

ATRIBUTOS DE REDE PARA PEDESTRES COM RESTRIÇÕES DE MOBILIDADE EM UM MODELO PARA AVALIAÇÃO DA ACESSIBILIDADE

NETWORK ATTRIBUTES FOR PEDESTRIANS WITH MOBILITY CONSTRAINTS IN A MODEL FOR ACCESSIBILITY EVALUATION

Suzana Andrade Valverde Lima Correia¹, Antônio Néelson Rodrigues da Silva²

¹Mestre em Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, SP, Av. Trabalhador São-carlense, 400 Centro, São Carlos, SP
E-mail: suzyvalverde@gmail.com

²Professor Titular do Departamento de Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, SP, Av. Trabalhador São-carlense, 400 Centro, São Carlos, SP
E-mail: anelson@sc.usp.br

RESUMO

A partir do pressuposto de que os atributos qualitativos das vias para pedestres têm um impacto direto sobre os níveis de acessibilidade do local em que estas vias formam uma rede, o objetivo principal da pesquisa foi incorporar medidas qualitativas na configuração da rede de vias de pedestres que compõem um modelo de acessibilidade, a fim de avaliar o impacto das mudanças propostas nos resultados do modelo. Um modelo multicritério, baseado em SIG, foi tomado como referência para as alterações propostas, que foram testadas em um estudo de caso, que envolveu os seguintes procedimentos: coleta de dados; cálculo da acessibilidade com o modelo original; inserção de atributos qualitativos na rede do modelo e cálculo da acessibilidade após as mudanças; comparação dos resultados obtidos com os dois modelos; e avaliação de níveis de acessibilidade relativa. Os resultados confirmaram que as medidas qualitativas afetam os valores de acessibilidade, se comparados com os resultados do modelo que considera apenas as distâncias entre origens e destinos como impedâncias. Além disso, o grupo de deficientes visuais foi o mais prejudicado no caso estudado, o que, de certa forma, contraria a percepção geral de que os cadeirantes são os mais prejudicados em se tratando de acessibilidade.

Palavras-chave: acessibilidade, pedestres com restrição de mobilidade, avaliação multicritério, análise qualitativa de vias para pedestres, câmpus universitário.

ABSTRACT

This study is based on the assumption that qualitative attributes of pedestrians' pathways have a direct impact on the accessibility levels of the site in which these paths form a network. Starting from this hypothesis, the aim of this research was to incorporate qualitative measures in the configuration of a network of pedestrians' pathways that form an accessibility model, in order to evaluate the impact of the proposed changes on the model outcomes. An existing GIS-based multicriteria accessibility model was taken as a reference for the proposed changes, which were tested in a case study with the following procedures: data collection; calculation of the accessibility values with the original model; insertion of qualitative attributes in the model network and calculation of the accessibility values after the changes; comparison of the results obtained with the two models; and evaluation of relative accessibility levels. The results confirmed that the qualitative measures do affect the accessibility values, if compared to the values calculated with the model that considers only the distances between origins and destinations as impedances. In addition, the group of visually-impaired users had the worst accessibility conditions, what somehow contradicts the general assumption that wheelchair users constitute the group most affected by low accessibility conditions.

Keywords: accessibility, pedestrians with mobility constraints, multicriteria evaluation, qualitative analysis of pedestrians' pathways, university campus.

1 – INTRODUÇÃO

Em conjunto com as diversas iniciativas que vêm surgindo para tornar os ambientes mais acessíveis e para identificar locais que precisam de intervenção, algumas metodologias foram criadas para mensurar a acessibilidade. Modelos de avaliação multicritério, que permitem a geração de índices baseados em uma rede de caminhos para pedestres, estão entre estas abordagens. Adicionalmente, quando em um Sistema de Informações Geográficas (SIG), os cenários de avaliação podem ser visualizados em forma de mapas, o que auxilia na análise para a tomada de decisão por planejadores dos sistemas de transportes.

Vários índices de acessibilidade encontrados na literatura frequentemente partem do pressuposto que os pedestres escolhem rotas de forma a minimizar as distâncias entre origens e destinos. Contudo, as condições inadequadas das calçadas restringem o seu uso por alguns pedestres, fazendo com que o esforço para o deslocamento seja aumentado, pela realização dos desvios dos obstáculos ou na escolha por um caminho sem obstáculos, ainda que mais longo.

O objetivo principal desta pesquisa foi incorporar medidas qualitativas na configuração de redes e avaliar o seu impacto em uma medida da acessibilidade, visando melhor representar o caso de usuários com restrições de

mobilidade. Parte-se do pressuposto que os aspectos qualitativos de uma rede de pedestre influenciam a acessibilidade, sendo necessária uma variação dos atributos da rede nas medidas de acessibilidade existentes.

Para verificar a hipótese de que a incorporação das características qualitativas da rede pode interferir, de maneira positiva ou negativa, nas medidas de acessibilidade, deve ser feita uma comparação de resultados obtidos com e sem a análise dos atributos. Para testar esta abordagem, baseada em uma comparação, foi feita uma avaliação em um câmpus universitário.

2 – REVISÃO DA LITERATURA

Três aspectos principais são abordados nesta seção, que contém uma breve revisão dos conceitos básicos empregados na metodologia. O primeiro reúne aspectos relacionados à acessibilidade e restrição de mobilidade, o segundo aborda o modelo de avaliação multicritério e o terceiro trata da avaliação da qualidade dos caminhos para pedestres.

2.1 Acessibilidade e restrição de mobilidade

Segundo a cartilha Brasil Acessível, do Ministério das Cidades (BRASIL, 2006), cidadão é o indivíduo que possui obrigações e direitos perante a sociedade. Possui, como principais direitos, o acesso à moradia, à saúde, à educação, ao trabalho, ao lazer e à circulação. Esses direitos devem contemplar a totalidade dos indivíduos que compõem a sociedade; entretanto, há uma parcela da população que sofre com a exclusão social, principalmente pela dificuldade de locomoção e movimentação pela cidade e demais ambientes de uso comum.

Apesar dos termos mobilidade e acessibilidade serem amplamente utilizados, podem ter várias interpretações, que dependem do universo técnico abordado (GIMENES, 2005). O conceito de mobilidade pode ser entendido como a habilidade de movimentar-se, em decorrência de condições físicas e econômicas. Já o conceito de acessibilidade envolve diferentes áreas do conhecimento, e está vinculado à mobilidade com autonomia, que visa garantir a todas as pessoas o direito de se locomover, independente da sua condição de mobilidade. Isso requer que todo ambiente os receba de forma adequada para o processo de inclusão social.

