



MODELO MATEMÁTICO INTEGRAL-FUZZY PARA GERAÇÃO DO IQMU: O CASO DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

INTEGRAL-FUZZY MODEL FOR GENERATING THE IQMU: THE CASE OF RIO DE JANEIRO CITY

Marcelo Prado Sucena – FGV – Rio de Janeiro – Rio de Janeiro -
Brasil

marcelo.sucena@fgv.br

Marcus Vinicius Quintella Cury – FGV – Rio de Janeiro – Rio de
Janeiro – Brasil

marcus.quintella@fgv.br

RESUMO

Este trabalho está direcionado para o desenvolvimento de modelo matemático sustentado nos preceitos das Integrais-Fuzzy, focado na geração de índices de qualidade da mobilidade urbana. Para tanto se desenvolve pesquisa exploratória ex-post-facto, pois pretende-se gerar um diagnóstico sobre as condições da movimentação na cidade, baseando-se na coleta de dados sobre as percepções dos usuários nas viagens cotidianas. Tal modelo pode ser utilizado de forma rotineira para geração de série histórica, promovendo melhoria do processo decisório de organismos públicos. Para teste e validação do modelo desenvolveu-se um estudo de caso baseado em pesquisa realizada em outubro de 2020, na cidade do Rio de Janeiro. O modelo apresentou-se estável e coerente após a análise dos seus resultados, pelo cruzamento dos índices gerados com questão reflexiva sobre a mobilidade. O diagnóstico dos usuários da cidade analisada é que a qualidade é ruim, com IQMU igual a 4,07 no universo de discurso [0,10]. Pontuaram-se também as percepções dos usuários quanto aos modos de transporte, com destaque para melhor nota para táxi-frete (IQM = 5,15) e pior grau para bicicleta (IQM = 3,12). Os resultados também foram avaliados organizando-os pelas características dos respondentes (gênero, faixa etária e formação) e pela condição das viagens (tempo de deslocamento e quantidade de baldeações).

Palavras-chave: Mobilidade urbana. Transporte sustentável. Sustentabilidade. Teoria Fuzzy.

ABSTRACT This paper is directed to the development of a mathematical model based on the precepts of Fuzzy Integrals, focused on the generation of quality indices for urban mobility (IQMU). For this purpose, ex-post facto exploratory research is carried out, as it is intended to generate a diagnosis of the conditions of movement in the city, based on the collection of data on the perceptions of users in daily trips. Such a model can be used routinely to generate a historical series, promoting an improvement in the decision-making process of public bodies. To test and validate the model, a case study was developed based on research carried out in October 2020, in the Rio de Janeiro city. The model was shown to be stable and coherent after analyzing its results, by crossing the generated indices with a

reflective question about mobility. The diagnosis of the users of the analyzed city is that the quality is bad, with IQMU equal to 4.07 in the universe of discourse [0.10]. Users' perceptions regarding modes of transport were also scored, with emphasis on the best score for taxi-freight (IQM = 5.15) and the worst grade for bicycle (IQM = 3.12). The results were also evaluated by organizing them by the characteristics of the respondents (gender, age group and training) and by the condition of the trips (time of displacement and number of transfers).

Keywords: Urban mobility. Sustainable transport. Sustainability. Fuzzy Theory.

INTRODUÇÃO

Praticamente todos os aspectos da qualidade de vida nas grandes cidades estão ligados à mobilidade, que interfere no deslocamento de pessoas, matérias-primas e mercadorias. Nesse contexto, busca-se, também, que tal movimento possa ser limpo, eficiente, com minimizações de impactos negativos e geração de resíduos, além de ser acessível a todos.

Atualmente, percebe-se que há falta de investimentos em infraestrutura de mobilidade urbana, junto à redução da qualidade dos ativos existentes devido, principalmente, à degradação acentuada por manutenção inadequada. Em consequência, a sociedade incrementa o uso de automóveis, associado, principalmente, pela ascensão social do brasileiro, levando os usuários dos transportes públicos a optarem por veículos particulares.

Essa mudança do cidadão, que visa, de forma imediatista, à melhoria da sua qualidade de vida, atua em sentido contrário em longo prazo, pois impacta negativamente pelo aumento de congestionamentos, com consequente agravamento de impactos ambientais, tais como o aumento das emissões de poluentes no ar, a geração de ruídos e o incremento de acidentes de trânsito.

Para isso, é importante a aplicação da Lei nº 12.587, que versa sobre a Política Nacional de Mobilidade Urbana, sancionada em 3 de janeiro de 2012, que define os direitos dos usuários de transporte coletivo, exigindo dos gestores públicos a eficiência e a qualidade na utilização de serviços relacionados à mobilidade urbana, pela exigência dos planos de mobilidade, investimentos em infraestrutura cicloviária, entre outras ações.

Vislumbra-se que a solução para a crise de mobilidade urbana passe também, obrigatoriamente, pela requalificação dos movimentos, principalmente os urbanos, onde há maior adensamento demográfico, promovendo-se mudanças significativas na matriz modal de viagens, otimizando-a e equilibrando-a.

Entretanto sabe-se que para requalificar algo é necessário criar um diagnóstico sobre as condições atuais, que possibilitem entender tendências que se apresentem. Nesse contexto, inserem-se os métodos de controle para monitoramento, que possam apontar as ações necessárias para melhoria do cenário.

Para o monitoramento, é necessário interpretar e quantificar as diversas dimensões da mobilidade urbana, com propósito de subsidiar gestores com dados e informações relevantes, que permitam evidenciar causas e efeitos.

Uma das mais famosas citações que relacionam causa e efeito, em que se insere a necessidade de se controlar, justificando-se sistemas de medidas, é: “Não se gerencia o que não se mede, não se mede o que não se define, não se define o que não se entende, não há sucesso no que não se gerencia.” (DEMING, 1990)

É fato que a opinião dos usuários habituais dos vários subsistemas que compõem a mobilidade serve para definir padrões de qualidade para efeito de planejamento, projeto e operação (RODRIGUES, 2006).

Nesse quesito, há convergência que o pensamento gerencial insere o cliente como o foco das organizações. Entender-lhes e buscar a sua satisfação não é uma opção, é uma questão de sobrevivência para qualquer empresa. A sua satisfação é o resultado de antecipar e superar as necessidades e expectativas implícitas e explícitas e deve ser a sua razão de ser. (CORDEIRO et al., 2005)

A criação de um procedimento para se capturarem dados e gerarem informações sobre a mobilidade, que sirva para orientação de sistemas regulatórios e de fiscalização, é destacado por Fonseca et al. (2002). Eles caracterizam que a pesquisa para avaliar a percepção dos usuários quanto a sua satisfação é uma resposta precisa ao poder público, em termos normativos, sobre o que a sociedade espera desses serviços, partindo-se do ponto de vista do usuário e não do burocrata designado para lhe controlar.

Essa relação entre o gerir um sistema e a premissa de satisfazer as necessidades dos clientes está expressa em Rodrigues (2006) onde se comparam as visões tradicional e a contemporânea de qualidade. Essas visões estão explicitadas na Quadro 1.

Quadro 1 – Qualidade pelas Visões Tradicional e Contemporânea

Tradicional	Contemporânea
A produtividade e a qualidade têm objetivos conflitantes	O ganho de produtividade é alcançado por meio da melhoria da qualidade
A qualidade é definida conforme às especificações e padrões	A qualidade é definida para satisfazer as necessidades dos clientes

Fonte: Rodrigues (2006)

Sendo assim, entende-se que a formulação de uma metodologia de controle complementar aos mecanismos regulatórios da mobilidade e do transporte deve estar estruturada nas seguintes diretrizes:

- aumento da atratividade do transporte público pelo incremento da confiabilidade, conforto, eficiência, acessibilidade, segurança e adequação aos preceitos do transporte sustentável;
- redução dos impactos ambientais, econômicos e sociais do transporte urbano;
- demonstração da preocupação do poder público quanto à qualidade do serviço prestado pelas concessionárias;
- estímulo ao investimento em tecnologias para tornar o transporte público mais atraente;
- assegurar que a sociedade tenha um canal aberto com os organismos públicos para exteriorizar as suas percepções.

