGELA MENINI, matrícula 84425, possui autorização desta Instituição para realizar, junto às suas unidades administrativas, o projeto de pesquisa intitulado *Indicadores de Mobilidade Urbana Sustentável: Estudo de Caso para o Campus da Universidade Federal de Viçosa*, a ser desenvolvido sob orientação do Prof. Taciano Oliveira da Silva, no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFV.

O acesso às referidas unidades administrativas condiciona-se à prévia autorização dos respectivos dirigentes.

Viçosa, 22 de setembro de 2016.


Nilda de Fátima Ferreira Soares
Reitora