No Brasil, o índice de pessoas que possuem algum tipo de deficiência é de 24% (IBGE, 2012). Dentro do grupo que apresenta deficiência, 18% possui deficiência visual e 7% deficiência motora, que são grupos estudados neste trabalho e, por sua vez, aumentam a preocupação com a acessibilidade.

As condições dos espaços de circulação destinados ao pedestre, como também a inexistência destes, constituem barreiras à mobilidade (DELGADO; NASCIMENTO; BAGGI, 2007). A falta de rebaixos de meio-fio corretos e a grande presença de obstáculos, muitas vezes constituídos por mobiliário urbano mal empregado, ainda dificultam a locomoção desses usuários pelos passeios (CRUZ; SANTOS, 2008).

Existem vários métodos, com parâmetros e critérios diferentes, para avaliar a qualidade da infraestrutura para pedestres. A metodologia para caracterizar o nível de serviço para os automóveis foi adaptada para as calçadas em alguns trabalhos (FRUIN, 1971a; TRB, 1985). Seguindo esta metodologia, outros parâmetros foram acrescentados, como anatomia humana e campo de visão (FRUIN, 1971b). Khisty (1995) e Ferreira e Sanches (2001) adotaram metodologias que avaliam os elementos qualitativos dos espaços para pedestres sob o ponto de vista dos usuários.

2.2 Modelo de avaliação multicritério

Outro modelo para avaliar a acessibilidade é o modelo de avaliação multicritério, que foi inicialmente aplicado por Mendes (2000), para avaliar a qualidade de vida, e por Ramos (2000) para avaliar a acessibilidade para a localização industrial. Em seguida foi utilizado para avaliar a acessibilidade em campi universitários em diversos trabalhos (RODRIGUES, 2001; RODRIGUES DA SILVA *et al.*, 2008; AGUIAR, 2010; SILVA; ANDRADE; RODRIGUES DA SILVA, 2011). Esse modelo também foi utilizado no setor de energia elétrica, como auxílio nas decisões de localização e instalação de novas usinas termoeletricas (ZAMBON *et al.*, 2005). Cambra (2012) utilizou técnicas de avaliação multicritério para desenvolver seu modelo de avaliação de caminhabilidade. Sisson, McClain e Tudor-Locke (2013) avaliaram a caminhabilidade em um câmpus universitário, com um método que avalia o ambiente construído.

Um modelo de avaliação multicritério permite avaliar níveis de acessibilidade considerando, por exemplo, os destinos para os quais as populações normalmente se deslocam (destinos-chave) e as impedências à mobilidade encontradas ao longo do percurso (LIMA *et al.*, 2002). No modelo admite-se que os destinos-chave funcionam como critérios na avaliação da acessibilidade e como possuem importâncias distintas, são traduzidas em contribuições diferenciadas no valor final do índice de acessibilidade. Para uma melhor compreensão dos critérios, os destinos podem ser agrupados segundo características comuns, que no caso de um câmpus podem ser grupos de funcionalidade, ou seja, grupo pedagógico, grupo de serviços e grupo de acessos.

Para que os valores das distâncias-custos possam ser agregados, é necessária a sua normalização (LIMA *et al.*, 2002). O processo de normalização é praticamente idêntico ao processo de *fuzzification*, segundo o qual um conjunto de valores pode ser convertido em uma escala comparável e expresso em uma escala normalizada (por exemplo, de 0 a 1).

Segundo Ramos (2000), a utilização de SIG para desenvolver análises espaciais complexas, por meio de operações lógicas e matemáticas sobre grande quantidade de informações, facilita a visualização dos resultados sob forma de imagens, podendo ser utilizada para auxiliar na avaliação multicritério.

2.3 Avaliação da qualidade dos caminhos de pedestres

Para Zobot (2013), instalações para pedestres devem acomodar muitos usos e tipos de usuários. Diferentes usos e usuários requerem diferentes medidas de espaço e devem obedecer aos requisitos da ABNT NBR 9050:2004.

Kockelman, Zhao e Blanchard-Zimmerman (2000) consideram que oito fatores influenciam na percepção de conforto para portadores de deficiência quando percorrem uma calçada, já Ferreira e Sanches (2005) adotaram cinco atributos como os principais fatores de influência para a locomoção de cadeirantes.

Características que são regulamentadas pela ABNT NBR 9050:2004 também são catalogadas como impedância, como a largura da via, o material do pavimento, obstruções no percurso, estado de conservação da calçada. Entretanto, as impedâncias são calculados de acordo a percepção dos usuários, conforme explanado no decorrer deste trabalho.

3 –METODOLOGIA

Com o propósito de incorporar medidas qualitativas na configuração de redes e avaliar o seu impacto em uma medida da acessibilidade foram adotados os seguintes procedimentos: coleta de dados; cálculo do índice de acessibilidade por meio da avaliação multicritério; incorporação de medidas qualitativas ao cálculo do índice de acessibilidade e cálculo da acessibilidade relativa entre os grupos de usuários com restrição de mobilidade, quando comparados ao grupo de usuários sem restrição.

3.1 Coleta de dados

A pesquisa é composta de uma avaliação multicritério e os critérios utilizados neste método dependem da avaliação da parte física, da caracterização dos usuários e, também, de suas percepções e preferências.

3.1.1 Levantamento físico

Devem ser obtidas informações sobre a localização de prédios existentes, prédios em construção e de futuras instalações. Também é necessária a identificação, no terreno, dos caminhos de pedestres, bem como das condições de cada trecho das vias.

3.1.2 Perfil dos usuários

Para esta etapa da pesquisa pode ser aplicado um questionário com os usuários que frequentam o local analisado. No caso de um câmpus universitário, a população considerada é composta de alunos de graduação e de pós-graduação, bem como de funcionários docentes e não docentes. O questionário deve enfatizar pontos sobre a caracterização geral dos usuários, suas percepções quanto ao espaço estudado e preferências quanto à locomoção.

3.2 Avaliação multicritério para o cálculo do índice da acessibilidade

O modelo utilizado, baseado em Rodrigues (2001) contribui para analisar os locais que apresentam problemas de circulação de pedestres, e isso envolve mais de um critério para ser avaliado e combinado. O procedimento para a Avaliação Multicritério proposto nesta pesquisa é uma Combinação Linear Ponderada (*Weighted Linear Combination – WLC*). Conforme Rodrigues (2001) e Aguiar (2010), para este trabalho, os critérios são o tempo de caminhada até os destinos-chave e os pesos atribuídos aos destinos-chave.