Pelo exposto, entende-se então que a definição de ferramentas de apoio ao processo decisório, que sirvam para mensurar, avaliar e monitorar a qualidade da mobilidade, inicialmente, passa pela formação de base de dados que represente a condição de funcionamento do sistema, focado na percepção dos seus usuários. Os resultados gerados podem ser acompanhados ao longo do tempo, formando-se série histórica que possam monitorar e sustentar decisões futuras.

Dessa forma, o principal objetivo deste artigo é propor um modelo matemático que permita traduzir conceitos vagos como percepções, sensações dos usuários da mobilidade urbana, em valores objetivos e tangíveis. Esse modelo será validado por estudo de caso na cidade do Rio de Janeiro, sustentado em preceitos da inteligência artificial, especificamente na Teoria Fuzzy.

METODOLOGIA

Conforme Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa desenvolvida neste trabalho pode ser qualificada quanto a quatro aspectos: natureza, objetivos, procedimentos técnicos e abordagem do problema.

No que tange à natureza da pesquisa, considera-se como aplicada, haja vista que objetiva gerar conhecimentos pela criação de modelo matemático que subsidiará a criação de índices de mobilidade urbana, com aplicação prática para solução de problemas em interesses locais, como estudo de caso específico na cidade do Rio de Janeiro.

Quanto ao objetivo principal do trabalho, solidariamente está ligado a um estudo de caso para teste e validação de modelo matemático, tendo-se a pesquisa classificada como exploratória, onde se proporcionará o diagnóstico sobre a mobilidade por intermédio da coleta de dados, usando pesquisa com seus usuários. Nesse mesmo viés é tomada também como pesquisa explicativa, pois preconiza a criação de sistema de monitoramento, ligando causas e efeitos pelo registro, análise, classificação de dados pesquisados.

Para os procedimentos técnicos aplicados ao estudo, que se relacionam à modelagem em si e à coleta de dados para validação do referido, pode-se destacar o seguinte:

- a coleta de dados se dá por intermédio de pesquisa com questionamento direto aos usuários da mobilidade, com o uso de meios eletrônicos, pela internet. Para tanto é definida o tamanho da amostra mediante procedimentos estatísticos;
- a pesquisa para capturar os dados de qualidade percebida pelos usuários da mobilidade urbana é considerada como de observação direta e extensiva, que

utiliza um questionário, com perguntas de opinião, fechadas e de múltipla escolha. Cada respondente é caracterizado por 6 questões que identificam o seu perfil, mas sem sua identificação por nome ou qualquer outro dado; 4 perguntas que qualificam a sua viagem cotidiana, em que se identifica o modo de transporte predominante; e outras questões específicas da mobilidade pelo modo indicado, que se diferem em qualificação e quantidade. Todas as perguntas geram métricas que são associadas a atributos de controle da qualidade da mobilidade urbana;

- na sequência, os dados coletados passam por análises quantitativas, dividida em três partes: características dos respondentes, das viagens deles e da mobilidade (a pé, por bicicleta própria) ou alugada, motocicleta, automóvel particular, táxi, veículo utilitário como van e kombi, ônibus público ou fretado, bonde, veículo leve sobre trilhos, barca, trem urbano e metrô);
- quanto ao modelo matemático que processará os dados coletados na pesquisa, considera-o como abordagem hipotético-dedutiva, para identificação de outros conhecimentos relevantes à análise da mobilidade, tal como o Índice da Qualidade da Mobilidade Urbana (IQMU) e seus índices parciais que o compõem, denominados IQMs e relacionados com IQM - a-Pé, IQM – Bicicleta, IQM – Automóvel, IQM – Motocicleta, IQM - Táxi-e-Fretados (táxi em si ou por aplicativos, utilitários e ônibus fretados), IQM - Transporte Público (ônibus público, bonde, veículo leve sobre trilhos, barca, trem urbano e metrô). Essa é considerada a fase da sua validação;
- é uma pesquisa *ex-post-facto*, pois é realizada a coleta de dados baseando-se na experiência vivida pelo usuário em certa condição diária e cotidiana, ou seja, depois dos fatos (a viagem em si), tentando explicá-la e entendê-la para se tratar um perfil da qualidade da mobilidade urbana;
- no que concerne à abordagem do problema, essa pesquisa é caracterizada como quali-quantitativa, a saber: é qualitativa, pois existe relação dinâmica entre o mundo real (da mobilidade) e o sujeito (usuário) como vínculo indissociável entre a subjetividade e a objetividade; é quantitativa, pela tradução das percepções dos

usuários da mobilidade efetuada pelo modelo matemático, redundando em números e informações usados para classificá-las e analisá-las.

Sendo assim, entendendo-se que para se atingir o objetivo proposto faz-se necessário seguir os seguintes passos:

1) Por pesquisa exploratória, devem-se caracterizar:

- a) Os atributos de controle;
- b) As métricas contidas nos atributos de controle que serão objeto de cada questionamento. Nesses atributos são registrados os dados qualitativos que representam a subjetividade da percepção dos usuários.

2) Para modelagem da sistemática para coleta e processamento dos dados:

- c) Elaboração de questionário para coleta de dados solicitando resposta qualitativa para cada métrica (item 1.b);
- d) Caracterização das métricas como variáveis de entrada (Formato de variável Fuzzy);
- e) Modelagem dos atributos segundo preceitos das Integrais-Fuzzy;
- f) Caracterização das variáveis de saída (IQMs) que compõem o IQMU baseando-se em Integrais-Fuzzy;
- g) Cálculo da amostra para validação do modelo matemático;
- h) Análise dos dados processados em três partes: informações dos respondentes, das suas viagens e da mobilidade em si.

REFERENCIAL TEÓRICO

Controle da Mobilidade Urbana

A urbanização, se adequadamente gerida, pode contribuir positivamente para o desenvolvimento sustentável, impactando no desenvolvimento econômico-social e na conservação ambiental, suprimindo as necessidades atuais, sem comprometer o atendimento às necessidades futuras da cidade.

Entretanto, a ausência ou limitações na fase de planejamento urbano sistêmico pode interferir no uso do solo, na acessibilidade, na interação social, em suma, no ordenamento para a reorganização urbana que implica nos usos eficazes dos

transportes públicos e dos modos não motorizados, ou seja, nas políticas públicas relacionadas à mobilidade. Entende-se, então, que a maneira como o urbano é desenhado interfere na utilização que as pessoas dão ao próprio urbano.

Para Macedo, da Silva e Costa (2008), a Mobilidade Urbana deve ser tratada por um sistema formado por vários processos, como os de controle, que servem para monitorar e avaliar desempenho em relação aos objetivos planejados; e os de melhoria da qualidade, em que se definem formas alternativas de melhorar os resultados do referido desempenho. Os mesmos autores qualificam as partes físicas do sistema de mobilidade urbana da seguinte forma:

- a. Meios de transporte urbano - motorizados e não motorizados;
- b. Serviços de transporte urbano - de passageiros (coletivo, público e privado, individual); e de cargas;
- c. Infraestruturas de mobilidade urbana - vias e logradouros públicos (inclusive ferrovias e hidrovias), incluindo calçadas, passarelas, passagens subterrâneas, faixas de pedestres, ciclovias e ciclofaixas; estacionamentos; terminais e estações, incluindo conexões; pontos para embarque e desembarque de passageiros e cargas; sinalização viária de trânsito; equipamentos e instalações (compreende ainda garagens e pátios); instrumentos de controle, fiscalização, arrecadação de taxas e tarifas e difusão de informações (por sistemas de informação).

Como se percebe, tratar de mobilidade urbana é abordar o desenvolvimento urbano vinculado à qualidade de vida da sociedade. No sentido inverso, não tratar a mobilidade urbana de forma sistêmica e adequada geram-se impactos econômicos-sociais-ambientais severos, tais como desigualdades socioespaciais, reduções da renda e de emprego, entraves nos tratamentos de saúde e aumentos dos impactos ambientais no tecido urbano.

As redes formadas pelos vários modos de transporte público, além das vias, são estruturadoras operacionais e participam ativamente na configuração das cidades. A mobilidade urbana é entendida por ser um sistema capacitado operacionalmente por

essas redes, contendo-se normas e regulamentos legais, dotados de procedimentos para regulação, fiscalização e controle.

Quanto ao controle dessas redes, a política de mobilidade urbana (Lei nº 12.587/2012) considera em seu Art.10 as diretrizes para contratação dos serviços de transporte público coletivo, onde se observa, no inciso I, a necessidade de se fixarem metas de qualidade e desempenho e as formas para controle e avaliação. Já no Art. 13 observa-se que o poder público delegante deve realizar atividades de fiscalização e controle dos serviços delegados. Assim sendo, como se nota, há a necessidade de controle efetivo dos aspectos da mobilidade, principalmente no que tange ao público coletivo.

Para Meyer e Gunther (2019) o controle é fundamental tanto na administração de organizações privadas quanto na administração pública, onde deve ser averiguada a eficácia das políticas públicas e o emprego de recursos públicos, tal como na mobilidade urbana. Os autores citam ainda que, no Brasil, são poucos os órgãos responsáveis pela gestão e controle de funções públicas de interesse comum como a mobilidade urbana, caracterizando, essa forma, posição fundamental das instituições privadas para análise e controle das partes que a compõem.

Teoria Fuzzy

O marco sobre a Teoria *Fuzzy* ocorreu com a publicação do artigo *Fuzzy Sets* apresentado por Lofti A. Zadeh, na revista *Information and Control* – Volume 8, nas páginas 338 a 353, em 1965 (TANAKA, 1997).

Ross (1995) destaca que em conjuntos clássicos (*crisp*) a transição de um determinado elemento em um universo, entre ser membro e não-membro de um dado conjunto, é abrupta e bem-definida. Para um elemento em um universo que contém conjuntos *Fuzzy*, como os observados por Zadeh, essa transição pode ser transcrita como em uma fronteira subjetiva, na qual existe entre o pertencer e o não-pertencer a um dado conjunto.

Um conjunto *Fuzzy A* é então um conjunto de elementos que têm vários níveis de participação no conjunto (Graus de Pertinência), em certo universo de discurso $X =$

$\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, podem ser representados, segundo Tanaka (1997), de acordo com as expressões 1 e 2 expostas a seguir, onde $\mu_A(x_i)$ é o grau de pertinência do elemento i e x_i o valor do elemento i no universo de discurso X .

Esse conjunto *Fuzzy* A , quando definido no universo de discurso X , é caracterizado por uma função de pertinência μ_A , a qual mapeia os elementos de X para o intervalo $[0,1]$.

Se for na forma Discreta, com o universo de discurso finito, a função de pertinência é tratada como:

$$A = \mu_A(x_1)/X_1 + \mu_A(x_2)/X_2 + \dots + \sum_{i=1}^n \mu_A(x_i)/X_i \quad (1)$$

Quando o universo de discurso é infinito, com representação da função de pertinência por partes na forma contínua, utiliza-se a Integral-Fuzzy:

$$A = \int_x \mu_A(x_i)/X_i \quad (2)$$

Das operações possíveis com conjuntos *Fuzzy* destacam-se a União e a Interseção. A União de dois conjuntos *Fuzzy* (por exemplo, A e B) resulta em um terceiro conjunto *Fuzzy* (por exemplo, C), representando-se es operação da seguinte forma:

$$C = A \cup B \text{ ou } C = A \text{ O U } B \quad (3)$$

A pertinência do conjunto *Fuzzy* C resultante é obtida pela seguinte expressão:

$$\mu_C(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \quad (4)$$

A Interseção de dois conjuntos *Fuzzy*, conforme exemplificado anteriormente, resulta em um terceiro conjunto *Fuzzy*, podendo-se expressar da seguinte forma:

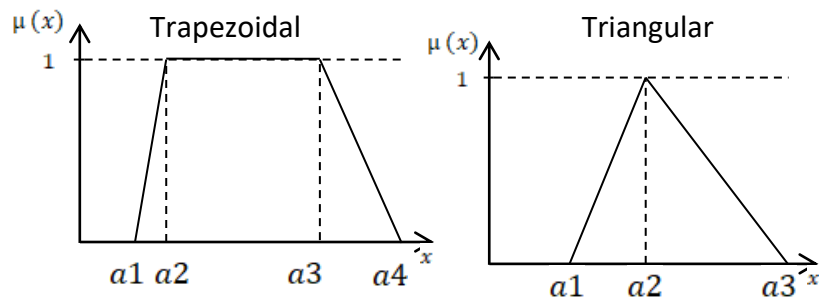
$$C = A \cap B \text{ ou } C = A \text{ E } B \quad (5)$$

A pertinência do conjunto *Fuzzy* C resulta em:

$$\mu_C(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \quad (6)$$

Uma variável *crisp*, para ser avaliada no domínio *Fuzzy*, precisa ser representada por uma variável linguística que é o nome do conjunto *Fuzzy*. Essa última pode ser representada por rótulos linguísticos (ou termos linguísticos) que se baseiam nas suas funções de pertinência contínuas por partes, que podem ser representados por Integrais-Fuzzy, conforme a expressão 2. As funções de pertinência contínuas por partes mais comuns estão apresentadas na figura 2.

Figura 2 – Exemplos de Funções de Pertinência



Fonte: própria (2020)

A quantidade e a forma das funções de pertinências contínuas e de seus termos linguísticos baseia-se em Shaw et al. (1999) os quais citam que elas podem ser obtidas baseando-se na experiência do analista e na natureza do processo a ser controlado. Eles observam ainda que a quantidade de funções, na prática, deve variar entre 2 e 7, sendo que, quanto maior, melhor a precisão do resultado e, quanto menor, melhor a demanda computacional e a compreensão dos resultados pelo analista.

Oliveira Jr. (1999) cita que o raciocínio baseado na Teoria *Fuzzy* é uma metodologia de inferência que utiliza ferramentas e conceitos da lógica *Fuzzy* para atingir os objetivos e conclusões. O resultado da inferência é um vetor linguístico *Fuzzy* $\tilde{A}(7)$, conforme observado Ross (2010), com n elementos, com os respectivos graus de pertinência ($\mu(x)$) acionados nas funções de pertinência identificadas pelos rótulos linguísticos determinados na avaliação dos conjuntos *Fuzzy*. Segundo Ortega (2001), este vetor fornece a distribuição de possibilidades de uma certa condição em um conjunto *Fuzzy*.

$$\tilde{A} = \left\{ \frac{\mu_1(x)}{\text{rótulo 1}} + \frac{\mu_2(x)}{\text{rótulo 2}} + \dots + \frac{\mu_n(x)}{\text{rótulo } n} \right\} \quad (7)$$

Para retornar-se do domínio *Fuzzy* para o *crisp* necessita-se *Defuzzyficar* o conjunto *Fuzzy* resultado da inferência. Segundo Shaw et al. (1999), a escolha do método de *Defuzzyficação* depende do contexto da decisão. Eles ressaltam ainda que para decisões quantitativas o método Centro-do-Máximo pode ser utilizado, determinando-se a saída *crisp* pela expressão 8.

$$Saída_i = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i \times X_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \quad (8)$$

A $Saída_i$ na Expressão 8 é o resultado da inferência, μ_i é o grau de pertinência, X_i são os valores de entrada de cada variável linguística e i é a quantidade de variáveis linguísticas variando de 1 até n que representa a quantidade de variáveis linguísticas.

Há versatilidade em aplicações com a Teoria *Fuzzy* para análise de problemas que envolvem percepções, incertezas e avaliação de desempenho e qualidade, destacando-se: Pinho et al. (1997), que associam números *Fuzzy* com Teoria dos Jogos para processos decisórios incertos na análise de investimentos; a pesquisa de Montevechi (1999) que observa as incertezas na programação de operações *flow-shop* na produção usando como base funções de pertinência triangulares vinculadas ao algoritmo NEH; Almeida et al. (2010) que abordam a percepção de empresários em relação a ações de sustentabilidade ambiental; Sá et al. (2007) que usam funções triangulares *Fuzzy* para a interpretação de percepções do consumidor; o trabalho de Boenteet et al. (2009), onde desenvolvem a avaliação da qualidade de produtos de softwares desenvolvidos numa fundação pública estadual; a abordagem de Ibáñez (2018), que observou os Problemas de Valores de Contorno *Fuzzy* (PVCFs) focando nos preceitos da teoria de conjuntos e dos números *Fuzzy*; e Silva (2020), que trata da operação de conjuntos *Fuzzy* no ensino de escola pública para ensino médio, para interpretação de incertezas.