Para o desenvolvimento deste estudo foi utilizada uma rede de caminhos para pedestres, cadastrada em ambiente SIG, uma vez que o SIG é uma ferramenta eficiente para trabalhar grande quantidade de informações sobre o território, além de tornar possível visualizar os resultados obtidos em vários cenários, na forma de mapas.

A partir da rede pode ser criada uma matriz de menores caminhos, de cada nó para cada destino-chave. A matriz de menores caminhos pode ser então utilizada para calcular o tempo de percurso para cada grupo de usuários, com e sem restrição de mobilidade. Os tempos devem ser normalizados, considerando o tempo máximo aceito para caminhada no interior do câmpus (média ponderada dos tempos máximos informados no questionário mencionado na Seção 3.1.2). Para o segundo passo da avaliação multicritério devem ser utilizados os dados do questionário onde os usuários informam os destinos mais importantes, além de eleger a importância entre os grupos de funcionalidade considerados na análise.

O passo seguinte para a obtenção do índice de acessibilidade de um nó em cada grupo é a combinação dos critérios utilizados. Para cada grupo de funcionalidade é encontrado um índice para cada local i (Equação 1) e podem ser gerados os mapas temáticos dos grupos.

$$A_i^g = \sum_j f(C_{ij})w_j^g \quad (1)$$

Em que:

A_i^g : índice de acessibilidade de um local i para um determinado grupo de funcionalidade g ;

$f(C_{ij})$: função linear tempo-custo entre o local i e o destino-chave j (função do tempo normalizado);

w_j^g : peso do destino-chave j no grupo g .

A combinação é feita utilizando os pesos dos grupos de funcionalidade para a obtenção de uma média ponderada. Ao multiplicar o índice de cada grupo pelo peso obtido (Equação 2) e desenvolver a soma dos valores obtidos, encontra-se o valor do WLC. Com esses valores também podem ser gerados mapas temáticos representativos dos níveis de acessibilidade globais, ou seja, considerando os diferentes grupos de funcionalidade em uma só medida.

$$A_i = \sum_g (A_i^g)w_g \quad (2)$$

Em que:

A_i : Índice de acessibilidade global do local i ;

w_g : peso do grupo g .

Como discutido em Aguiar, Ramos e Rodrigues da Silva (2009), esse procedimento pode ser realizado para diferentes grupos de usuários, com diferentes condições e percepções do ambiente, por exemplo: cadeirantes, deficientes visuais, idosos e, também, usuários sem restrição de mobilidade.

3.3 Incorporação de medidas qualitativas ao cálculo do índice de acessibilidade

Outra parte do método para o cálculo de acessibilidade envolve a utilização de um índice que permita avaliar o desempenho da infraestrutura das calçadas e das faixas de travessias de pedestres, ou seja, um nível de serviço com enfoque nas expectativas e necessidades dos usuários, tenham eles restrições de mobilidade ou não. Para fins desta pesquisa foi adaptada a metodologia de Rotas

Acessíveis de Ferreira e Sanches (2005), que envolve as etapas detalhadas a seguir.

Primeiramente, devem ser avaliadas as condições das calçadas e travessias do espaço estudado, conforme os atributos escolhidos para a análise, de forma que se adequem ao ambiente estudado. Cada atributo possui características que são avaliadas em cada trecho, que recebem valores posteriormente normalizados em uma escala entre 0 e 1, em que 1 é a melhor situação.

O método de Rotas Acessíveis considera ainda uma ponderação dos atributos, de acordo com a percepção dos usuários. A ordem de importância dos atributos da calçada deve ser separada por grupo de usuários. Logo, os atributos recebem pesos diferentes conforme o tipo de restrição, gerando diferentes resultados no índice de qualidade das calçadas.

Os valores da avaliação dos atributos são utilizados para calcular, por meio da Equação (3), os índices de qualidade de cada trecho de calçada. Os valores identificados na avaliação física do câmpus não variam conforme os grupos.

$$IQ = \left[\begin{array}{l} P^s at^1 \left(\frac{at^1_1 l_1 + at^1_2 l_2 + \dots + at^1_n l_n}{L_i} \right) + P^s at^2 \left(\frac{at^2_1 l_1 + at^2_2 l_2 + \dots + at^2_n l_n}{L_i} \right) + \\ P^s at^3 \left(\frac{at^3_1 l_1 + at^3_2 l_2 + \dots + at^3_n l_n}{L_i} \right) + \dots + P^s at^x \left(\frac{at^x_1 l_1 + at^x_2 l_2 + \dots + at^x_n l_n}{L_i} \right) \end{array} \right] \quad (3)$$

Em que:

IQ_i : Índice de Qualidade do trecho de calçada i da rede;

$P^s at^x$: Peso obtido do atributo x , para cada grupo g de usuários classificados de acordo com o tipo de restrição de mobilidade;

at^x_n : Pontuação obtida pelo subtrecho n da calçada na avaliação técnica dos aspectos, para o atributo x ;

l_1, l_2, \dots, l_n : Subtrechos da calçada definidos de acordo com as características dos atributos;

L_i : Comprimento do trecho de calçada i da rede, $\Sigma (l_1 + l_2 + \dots + l_n)$.

A partir do resultado obtido para cada trecho da rede pode ser calculada uma impedância, proporcional ao índice de qualidade da calçada, onde o valor do índice de qualidade máximo ($IQ = 1$) pode ser considerado como uma impedância favorável ao deslocamento ($IMP = -0,10$). E o valor mínimo do índice de qualidade da calçada ($IQ = 0$) é considerado como uma impedância que dificulta ao máximo o deslocamento ($IMP = 1$). A impedância é inserida nos trechos da rede como um acréscimo ao tempo comum de deslocamento, e resulta no aumento do tempo para execução dos percursos.

Com os novos valores, o procedimento apresentado na Seção 3.2, que trata da Avaliação Multicritério, pode ser refeito para encontrar um novo índice de acessibilidade que considere medidas qualitativas na configuração da rede.

A partir dos resultados obtidos na aplicação dos dois modelos considerados pode ser realizada uma comparação dos resultados. Para esta comparação podem ser elaborados mapas e histogramas abordando os grupos de funcionalidade e os diversos grupos de usuários.

3.4 Acessibilidade relativa

Os índices de acessibilidade, com inserção de impedâncias adicionais, podem ser utilizados para encontrar valores de acessibilidade relativa, que tem como base o modelo desenvolvido por Aguiar (2010), que permite a obtenção de índices de acessibilidade utilizando uma componente relativa às características de indivíduos, quanto à sua capacidade de locomoção.