MODELAGEM

Definição dos Atributos de Controle

As variáveis de entrada do modelo matemático são obtidas pela investigação na literatura dos atributos pertinentes à mobilidade urbana, que são passíveis de controle. Cabe destacar que esses atributos são observados pela ótica dos usuários da mobilidade urbana, ou seja, estão vinculados às suas percepções, sensações.

Durante a investigação dos atributos pertinentes ao controle da mobilidade urbana existe, sem dúvida, vasta citação sobre o Índice de Mobilidade Urbana Sustentável (IMUS). Para destacar a definição dos atributos de controle no IMUS ressaltam-se os

estudos de Kureke e Bernardis (2019), que usam o IMUS como auxiliar na análise e no monitoramento da mobilidade urbana e na elaboração de políticas públicas, composto de 87 indicadores agregados em 37 temas, sendo esses distribuídos em 9 domínios; em outro estudo, Kureke e Bernardis (2019) propõem adaptar IMUS para cidades de médio porte, selecionando 76 indicadores, com os mesmos 9 domínios do IMUS original; a análise de Ferraz et al. (2020) onde observam a aplicação do IMUS como ferramenta de avaliação e diagnóstico para os aspectos de mobilidade em cidades brasileiras de grande porte; o foco de Costa (2018) direcionado para observação da mobilidade urbana na cidade do Rio de Janeiro/RJ nos Jogos Olímpicos e Paralímpicos; e a abordagem de Ferreira et al. (2018) que usam o IMUS em um estudo de caso em uma cidade planejada de Sinop/MT, referência brasileira na agroindústria.

Em outras abordagens de modelos e metodologias baseando-se em indicadores de mobilidade urbana apresentam-se os trabalhos de Pinto e Galvão (2018), que destacam o Índice de Mobilidade Urbana Sustentável (iMobs) baseado em conjunto de indicadores e no Índice de Efetividade da Gestão Municipal (IEGM), criado pelo Tribunal de Contas do Estado de São Paulo; de Tischer e Polette (2019) que ressaltam cidades referências positivas em controle efetivo da mobilidade (Amsterdã, Copenhague, Portland, Nova York e Vancouver, Bogotá e Curitiba) com sistemas de avaliação por indicadores *Urban Mobility Index*, *Copenhagenize Index*, *European Green Capital Award*, *Quality of Living Ranking* e *Walk Score*; de Rezende e Aro (2020), estudo que considera a medição por indicadores para mobilidade urbana focado nos estímulos ao cidadão e gestores públicos, vinculado ao Programa de Desenvolvimento Institucional Integrado (PDI); de Lima e Carvalho (2018) que consideram a avaliação da qualidade e desempenho dos sistemas de ônibus urbanos concedidos pelos seus indicadores contratuais identificados em Santiago/Chile, Sydney/Austrália e Londres/Inglaterra.

Quando a abordagem dos atributos se dá exclusivamente pelas percepções de usuários da mobilidade urbana podem-se ressaltar os estudos de Silva, Freire e Santos (2020), Da Costa e Pinheiro (2019), Guimarães et al. (2018), Batista (2018), Pereira (2018), Moura (2018) e Dos Santos et al. (2018), que tratam de alguma vertente da mobilidade, mas tomando como insumo a visão, percepção do usuário.

Em estudos anteriores a 2018 podem-se também destacar referências para controle da mobilidade urbana em Sucena et al. (2005), Rodrigues (2006), Sucena et al. (2006), NTU (2008), Rodrigues (2008) e Vasconcelos (2009).

Para todos os estudos citados existem convergências de atributos voltados para qualidade e desempenho da mobilidade, que são: limpeza, conforto, segurança, acessibilidade, fluidez, tarifa, conservação, frequência, disponibilidade, confiabilidade e receptividade dos empregados das empresas do serviço. Calcado neles pôde-se caracterizar os atributos como:

- a) Limpeza: inexistência de detritos que possam interferir na visão de cuidado, asseio com a aparência do ambiente;
- b) Conforto: ausência de tensão mental e/ou física e presença de experiências agradáveis. Os principais fatores que interferem no conforto são: ruído, iluminação, ventilação, suavidade da aceleração/desaceleração durante a viagem (para uso de veículos); disponibilidade de assentos (para uso de veículos); existência de abrigo para sol e chuva (no caso de estações/terminais/paradas); lotação; distância e altura para acesso/decesso ao veículo; largura das portas; temperatura.
- c) Segurança: ausência de acidentes ou de fatores de risco de acidentes, tal como a comunicação de contingências. Inclui a segurança dos usuários em relação a atos violentos cometidos contra eles em estações, terminais, paradas e veículos;
- d) Acessibilidade: possibilidade do acesso, da aproximação, da utilização e do manuseio de qualquer ambiente ou objeto, embarque, desembarque, movimento entre pontos em estações e paradas, incluindo para portadores de necessidades especiais;
- e) Fluidez: é a facilidade com que é realizado o transporte considerando a relação entre tempo e distância de viagem;
- f) Conservação: percepção sobre a condição de manutenção e estado de conservação dos veículos, estações, terminais e instalações visíveis;
- g) Nível de trânsito: refere-se ao movimento pelas vias, devido a múltiplos interesses, usando veículos motorizados, não motorizados, pedestres e animais, segundo as orientações preconizadas nas Leis de Trânsito;

h) Atendimento aos usuários: empatia na comunicação efetuada diretamente por pessoas, efetuada nas estações, terminais, paradas e veículos. Pode ser também considerado pela adequada comunicação efetuada por equipamentos eletrônicos.

Tomando-se a abordagem de Macedo, da Silva e Costa (2008) para as partes físicas pertinentes à mobilidade urbana, considerar-se-ão os seguintes modos: a pé, bicicleta (própria ou alugada), motocicleta, automóvel particular, táxi (todos os tipos), veículos utilitários (van, kombi etc.), ônibus (público e fretado), bonde, veículo leve sobre trilhos (VLT), barca, trem urbano e metrô.

Unindo-se os elementos físicos com os atributos para controle da qualidade da mobilidade chega-se a seguinte organização modo/atributos:

1. A pé: segurança, conservação da infraestrutura física, sinalização e ambiente do entorno;
2. Automóvel particular: segurança, nível de trânsito, respeito às leis de trânsito, conservação da infraestrutura (física e sinalização);
3. Transporte público (ônibus, trem, metrô, VLT, bonde, barca): segurança, limpeza, conforto, acessibilidade, fluidez, conservação das estações, terminais e paradas, *headway* e atendimento ao usuário;
4. Bicicleta (própria e alugada): segurança, conservação da infraestrutura física e sinalização;
5. Motocicleta: segurança, fluidez e conservação da infraestrutura física (sinalização);
6. Fretados (táxi, ônibus e utilitários): segurança, fluidez, atendimento ao usuário e conservação da infraestrutura física.

Coleta de dados

Nesse trabalho a qualidade da mobilidade urbana deve ser refletida pela percepção que os usuários têm quanto ao seu desempenho. Para NTU (2008), os dados coletados devem se referir às facilidades oferecidas e depende, em grande parte, de decisões operacionais tomadas num sistema de transporte sobre onde, com que

frequência, em que período do dia e com que características o serviço deve ser oferecido.

Anderson et al. (1994) como citado em Fonseca et al. (2002) ressaltam que a satisfação do usuário é afetada por três antecedentes: qualidade percebida (atual avaliação de desempenho do sistema), preço (valor percebido) e expectativas. Neste trabalho, o viés é da Qualidade Percebida.

Sendo assim, desenvolve-se um questionário orientado pela relação modo/atributos estabelecida no subitem anterior. Realizou-se um pré-teste para verificar se o instrumento de coleta de dados sugeria fidedignidade (se a aplicação em si não interfere no seu resultado), validade (se os dados coletados são estritamente necessários para a pesquisa) e operatividade (se o vocabulário é acessível e de significado claro).

Diante dos resultados do pré-teste é possível aplicar o questionário de forma ampla, orientado o pelo tamanho da amostra (n) definitiva a ser pesquisada, considerando-a finita, utilizou-se a expressão 9.

$$n = \frac{NZ^2pq}{E^2(n-1) + Z^2pq} \quad (9)$$

Onde: n – tamanho da amostra; N – população da cidade do Rio de Janeiro; Z – nível de confiança; p – probabilidade de sucesso; q – probabilidade de fracasso; E – margem de erro.

O cálculo de (9) baseou-se população da cidade do Rio de Janeiro/RJ de 6,32 milhões de habitantes (Censo 2010) (IBGE, 2012), resultado em amostra de 385 respondentes, considerando-se 5% de margem de erro, com 95% de nível de confiança, com distribuição da população de forma heterogênea, com 50%.

Após a coleta de dados efetiva iniciada em outubro de 2020 a amostra obtida foi de 498 respostas, retornando margem de erro de 4,39%, com 95% de nível de confiança.

O questionário caracteriza os respondentes em cinco quesitos: se é portador de necessidades especiais (PNE), a sua faixa etária, o nível da formação e o gênero, além da cidade onde habita.

Quanto às viagens cotidianas foram registradas as seguintes questões: quantidade de transferências (baldeações), tempo de deslocamento total, motivo da viagem e o modo de transporte com maior interferência no tempo e/ou distância entre origem e destino.

Para a formulação do IQMU são consideradas as respostas específicas para cada modo de transporte: a pé, bicicleta (própria, compartilhada ou alugada), motocicleta, automóvel particular, táxi, veículo utilitário, ônibus público e fretado, barca, trem urbano, metrô, bonde e veículo leve sobre trilhos (VLT).

Na coleta de dados de outubro de 2020 não foram observadas respostas para os modos bonde e VLT. Para entendimento sobre o quesito Transporte Público, foram agrupados os dados de ônibus público, barca, trem urbano, metrô, bonde e VLT. Dessa forma é possível considerar a percepção dos usuários quanto a esse grupamento.

Cálculo dos Índices

Para geração dos IQMs e do IQMU é necessária a modelagem dos dados coletados baseando-se nos preceitos da Teoria *Fuzzy*. Para tanto seguiu-se na criação de uma variável *Fuzzy* para cada resposta do questionário, que foi enquadrada (qualificada) por três funções de pertinência identificadas por rótulos ou termos linguísticos “péssimo”, “mediano” e “ótimo”, registradas segundo as respectivas integrais-*Fuzzy*, desenvolvidas conforme a expressão 2, redundando em 10 a 12, para universo de discurso $X \Rightarrow [0,10]$, em que 0 é a pior condição, ou seja, rótulo “péssimo”.

$$Péssimo = \int_{0 \rightarrow 1}^{3 \rightarrow 1} 1/X + \int_{3 \rightarrow 1}^{4 \rightarrow 0} -x + 4/X \quad (10)$$

$$Mediano = \int_{3 \rightarrow 0}^{4 \rightarrow 1} x - 3/X + \int_{4 \rightarrow 1}^{6 \rightarrow 1} 1/X + \int_{6 \rightarrow 1}^{7 \rightarrow 0} -x + 7/X \quad (11)$$

$$Ótimo = \int_{6 \rightarrow 0}^{9 \rightarrow 1} \frac{x - 6}{3}/X + \int_{9 \rightarrow 1}^{10 \rightarrow 1} 1/X \quad (12)$$

Cada questão do questionário passou por processo de agregação das integrais-*Fuzzy*, utilizando operações aritméticas trapezoidais, representando o consenso dos respondentes e redundando em um vetor *Fuzzy*, segundo expressão 7.

$$\tilde{A} = \left\{ \frac{\mu(x)}{P\acute{e}ssimo} + \frac{\mu(x)}{Mediano} + \frac{\mu(x)}{O\acute{t}imo} \right\} \quad (13)$$

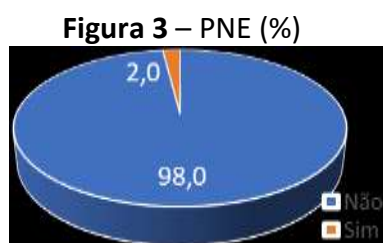
Em seguida, usando-se a expressão 4, efetua-se a união dos conjuntos *Fuzzy* representados por cada função de pertinência identificada pelos rótulos “péssimo”, “mediano” e “ótimo”. Por esse resultado é possível passar do domínio *Fuzzy* para o *Crisp* com a aplicação da equação 8. Esse resultado representa o IQM de cada grupo de modo de transporte, que são utilizados para compor o IQMU. Os IQMs representam o consenso sobre a percepção de usuários da mobilidade urbana, dentro dos seguintes grupos:

- ✓ IQM-Auto, para usuários de automóveis;
- ✓ IQM-TranspP, para usuários de transporte público (ônibus, trem, metrô, bonde, VLT e barcas);
- ✓ IQM-A-pé, que representa a visão dos pedestres;
- ✓ IQM-Bici, para usuários de bicicletas;
- ✓ IQM-Moto, que representa a visão dos motociclistas;
- ✓ IQM-Táxi-Frete, que agrega a visão dos motoristas de táxi (qualquer tipo) e fretados, como ônibus e utilitários.

RESULTADOS OBTIDOS

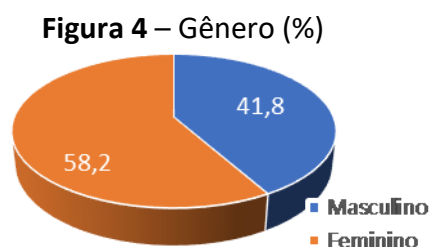
Caracterização quanto aos Respondentes

O respondente foi questionado quanto a ser portador de necessidades especiais (PNE), o gênero de nascimento, a faixa etária e a formação. As frequências das respostas deram-se conforme as figuras 3 a 6.



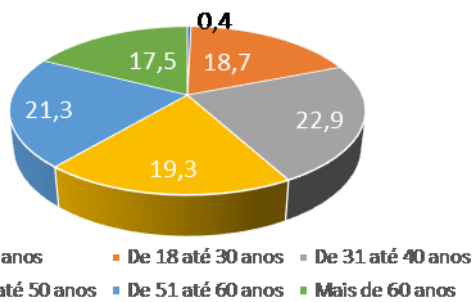
Fonte: própria (2020)

Figura 5 – Faixa etária (%)

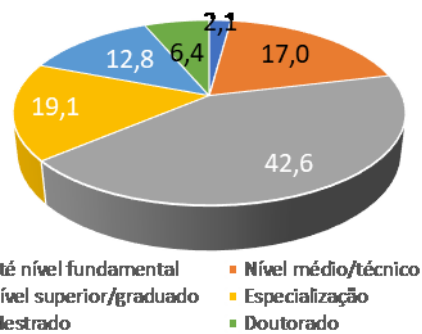


Fonte: própria (2020)

Figura 6 – Formação (%)



Fonte: própria (2020)



Fonte: própria (2020)

Caracterização quanto às Viagens Cotidianas

As características das viagens produzidas pelos respondentes foram qualificadas pela quantidade de baldeações, faixa de tempo de deslocamento, motivo da viagem e modo de transporte preponderante (tempo e/ou distância). As frequências das respostas estão apresentadas nas figuras 7 a 10.

Figura 7 – Quantidade de baldeações (%)



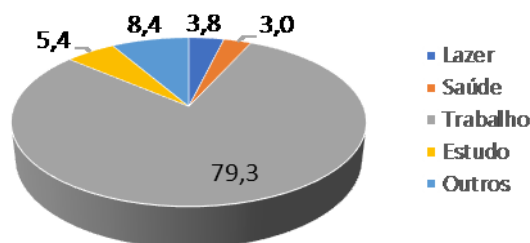
Fonte: própria (2020)

Figura 8 – tempo de deslocamento (%)



Fonte: própria (2020)

Figura 9 – Motivos das viagens (%)



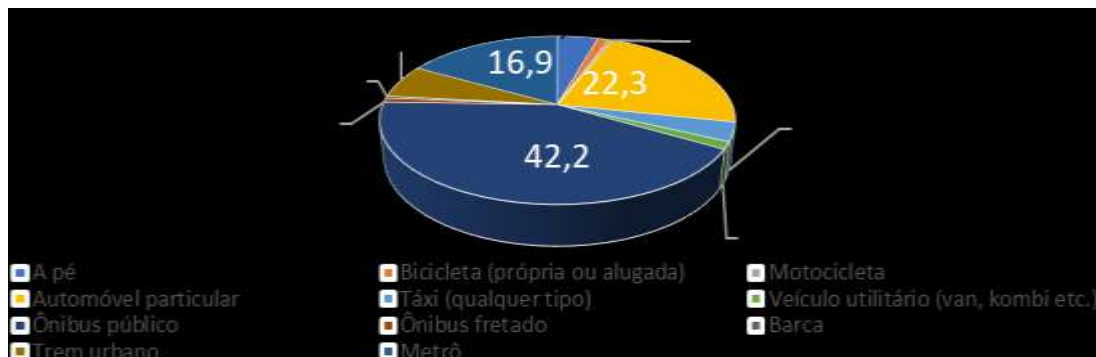
Fonte: própria (2020)

Reflexão sobre a Qualidade da Mobilidade Urbana

Na sequência dos questionamentos sobre as características dos respondentes e o perfil das viagens cotidianas, pergunta-se qual é o modo de movimentação (ou de

transporte) preponderante em seus deslocamentos diários. A frequência das respostas está exposta na Figura 10.