Para obter uma escala de níveis de acessibilidade dos espaços de pedestres, considera-se a mobilidade potencial dos grupos de usuários selecionados em relação a um fator de referência. É proposto que o índice seja definido como a porcentagem de acessibilidade que os usuários com alguma restrição apresentam em relação aos usuários sem restrição de locomoção.

A mobilidade potencial é relativa, pois representa o quanto um usuário com restrição consegue se deslocar em relação a uma pessoa sem restrição. A proposta de adoção deste grupo se justifica por admitir que pessoas sem restrição de mobilidade geralmente encontrem maior facilidade de deslocamento ao realizarem uma caminhada.

Como proposto por Aguiar (2010), a medida de mobilidade potencial não pode ser vista isoladamente, pois o resultado não representa um valor satisfatório para a

proposição de uma escala de nível de serviço, pois pode ser interpretado de forma inadequada, uma vez que dois valores iguais, mesmo muito próximos de zero, implicariam em 100% de mobilidade. Para resolver essa possibilidade é necessário combinar outra medida com a primeira.

Para combinar com a mobilidade potencial, a acessibilidade do grupo sem restrição deve ser normalizada, por meio de uma variação linear, com a finalidade de estabelecer uma medida relativa de acessibilidade. Os valores mínimo e máximo da normalização são 0 e 1, respectivamente.

O índice de acessibilidade relativa é determinado por meio da combinação de coordenadas de um espaço bidimensional, representado matematicamente pela equação (4):

$$A_{Ri}^u = \left(\frac{A_i^{srm} - A_{\min}^{srm}}{A_{\max}^{srm} - A_{\min}^{srm}}, \frac{A_i^u}{A_i^{srm}} \right) \quad (4)$$

Em que:

A_{Ri}^u : índice de acessibilidade relativa de um local i para o grupo u de usuários;

A_i^{srm} : índice de acessibilidade de um local i para pessoas sem restrição de mobilidade (srm);

A_{\max}^{srm} : valor máximo de acessibilidade para pessoas sem restrição de mobilidade;

A_{\min}^{srm} : valor mínimo de acessibilidade para pessoas sem restrição de mobilidade;

A_i^u : índice de acessibilidade de um local i para pessoas do grupo de usuários u ;

Aguiar (2010) definiu cinco faixas entre 0 e 1, nos dois eixos, que permitem obter níveis de serviços. Os níveis podem ser definidos como “A” a melhor situação e “E” a pior. A partir da diagonal são definidos os pontos de controle, onde são geradas as superfícies e os seus limites. O índice é obtido pelo par ordenado e o nível de serviço determinado pela localização nas superfícies geradas no gráfico.

4 – ANÁLISE DOS RESULTADOS

As análises desta seção foram realizadas a partir dos resultados obtidos com a aplicação dos procedimentos descritos na Seção 3 a um estudo de caso.

4.1 Levantamento físico do câmpus

A instituição objeto desta pesquisa foi o câmpus universitário da Universidade Federal de Sergipe (UFS), situado na cidade de São Cristóvão. No período analisado somava uma população de, aproximadamente, 24.000 usuários, dos quais 82% eram alunos de graduação, 8% alunos de pós-graduação, 3% docentes, 5% funcionários não docentes e 2% representam usuários com outro vínculo com a instituição.

Foram fornecidos, pela prefeitura do câmpus da UFS de São Cristóvão, mapas onde constavam os prédios existentes, os prédios em construção e as futuras instalações. Para este trabalho, também foi necessário o conhecimento dos caminhos de pedestres. Alguns trajetos eram mostrados no mapa, outros somente foram localizados com visitas em campo. Na realização das visitas, além da localização de caminhos de pedestres, foi realizado, também, um levantamento das condições de cada trecho de calçadas, por meio da análise de 9 atributos, conforme detalhado em Lima Correia (2015).

4.2 Aplicação de questionário

Para a execução desta pesquisa foi aplicado um questionário, por meio do qual foram realizadas perguntas que tratavam da caracterização dos usuários (vínculo, faixa etária, restrição de mobilidade, modo de deslocamento) e também das suas percepções e preferências (importância dos prédios, tempo que aceita caminhar dentro do câmpus, importância dos atributos das calçadas).

A aplicação resultou em 1.349 respostas, das quais 824 foram consideradas válidas por estarem totalmente respondidas. O resultado do cálculo da amostra mínima necessária para o estudo, com erro amostral de 4% e 95% de nível de confiança, resultou no número de 587 pessoas a serem investigadas, ou seja, número inferior ao número de respostas obtidas. Com o número de respostas obtidas, o erro reduziu para 3,36%.

4.3 Avaliação multicritério

Para o desenvolvimento deste estudo foi utilizada a rede viária de pedestres cadastrada no SIG *TransCAD*. A partir da rede foi criada uma matriz de menores caminhos entre os nós. A matriz de menores caminhos foi utilizada para calcular o tempo de percurso para cada grupo de usuários, com e sem restrição de mobilidade. Para encontrar os tempos de percurso foi necessário conhecer as velocidades médias dos usuários. As velocidades utilizadas foram obtidas em Aguiar (2010), que chegou nos valores utilizados por meio de testes com os grupos analisados. As velocidades foram 1,20 m/s para o cadeirante, 0,86 m/s para o deficiente visual, 1,19 m/s para o idoso e 1,38 m/s para os usuários sem restrição de mobilidade.

Para cada grupo, os tempos foram normalizados, considerando que o tempo máximo aceito para caminhada no interior do câmpus foi de 11,47 min (média ponderada dos tempos respondidos no questionário pelo número de indivíduos nos diferentes grupos de usuários). A normalização foi realizada por meio da função linear, onde foi atribuído valor 0 (zero) para o maior tempo e 1 (um) para o menor.

Para o segundo passo da avaliação multicritério foram utilizados os dados obtidos no questionário, nos trechos em que os usuários informaram os destinos mais importantes, além de eleger a importância entre os grupos de funcionalidade. O passo seguinte para a obtenção do índice de acessibilidade de um nó em cada grupo foi a combinação dos dois critérios utilizados, que foi feita a

partir da Equação (1), apresentada na Seção 3. Para cada grupo de funcionalidade foram encontrados índices e foram gerados os mapas temáticos para cada grupo de usuário.

Além dos cálculos realizados para os grupos de funcionalidade, foi executada uma combinação linear, conforme as importâncias atribuídas aos mesmos pelos usuários, para compor uma média ponderada. A combinação foi executada conforme a Equação (2), apresentada na Seção 3.