Figura 10 – Participação dos Modos (%)



Fonte: própria (2020)

Com a definição do modo é possível caracterizá-lo quanto aos atributos definidos para cada um, conforme estabelecido no subitem “Definição dos Atributos de Controle”. Após o processamento dos dados pelo modelo matemático para cada modo de movimentação é possível gerar os IQMs que compõem o IQMU. Os resultados estão apresentados na Tabela 2.

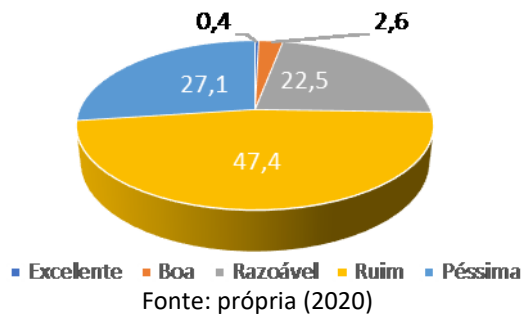
Tabela 2 – Índices de qualidade da mobilidade

IQM-Auto	3,91
IQM-TranspP	3,95
IQM-A-pé	3,96
IQM-Bici	3,22
IQM-Moto	4,00
IQM-Táxi-Frete	5,15
IQMU	4,07

Fonte: própria (2020)

No final do questionário, após a reflexão proporcionada pelas respostas associados aos modos de movimentação, o respondente é convidado a refletir sobre a mobilidade na cidade do Rio de Janeiro/RJ por intermédio da seguinte questão: “Como você percebe a MOBILIDADE na sua cidade?”. As frequências das respostas estão apresentadas na Figura 11.

Figura 11 – Percepção sobre a mobilidade na cidade (%)



A figura 11 denota-se que quase a metade dos respondentes consideram a mobilidade ruim. Nesse sentido, quase $\frac{2}{3}$ da movimentação na cidade do Rio de Janeiro ocorre por transporte público (42,2%) e automóvel particular (22,3%) (Figura 10). Quanto a estes modos, a Tabela 2 apresenta IQM igual a 3,95 e a 3,91, respectivamente.

ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Validação do Modelo Matemático

Para validação do modelo matemático confrontar-se-ão os resultados expostos em 5.3 observando se há coerência na percepção dos respondentes.

Nota-se que a mobilidade é considerada como péssima/ruim por aproximadamente 75% dos respondentes. O IQMU calculado, resultado da agregação dos IQMs, é de 4,07. Confrontando-se este resultado com as *Integrais-Fuzzy* apresentadas nas expressões 10 e 12, reflete-se a percepção de todos os usuários como Péssimo.

Em consideração aos modos de transportes preponderantes no uso para os deslocamentos diários na cidade, têm-se o transporte público e automóvel particular com mais de 60% de utilização. As notas próximas de 4,0 para os respectivos IQMs, quando confrontadas com as mesmas *Integrais-Fuzzy* resultam como rótulo Péssimo. Como se percebe, os resultados denotam coerência quando observado pela visão mais ampliada da mobilidade urbana, bem quando se restringe a análise para parâmetros mais específicos, como os modos de movimentação. Entende-se então que os resultados obtidos são indicativos de que o modelo matemático é válido e representa a visão dos usuários da mobilidade com exatidão.

Ampliação da Análise

Partindo-se do princípio da validade do modelo, é possível dissecar os resultados por intermédio do aprofundamento da análise considerando-se as características dos respondentes e das suas viagens.

Seguindo-se os resultados dos IQMs e do IQMU é possível gerar filtros nos dados de entrada do modelo matemático, usando inicialmente as questões que caracterizam os respondentes. Os dados estão registrados na Tabela 3, tendo a última coluna à direita para cada característica a variação nas notas das colunas anteriores (Δ (%)).

Tabela 3 – Índices de qualidade da mobilidade (características dos respondentes)

IQMs	Gênero			Faixa Etária				Formação		
	Fem.	Masc.	Δ (%)	31-40	41-50	51-60	Δ (%)	Grad.	Espec.	Δ (%)
IQM-Auto	3,65	4,14	13,42	3,94	3,60	3,63	8,63	4,39	3,90	11,16
IQM-TranspP	3,72	4,31	15,86	3,79	3,77	3,74	1,32	3,65	3,88	6,30
IQM-A-pé	3,42	4,64	35,67	4,79	3,17	3,83	33,82	4,46	3,97	10,99
IQM-Bici	3,80	3,05	19,73	3,70	-	2,33	-	2,33	-	-
IQM-Moto	-	4,00	-	-	-	1,67	-	-	-	-
IQM-Táxi-Frete	5,06	5,62	11,07	6,50	5,19	4,44	31,69	5,28	4,75	10,03
IQMU	4,04	4,30	6,43	4,41	4,03	3,21	27,21	4,05	4,14	2,22

Fonte: própria (2020)

Observando-se o gênero na Tabela 3 é possível perceber leve aumento dos graus dos IQMs pela ótica do gênero masculino, com exceção para os usuários de bicicleta, em que se inverte a preponderância. Não existe registro para o gênero feminino como usuário de motocicleta. Quanto às variações, em torno de 10% a 20% em quase todos os IQMs, destacam-se os valores dos índices para pedestres, com quase 36% de diferença nas percepções, e menos de 10% para o IQMU. Esse último resultado pode declarar certa convergência entre as visões de gênero, apesar das oscilações.

Quanto à faixa etária, mais de 60% dos respondentes pertencem à faixa etária entre 31 e 60 anos (Figura 5). Dentre as três faixas questionadas (Tabela 3) registra-se a maior convergência (menor valor de Δ) dos valores do IQM para transporte público entre as três faixas, entretanto, com a visão da qualidade sendo Péssima. Essa realidade

não é notada quando se analisa o IQM para pedestres, por exemplo, com variação entre o maior e o menor valores de aproximadamente 34%. A faixa etária entre 31 e 40 identifica a pior condição (nota 3,17). Para o IQM de táxi e fretados a oscilação gira próximo de 32%, a segunda maior divergência entre as idades, mas com a maior nota individual (nota 6,50), que permeia entre Mediano e Ótimo.

Na abordagem da formação consegue-se notar a maior participação (mais de 60%-Figura 6) entre os respondentes de nível superior, seguido de pós-graduados *latu sensu* (especialistas). Na Tabela 3 não se percebem fortes variações entre as formações para os diversos IQMs. Destaca-se, entretanto, a convergência dos valores do IQMU para as duas faixas abordadas, com pequena diferença, em torno de 2%. As maiores notas são observadas no uso de Táxi-Frete (5,28/4,75) e a segunda pior para transporte público (3,65/3,88). Este perfil de percepção pode ocorrer pela interferência da formação na condição do poder aquisitivo. No sentido oposto, o modo em pior condição para estas formações é por bicicleta (2,33) para graduados, sem registro entre os especialistas.

É possível também analisarem-se os resultados dos IQMs e do IQMU para as características das viagens cotidianas dos respondentes, quanto ao tempo de deslocamento e a quantidade de baldeações.

Mais de 90% dos respondentes ficam até duas horas em movimentações cotidianas entre origem e destino (Figura 8), por isso a consideração de duas faixas de tempo na Tabela 4. No quesito Quantidade de Baldeações, os registros onde não ocorrem trocas de modos de transportes ou quando apenas uma troca se faz necessária, equivalem a quase 70% do total (Figura 7). Nesse sentido considerar-se-á viagens diretas e no máximo uma troca de modo para movimentarem-se (Tabela 4).

Tabela 4 – Índices de qualidade da mobilidade (características das viagens)

IQMs	Tempo de Deslocamento			Quantidade de Baldeações		
	Até 1h.	Entre 1h e 2h.	Δ (%)	0	1	Δ (%)
IQM-Auto	4,12	3,82	7,28	3,96	3,53	10,86
IQM-TranspP	4,68	3,10	33,76	4,71	4,01	14,86
IQM-A-pé	3,98	4,17	4,77	4,19	3,36	19,81
IQM-Bici	3,22	-	-	3,43	-	-

IQM-Moto	4,00	-	-	4,00	-	-
IQM-Táxi-Frete	5,20	-	-	5,64	4,75	15,78
IQMU	4,24	3,71	12,5	4,39	4,03	8,20

Fonte: própria (2020)

Inicialmente vale destacar na Tabela 4 a inexistência de dados de uso de veículos de duas rodas para percursos com duração entre 1h e 2h e onde existam pelo menos uma troca de modo. No quesito tempo de deslocamento, é passível o resultado por questões intrínsecas aos usos dos modos de transportes; entretanto, para a quantidade de trocas de modos, é interessante observar a inexistência de bicicleta para iniciar/completar o percurso (1 baldeação – Tabela 4), característica peculiar desse modo. Também é relevante observar a inexistência de uso de táxi-frete quando o percurso ocorre entre 1h e 2h, por questões óbvias relacionadas ao custo.

Na mesma linha de raciocínio, especificamente para usuários do transporte público o utilizam por mais de 2h sentem-se mais impactados, também por questões óbvias relacionadas ao conforto nos veículos do sistema de transporte do Rio de Janeiro, o que redundava em IQM de aproximadamente 34% menor para aqueles que se submetem por menos de 1 hora.

No Rio de Janeiro, mais de 40% das viagens ocorrem em uma movimentação entre origem e destino, sem necessitar trocas de modos (figura 7). Nesses casos destacam-se os melhores valores de IQMs para Transporte Público e Táxi/Fretados, com 4,71 e 5,64, respectivamente, provavelmente por estarem relacionados ao uso das faixas de BRS que permitem maior fluidez desses modos. Percebe-se, também, boa convergência do IQMU para esse contingente de pessoas, com pequena diferença de 8,2%.

CONCLUSÕES

Inicialmente, é possível concluir que, a partir da metodologia proposta, foi possível atingir o objetivo principal proposto por esse trabalho, com a geração de um modelo matemático que contemplasse a possibilidade de capturar as percepções dos usuários da mobilidade urbana.

Pelo resultado do estudo de caso considera-se o modelo matemático como válido e passível de ser utilizado em outras rodadas de coleta de dados no futuro. Dessa forma, é possível a geração de séries históricas que permitirão apoiar decisões estratégicas, táticas e operacionais em organismos públicos, baseando-se em previsões futuras.

Quanto à análise dos resultados, observa-se que não se esgotam as possibilidades de cruzamentos de dados, por intermédio de filtros e ordenações, quanto às características dos respondentes e das suas viagens. Neste trabalho os filtros foram estabelecidos em uma característica por vez. Nada impede que existam outras visões para os IQMs e o IQMU, tal como se preconiza a análise em múltiplas faces como em um cubo de decisões. Esse fato é indicativo de versatilidade e permite a ampliação de outros atributos pertinentes para análise da mobilidade urbana.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L.N., MORÉ, J.D., VILLELA, L.E. Avaliação Fuzzy Da Percepção De Empresários Do Apl De Moda Intima De Nova Friburgo Sobre O Desempenho Em Relação À Sustentabilidade Ambiental **XIII Simpósio De Administração Da Produção, Logística E Operações Internacionais–SIMPOI**, 2010.

BATISTA, B.B. **Hierarquização Das Características Das Calçadas De Acordo Com A Percepção Dos Usuários** (Trabalho De Conclusão De Curso De Engenharia Civil), Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, 2018.

BOENTE, ALFREDO N. P.; MORÉ, JESÚS DOMECH; COSENZA, HARVEY JOSÉ S. R. Avaliação Fuzzy da Qualidade de Produtos de Software numa Fundação Pública Estadual **VI Simpósio De Excelência Em Gestão E Tecnologia**, 2009.

LEI Nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012. Institui As Diretrizes Da **Política Nacional De Mobilidade Urbana**; Revoga Dispositivos Dos Decretos-Leis Nos 3.326, De 3 De Junho De 1941, E 5.405, De 13 De Abril De 1943, Da Consolidação Das Leis Do Trabalho (Clt), Aprovada Pelo Decreto-Lei No 5.452, De 1o De Maio De 1943, E Das Leis Nos 5.917, De 10 De Setembro De 1973, E 6.261, De 14 De Novembro De 1975; E Dá Outras Providências, 2012.

CARVALHO, C.H.R. E IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA **Mobilidade Urbana Sustentável: Conceitos, Tendências E Reflexões** Texto Para Discussão 2194 ISSN 1415-4765 Brasília, DF, Brasil, 2016.

CORDEIRO, C. DE O.; MACHADO, W. V.; CARVALHO, R. L.; S., HELOISA M. B. C.; DACOL, S. A Visão Do Cliente Para Melhoria Da Qualidade Do Sistema De Transporte Coletivo Por Ônibus **XXV Encontro Nac. De Eng. De Produção**, Porto Alegre, RS, Brasil, 2005.

COSTA, J. F. P. DE A. S. **Aplicação De Um Índice De Avaliação Da Mobilidade Urbana Sustentável Na Cidade Do Rio De Janeiro** (Dissertação Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica Do Rio De Janeiro, Departamento De Engenharia Civil, Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Urbana E Ambiental, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2018.

DA COSTA, C. E. E PINHEIRO, D. M. O Papel Dos Usuários Na Definição De Políticas Públicas De Mobilidade Sustentável **29º Seminário De Iniciação Científica Da Universidade Do Estado De Santa Catarina**, Florianópolis, SC, Brasil, 2019.

DEMING, W. E. **Qualidade: A Revolução Da Administração** Editora Saraiva, 367p., ISBN:8585238151, São Paulo/SP, Brasil, 1990.

DOS SANTOS, M. C. M., LOPES, D. S., DA SILVA, R., LIMA, W. DOS S., DOS SANTOS, M. B. Avaliação Qualitativa Sob A Ótica Dos Usuários Do Transporte Público Urbano De Tucuruí-PA, **32º Congresso De Pesquisa E Ensino Em Transportes Da ANPET**, Gramado/RS, Brasil, 2018.

FERRAZ, L. J., CELLA, B. A. M., DOMINGOS, R. M. A., GUARDA, E. L. A. DA, SANCHES, J.C.M. Índice De Mobilidade Urbana Sustentável (IMUS) Para Os Aspectos Ambientais E Modos Não Motorizados Em Sinop-MTE&S - **Engineering And Science** ISSN: 2358-5390 DOI: 10.18607/Es2020910059 Volume 1, Edição 9, 2020.

FERREIRA, P., GUARDA, E. L. A., LEÃO, M., SANCHES, J., OHIRA, L.S. Índice De Mobilidade Urbana Sustentável (IMUS) Para O Domínio Planejamento Integrado Em Sinop-tem & S – **Engineering And Science** ISSN: 2358-5390 DOI: 10.18607/Es201876143 Volume 2, Edição 7, 2018.

FONSECA, M. J.; BORGES JR., A. A. O Uso Da Pesquisa De Satisfação Do Consumidor Como Instrumento De Política Pública: O Potencial De Uso No Caso Do Transporte Coletivo De Porto Alegre **Revista Interdisciplinar De Marketing**, V.1, N.3, P. 38-50, Set./Dez, 2002.

GUIMARÃES, M. A., COELHO FILHO, L. E., CARVALHO, W. L., MEDRAN, R. M. A. Análise Da Percepção Da Qualidade Do Transporte Público Na Região Metropolitana De Goiânia **32º Congresso De Pesquisa E Ensino Em Transportes Da ANPET**, Gramado, RS, Brasil, 2018.