4.4 Incorporação de medidas qualitativas ao cálculo do índice de acessibilidade

Por meio da adaptação do modelo de Rotas Acessíveis de Ferreira e Sanches (2005) foram incorporadas as medidas qualitativas das calçadas na rede estudada. Este modelo envolve a identificação de um índice, onde foi avaliado o desempenho das calçadas e das faixas de travessias, de acordo com as necessidades dos indivíduos classificados de acordo com o tipo de restrição de mobilidade. Primeiramente, foram avaliadas as condições das calçadas e travessias do espaço estudado, conforme os atributos que foram escolhidos para a análise.

Cada atributo possui características que são avaliadas em cada trecho, em uma escala que variava de 0 a 5 ou de 0 a 2, onde 0 é a pior situação; contudo, esses valores foram normalizados para uma escala entre 0 e 1, em que 1 é a melhor situação.

A ordem de importância dos atributos da calçada foi separada por grupo de usuários. Logo, os atributos recebem pesos diferentes conforme o tipo de restrição, gerando diferentes resultados no índice de qualidade das calçadas. Foi estabelecido neste trabalho que as travessias não entram no cálculo do índice de qualidade da calçada (IQ) uma vez que a travessia foi avaliada como o atributo mais importante no trabalho original. O valor obtido na análise feita em campo já é considerado o valor final de IQ.

Os valores da avaliação dos atributos foram utilizados para calcular os índices de qualidade de cada trecho de calçada, por meio da Equação (3), apresentada na Seção 3. A Equação (3) foi adaptada para este trabalho, resultando na Equação (5). Cabe destacar que os pesos de cada atributo variam para cada grupo de usuários, de acordo com a sua percepção. Os pesos dos grupos utilizados na análise, obtidos no questionário, foram normalizados e são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Pesos dos atributos por grupo utilizados na análise

Tipo de Restrição	Cadeirantes	Visuais	Idosos	Sem restrição de mobilidade
Largura da calçada (Plar)	0,07	0,08	0,18	0,09
Conservação do piso (Pcon)	0,12	0,00	0,00	0,10
Perfil longitudinal (Pniv)	0,14	0,23	0,25	0,20
Material do pavimento (Pmat)	0,17	0,14	0,17	0,13
Proteção de intempéries (Ppro)	0,15	0,05	0,06	0,15
Iluminação (Pilu)	0,00	0,05	0,06	0,00
Presença de obstáculos (Pobs)	0,06	0,26	0,08	0,13
Piso tátil (Ptat)	0,15	0,17	0,19	0,13
Segurança (Pseg)	0,14	0,02	0,02	0,06

$$IQ = \left[\begin{array}{l} P^s lar \left(\frac{larl_1 + larl_2 + \dots + larl_n}{L_i} \right) + P^s con \left(\frac{conl_1 + conl_2 + \dots + conl_n}{L_i} \right) + P^s niv \left(\frac{nivl_1 + nivl_2 + \dots + nivl_n}{L_i} \right) + \\ P^s mat \left(\frac{matl_1 + matl_2 + \dots + matl_n}{L_i} \right) + P^s pro \left(\frac{prol_1 + prol_2 + \dots + prol_n}{L_i} \right) + P^s ilu \left(\frac{ilul_1 + ilul_2 + \dots + ilul_n}{L_i} \right) + \\ P^s obs \left(\frac{obsl_1 + obsl_2 + \dots + obsl_n}{L_i} \right) + P^s tat \left(\frac{tatl_1 + tatl_2 + \dots + tatl_n}{L_i} \right) + P^s seg \left(\frac{segl_1 + segl_2 + \dots + segl_n}{L_i} \right) \end{array} \right] \quad (5)$$

Em que:

IQ_i : Índice de Qualidade do trecho de calçada i da rede;

P^s atributo: Peso obtido do atributo, para cada grupo g de usuários, classificados de acordo com o tipo de restrição de mobilidade;

atributo $_n$: Pontuação obtida pelo subtrechon da calçada na avaliação técnica dos aspectos;

l_1, l_2, \dots, l_n : Subtrechos da calçada, definidos de acordo com as características dos atributos;

L_i : Comprimento do trecho de calçada i da rede, $\Sigma (l_1 + l_2 + \dots + l_n)$.

4.5 Comparação dos resultados

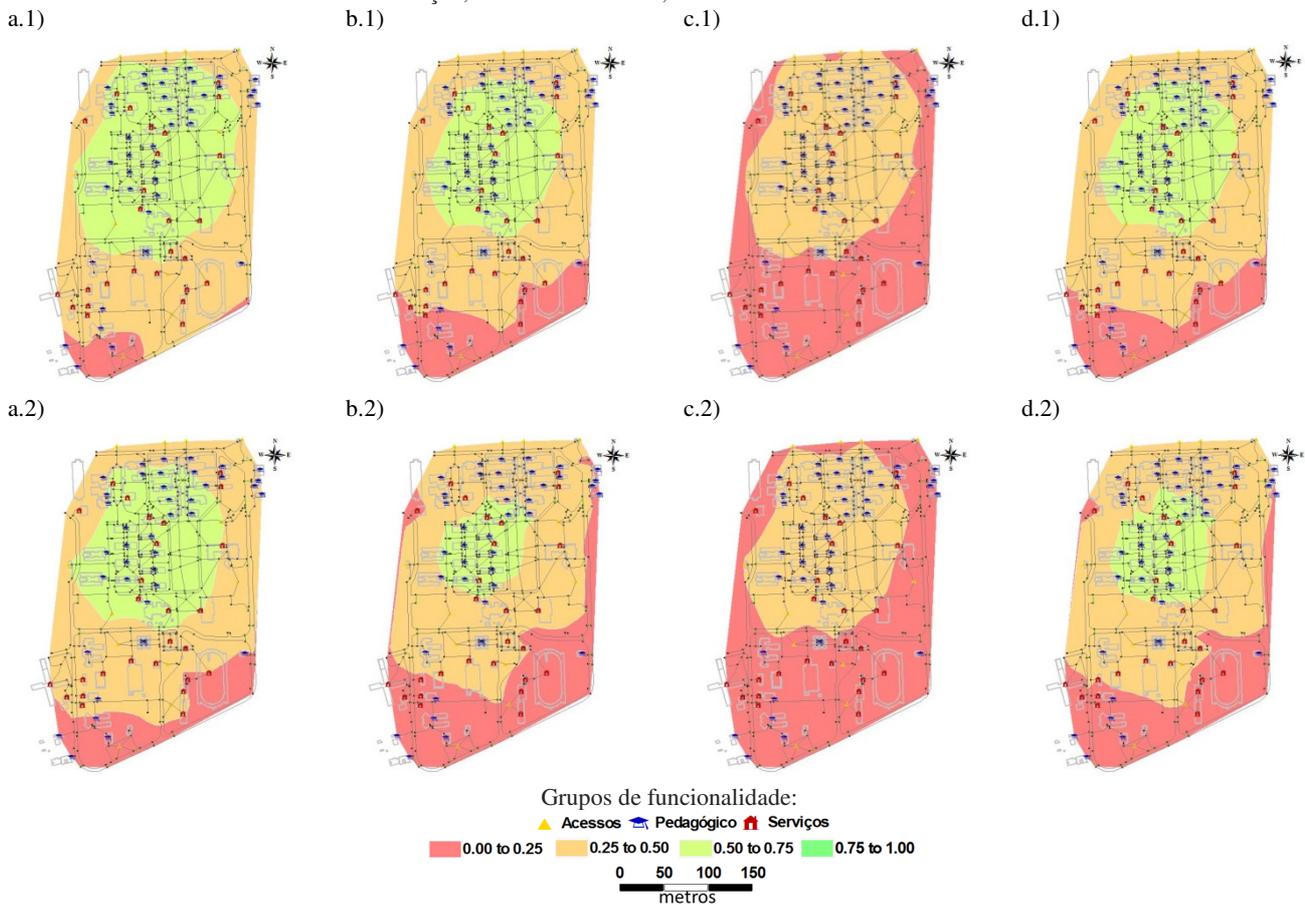
Os mapas da Figura 1 ilustram os resultados obtidos, permitindo verificar quais as zonas com as melhores ou piores condições de acessibilidade para os grupos de pedestres considerados, sugerindo a provável necessidade de intervenções. A junção da avaliação multicritério com o modelo de rotas acessíveis permite comparação dos cenários, nos quais podem ser observados os impactos da incorporação das medidas qualitativas na rede de caminhos de pedestres.

Além da comparação entre os grupos de usuários e da incorporação de medidas qualitativas na calçada, a forma como a distribuição dos prédios influencia nos resultados também pode ser visualizada nos mapas. Devido ao fato

dos prédios mais importantes estarem centralizados, os índices na região central são maiores, mesmo quando

regiões mais distantes apresentam boas condições de locomoção.

Figura 1 – Mapas da combinação linear sem impedância (1) e com impedância (2), por grupos de usuários, em que “a” corresponde aos usuários sem restrição, “b” aos cadeirantes, “c” aos deficientes visuais e “d” aos idosos



Os histogramas das Figuras 2 e 3 foram desenvolvidos para comprovar que os índices de acessibilidade apresentaram variação com a inserção dos atributos das calçadas como medida adicional de impedância. Os valores usados para comparação foram os resultados dos índices de acessibilidade, obtidos antes e depois da introdução das características das calçadas. Nestes histogramas pode-se observar que a frequência de

pontos com maiores valores de índice diminuiu com a introdução da impedância, inclusive no resultado dos usuários sem restrição de mobilidade, que não sofreu grandes variações. Os histogramas permitem observar, também, que os deficientes visuais são os usuários que concentram os índices mais baixos, causados principalmente pela sua baixa velocidade média.

Figura 2 – Histograma comparativo dos resultados da combinação linear ponderada de cada grupo de funcionalidade, sem incorporação da impedância

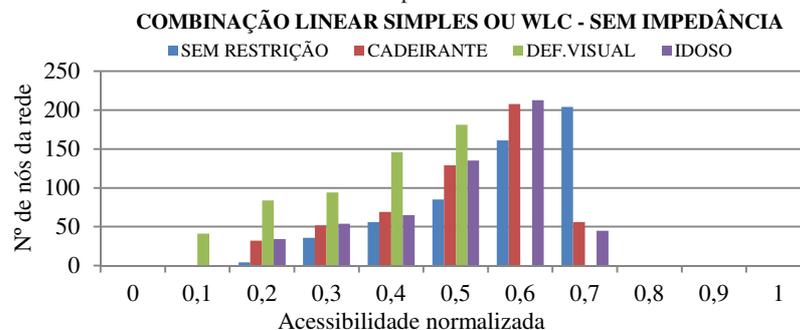
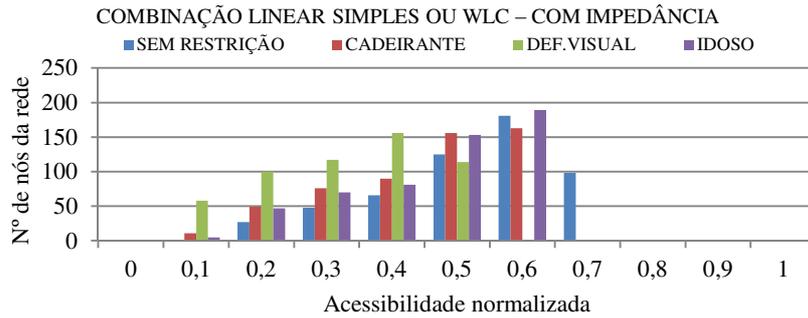


Figura 3 – Histograma comparativo dos resultados da combinação linear ponderada de cada grupo de funcionalidade, com incorporação da impedância



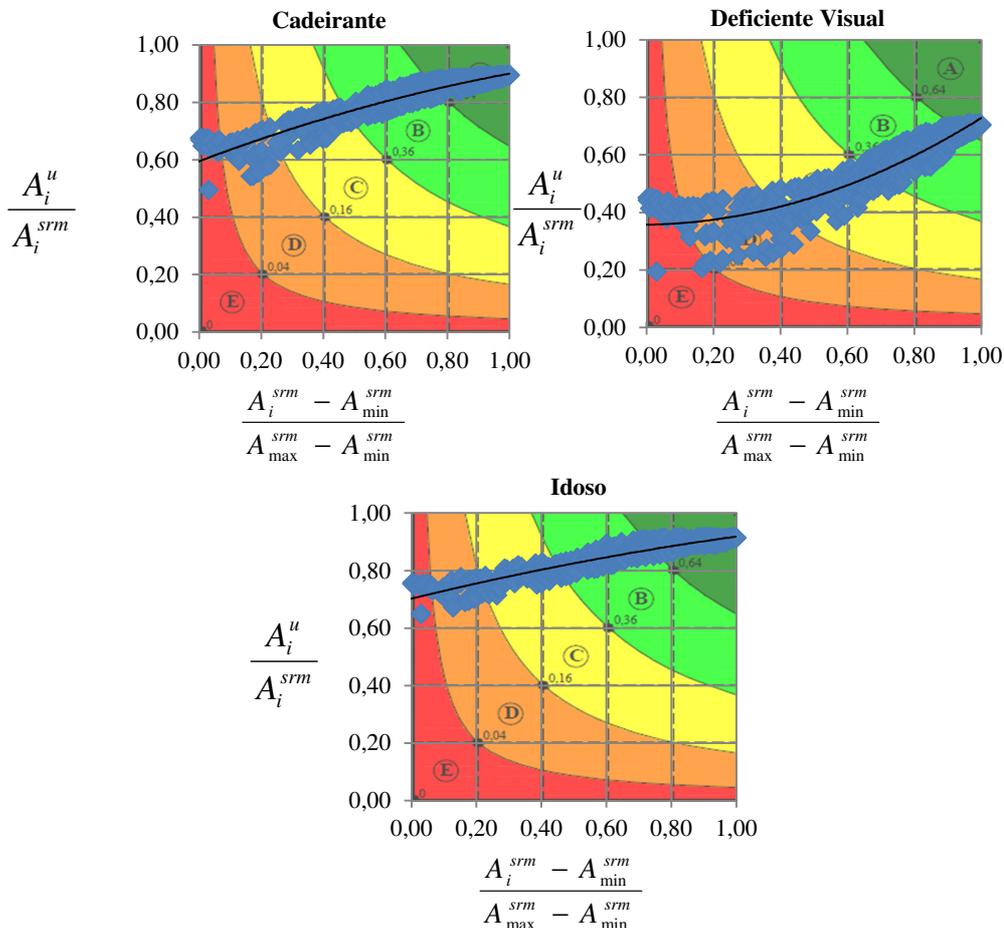
4.6 Acessibilidade relativa

Os índices de acessibilidade, com inserção da impedância, encontrados na Seção 4.3, foram utilizados para encontrar o índice de mobilidade potencial, que representa a porcentagem de mobilidade que usuários com restrição de mobilidade apresentam em relação aos usuários sem restrição. Cabe lembrar que a mobilidade potencial alta não implica que o local tenha uma boa acessibilidade. Podem ocorrer casos em que locais com baixo índice para o usuário com restrição de mobilidade também sejam baixos para o usuário sem restrição, resultando numa alta mobilidade potencial. O resultado alto implica que o local

fornece condições de mobilidade semelhantes para os dois grupos.

Para evitar confusão de informações, a mobilidade potencial é combinada com o índice de acessibilidade do grupo sem restrição normalizado. Esta combinação é representada em coordenadas de um espaço bidimensional e o índice de acessibilidade relativa é obtido pelo par ordenado e o nível de serviço é determinado pela localização nas superfícies geradas no gráfico. Os resultados para cada grupo são apresentados na Figura 4 e os pontos dos gráficos foram distribuídos nos mapas, mostrando a sua localização no espaço estudado.

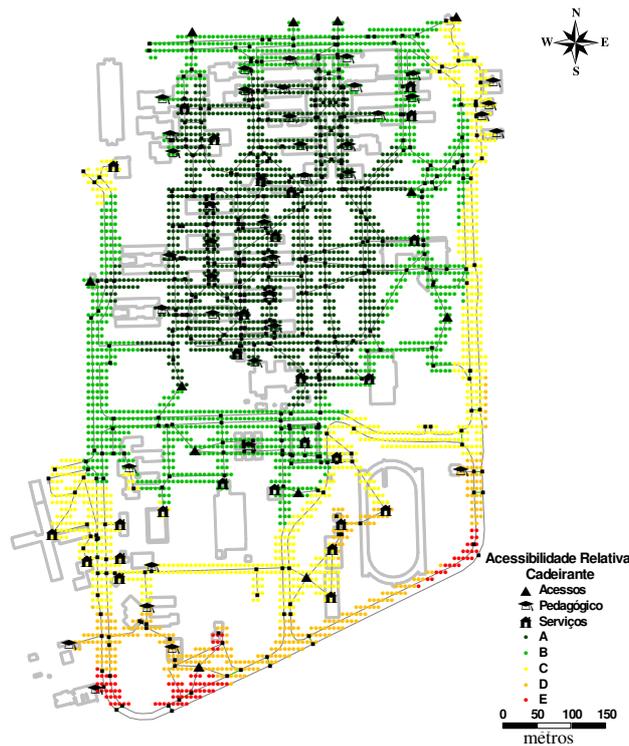
Figura 4 – Gráficos da Acessibilidade Relativa, resultado da relação da mobilidade potencial com o índice de acessibilidade do grupo sem restrição de mobilidade



Ao observar os pontos nos gráficos de cadeirantes e de idosos nota-se que as configurações dos resultados são semelhantes. As mobilidades potenciais dos dois grupos são próximas de 100%, ou seja, os dois grupos obtiveram índices próximos dos índices do grupo sem restrição de mobilidade. Entretanto, a linha de tendência dos pontos do idoso está mais próxima do topo do gráfico (mobilidades potenciais maiores), enquanto a do cadeirante se afasta mais do topo.

A localização dos pontos no mapa (Figura 5) mostra que a região onde se concentram os prédios mais importantes do grupo pedagógico é a região que possui as melhores condições de locomoção, pois apresenta as melhores índices de acessibilidade relativa para os três grupos de usuários.

Figura 5 – Mapa da localização dos índices de Acessibilidade Relativa do grupo dos cadeirantes



CONCLUSÃO

O estudo de caso realizado no câmpus sede da Universidade Federal de Sergipe atendeu ao objetivo principal desta pesquisa, que foi o de avaliar o impacto da incorporação de medidas qualitativas na configuração de redes e em uma medida da acessibilidade. Os resultados obtidos indicam que a incorporação de medidas qualitativas na rede de caminhos de pedestres altera os índices de acessibilidade, melhorando a representatividade da medida estudada.

Um fator determinante para a distribuição dos valores de acessibilidade foi a localização dos prédios no câmpus, que provocou uma concentração de altos índices numa só região, que é onde ficam situados os prédios que foram apontados como de maior importância. A combinação dos efeitos da velocidade e da distribuição espacial dos destinos-chave fez com que os nós da rede mais distantes da região central apresentassem baixos índices de acessibilidade, apesar de em muitos casos exibirem segmentos de rede com boas condições na avaliação de qualidade.

As velocidades adotadas para os cadeirantes e idosos permitiram verificar que a impedância adicional também influencia no resultado dos índices. Nota-se que o idoso, apesar de ter velocidade média pouco inferior à velocidade do cadeirante, sofreu uma menor variação em relação ao grupo sem restrição de mobilidade e obteve, assim, uma situação mais favorável de acessibilidade relativa. Constatou-se, ainda, que o grupo dos deficientes visuais apresentou os índices mais baixos dentro dos grupos analisados, pois apresentou a menor velocidade média, que é um fator determinante para o cálculo dos valores finais dos índices. Este último resultado explicitado pelo modelo, que em princípio pode até contrariar o entendimento geral de que os cadeirantes são os mais prejudicados em se tratando de acessibilidade, é extremamente importante para indicar que o método utilizado neste trabalho para identificar índices de acessibilidade mostrou-se apropriado para representar as necessidades dos usuários de forma diferenciada.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, F. de O.; RAMOS, R. A. R.; RODRIGUES DA SILVA, A. N. Cenários de avaliação das restrições à mobilidade dos pedestres em espaços públicos: o caso de um campus universitário, **Transportes**, v. 17, n. 2, p. 5-15, 2009. <http://dx.doi.org/10.14295/transportes.v17i2.354>.
- AGUIAR, F. de O. **Acessibilidade relativa dos espaços urbanos para pedestres com restrições de mobilidade**. 170 p. Tese (Doutorado) em Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2010.
- BRASIL. Ministério das Cidades. **Programa Brasileiro de Acessibilidade Urbana**. Construindo a cidade acessível. Brasília, DF: 2006, 2 v., 167 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-9050**: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2004, 97 p.
- CAMBRA, P. J. M. **Pedestrian accessibility and attractiveness indicators for walkability assessment**. 112 p. Dissertação (Mestrado) em Urbanismo e Ordenamento do Território. Técnico Lisboa, Lisboa, Portugal, 2012.
- CRUZ, I. A. S. da; SANTOS, E. C. dos. Recuperação de área central com base no aumento do índice de caminhabilidade, na aplicação dos conceitos de acessibilidade universal e na arquitetura inclusiva em Curitiba. **da Vinci**, v. 5, n. 1, p. 21-49, 2008.
- DELGADO, J. P. M.; NASCIMENTO, K. A. S.; BAGGI, M. S. **Avaliação da Microacessibilidade e Mobilidade do pedestre e das pessoas com necessidades especiais num Terminal de Transporte Urbano**. XIV CLATPU - Congresso Latino-americano de Transporte Público Urbano. Rio de Janeiro, RJ, 2007, 13 p.
- FERREIRA, M. A. G.; SANCHES, S. P. Índice de Qualidade das Calçadas – IQC. **Revista dos Transportes Públicos**, v. 91, p. 47-60, 2001.
- FERREIRA, M. A. G.; SANCHES, S. P. **Rotas acessíveis: definição de um índice de Acessibilidade das calçadas**. 15º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito, Goiânia, GO, CD-ROM, 2005, 9 p.
- FRUIN, J. Designing for pedestrians: a level-of-service concept. **Highway Research Record**, v. 355, p. 1-15, 1971a.
- FRUIN, J. **Pedestrian planning and design**. Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, New York, 1971b, 206 p.
- GIMENES, L. U. Estação intermodal como gerador de centralidades metropolitanas: o nó metroferroviário da Luz. **Anais do 1º Concurso de Monografia CBTU – A Cidade nos Trilhos**, 2005, 46 p.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sala de Imprensa**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/impressao/ppts/00000008473104122012315727483985.pdf>>. Acesso em: mar. 2012.
- KHISTY, C. J. Evaluation of pedestrian facilities: beyond the Level-of-Service concept. **Transportation Research Record**, v. 1438, p. 45-50, 1995.
- KOCKELMAN, K.; ZHAO, Y.; BLANCHARD-ZIMMERMAN, C. The nature of ADA's sidewalk cross-slopes requirements: a review of the literature. **Transportation Research Record**, v. 1705, p. 53-60, 2000. <http://dx.doi.org/10.3141/1705-09>.
- LIMA, J. P.; RAMOS R. A. R.; RODRIGUES, D. S.; MENDES, J. F. G. **Avaliação Multicritério da acessibilidade: Um estudo de caso na sub-região do Vale do Cávado, norte de Portugal**. XVI ANPET – Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Natal, RN, v. 2, p. 459-482, 2002.
- LIMA CORREIA, S. A. V. **Atributos de rede para pedestres com restrições de mobilidade em um modelo para avaliação da acessibilidade**. 103 p. Dissertação (Mestrado) em Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2015.
- MENDES, J. F. G. Decision strategy spectrum for the evaluation of quality of life in cities. **Proceedings of the International Conference on Quality of Life in Cities – ICQOLC 2000**. Cingapura, 2000, p. 35-53.
- RAMOS, R. A. R. **Localização Industrial: Um Modelo Espacial para o Noroeste de Portugal**. 299p. Tese (Doutorado) em Engenharia Civil, Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2000.
- RODRIGUES, D. S. **Avaliação multicritério da acessibilidade em ambiente SIG**. 144 p. Dissertação (Mestrado) em Engenharia Municipal, Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2001.
- RODRIGUES DA SILVA, A. N.; RAMOS, R. A. R.; SOUZA, L. C. L. de; RODRIGUES, D. S.; MENDES, J. F. G. **SIG: Uma Plataforma para Introdução de Técnicas no Planejamento Urbano, Regional e de Transportes**. São Carlos, SP: EdUFSCar, 2008, 227 p.
- SILVA, K. C. R.; ANDRADE, G. R. de; RODRIGUES DA SILVA, A. N. Planejamento das instalações pedagógicas do Câmpus II do CEFET-MG sob a ótica da acessibilidade de pedestres. **Educação e Tecnologia**, Belo Horizonte, Minas Gerais, v. 16, p. 59-71, 2011.
- SISSON, S. B.; MCCLAIN J. J.; TUDOR-LOCKE, C. Câmpus walkability, pedometer-determined steps, and moderate-to-vigorous physical activity: A Comparison of 2 University Campuses, **Journal of American College Health**, v. 56, n. 5, p. 585-592, 2013. <http://dx.doi.org/10.3200/JACH.56.5.585-592>.
- TRB. **Highway Capacity Manual**. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., USA, 1985.
- ZABOT, C. de M. **Critérios de avaliação da caminhabilidade em trechos de vias urbanas: Considerações para a região central de Florianópolis**. 169 p. Dissertação (Mestrado) em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2013.
- ZAMBON, K. L.; CARNEIRO, A. A. de F. M.; RODRIGUES DA SILVA, A. N.; NEGRI, J. C. Análise de decisão multicritério na localização de usinas termelétricas utilizando SIG. **Pesquisa Operacional**, v. 25, n. 2, p. 183-199, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-74382005000200002>.