IBÁÑEZ, D.E.S. **Problemas De Valores De Contorno Envolvendo Teoria De Conjuntos Fuzzy** (Tese De Doutorado) Universidade Estadual De Campinas Instituto De Matemática, Estatística E Computação Científica. Campinas, SP, Brasil, 2018.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA **Censo Brasileiro De 2010**. Rio De Janeiro, RJ, Brasil, 2012.

KUREKE, B. M. C. B. EBERNARDINIS, M. DE A. P. A Utilização De Índices E Indicadores Na Efetividade Da Política Nacional De Mobilidade Urbana Brasileira **Revista Brasileira De Gestão E Desenvolvimento Regional**. V. 15, N. 6, Edição Especial, P. 29-38, Nov. ISSN: 1809-239X, 2019.

KUREKE, B. M. C. B. E BERNARDINIS, M. DE A. P. Indicadores De Mobilidade Urbana Sustentável Para Cidades De Médio Porte: Uma Aplicação Em Cidade De Região Metropolitana Do Paraná Brazilian **Journal Of Development** Curitiba, V. 5, N. 9, P. 13910-13926 Sep. ISSN 2525-8761, 2019.

LIMA, G.C. L. DE S.E CARVALHO, G.S.D. DE Indicadores De Qualidade Na Regulação Do Transporte Coletivo Por Ônibuse Suas Aplicações No Brasil **32º Congresso De Pesquisa E Ensino Em Transportes – ANPET** Nov. Gramado, RS, Brasil, 2018.

MACEDO, M. H.; DA SILVA, A. N. R. E COSTA, M. D. S. Abordagem Sistêmica Da Mobilidade Urbana: Reflexões Sobre O Conceito E Suas Implicações. Anais Do **3º Congresso Luso Brasileiro Para O Planejamento Urbano, Regional, Integrado E Sustentável - Pluris**, Santos, SP, Brasil, 2008.

MEYER, B.E GUNTHER, H. F. Controle Externo E Políticas Públicas De Mobilidade urbana: O Caso Da Região Metropolitana Da Grande Florianópolis **RGO -Revista Gestão Organizacional**, V. 12, N. 4, P. 43-62, Set./Dez. ISSN 1983-6635, 2019.

MONTEVECHI, J.A. BARRA E PINHO, A. F. DE Incertezas Em Algoritmos De Programação De Operações **Encontro Nacional De Engenharia De Produção – ENEGEP**, 1999.

MOURA, L. S. A Percepção Do Nível De Serviços Do BRT **Transcarioca Sob O Ponto De Vista Dos Usuários** (Dissertação De Mestrado Em Engenharia Urbana E Ambiental), PUC-Rio, Rio De Janeiro, RJ, Brasil, 2018.

NTU - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS **Desempenho E Qualidade Nos Sistemas De Ônibus Urbanos** Brasília, DF, Brasil, 2008.

OLIVEIRA JR., H. A. **Lógica Difusa – Aspectos Práticos E Aplicações** 192 Pgs. Editora Interciência, Rio De Janeiro, RJ, Brasil, 1999.

ORTEGA, N. R. SI. **Aplicação Da Teoria De Conjuntos Fuzzy a Problemas Da Biomedicina** (Tese De Doutorado), Universidade De São Paulo, Instituto De Física, São Paulo, SP, Brasil, 2001.

PEREIRA, J. I. DA S. **Avaliação Da Qualidade Do Transporte Público Coletivo Por Ônibus Na Percepção Dos Usuários Da Universidade De Brasília** (Trabalho De Conclusão De Curso De Engenharia Civil), Universidade De Brasília, Brasília, DF, Brasil, 2018.

PINHO, A. F. DE; MONTEVECHI, J. A. B.E PAMPLONA, E. DE O. Aplicação De Números Fuzzy Triangulares Em Análises De Investimentos Em Situações De Incerteza - Método Baseado Na Teoria Dos Jogos. **Encontro Nacional De Engenharia De Produção – ENEGEP**, 1997.

PINTO, L. A. M.E GALVÃO, H. M. Mobilidade Urbana Sustentável: Modelo Aplicado Para O Município De Aparecida-SP **Revista De Administração Do Unifatea**, V. 17, N. 17, Jul./Dez, 2018.

PRODANOV, C. C. E FREITAS, E. C. DE **Metodologia Do Trabalho Científico [Recurso Eletrônico]: Métodos E Técnicas Da Pesquisa E Do Trabalho Acadêmico**, 2. Ed. – Novo Hamburgo, RS, Brasil, 2013.

REZENDE, D. S., DE ARO, E. R. Análise Dos Indicadores De Mobilidade Urbana No Programa De Desenvolvimento Institucional Integrado — PDI. **Revista Prumo**, V. 5, N. 8, Mar. ISSN 2446-7340. Recuperado de <http://Periodicos.Puc-Rio.Br/Index.Php/Revistaprumo/Article/View/1170>. DOI: <Http://Dx.Doi.Org/10.24168/Revistaprumo.V0i8.1170>, 2020.

RODRIGUES, M. A. E SORRATINI, J. A. A Qualidade No Transporte Coletivo Urbano **XXII Anpet – Congresso De Pesquisa E Ensino Em Transportes**, Ceará, Brasil, 2008.

RODRIGUES, M. O. **Avaliação Da Qualidade Do Transporte Coletivo Da Cidade De São Carlos** (Dissertação De Mestrado Em Engenharia De Transportes), Universidade De São Paulo, 85p., São Carlos, SP, Brasil, 2006.

ROSS, T. J. **Fuzzy Logic With Engineering Applications** Ed. Mcgraw-Hill, USA, 1999.

SÁ, I. I. R. DE; MORE, J. D., FERNANDES, C. A. Um Enfoque Fuzzy Para Avaliação Das Ações Empresariais Segundo A Percepção Do Consumidor Área Gestão Social E Ambiental **IV Simpósio De Excelência Em Gestão E Tecnologia**, 2007.

SHAW, I. S. E SIMÕES, M. G. **Controle E Modelagem Fuzzy** 1ª Ed. Edgard Blucher-FAPESP, São Paulo, SP, Brasil, 1999.

SILVA, M. B. DA **Um Estudo Sobre Operações Aritméticas Com Números Fuzzy** (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal De São Carlos -UFSCAR Centro De Ciências Exatas E Tecnologias Programa De Pós-Graduação Em Ensino De Ciências Exatas, São Carlos, SP, Brasil, 2020.

SILVA, N. O. DA; FREIRE, F. DE S.; SANTOS, S. DE S. Políticas Públicas De Mobilidade Urbana: A Percepção Do Usuário Do Transporte Público No Distrito Federal: The Perception Of The User Of Public Transportation In The Federal District. **Rp3 - Revista De Pesquisa Em Políticas Públicas**, N. 2, 29 Abr. ISSN: 2317-921X, 2020.

SUCENA, M. P.; DA SILVA, V. L.; PEREIRA, A. L.; PORTUGAL, L. DA S. Uma Aplicação Da Lógica Fuzzy Para A Melhoria Da Mobilidade Urbana Focada No Usuário **XIISIMPEP – Simpósio De Engenharia De Produção**, Bauru, SP, Brasil, 2005.

SUCENA, M. P.; PEREIRA, A. L. Modelo Fuzzy, Baseado Em Indicadores De Sustentabilidade, Para Avaliação Da Qualidade Ambiental: O Caso Do Bonde De Santa Teresa **IIPluris - Congresso Luso Brasileiro Para Planejamento, Urbano, Regional, Integrado, Sustentável**, Braga, Portugal, 2006.

TANAKA, K. **An Introduction To Fuzzy Logic For Practical Applications** Springer-Verlag, New York, USA, 1997.

TISCHER, V. E POLETTE, M. Sistema De Avaliação De Cidades De Referência Em Transportes E Mobilidade Urbana Sustentável. **Cad. Metrop. [Online]**. Vol.21, N.45, Pp.481-509. Epub June 03, 2019. ISSN 2236-9996, 2019.

VASCONCELOS, A. S. DA S. **As Percepções Dos Usuários Sobre A Qualidade Do Transporte Público De Passageiros No Município De Betim – MG** (Dissertação De Mestrado Profissional Em Administração), Faculdades Integradas Dr. Pedro Leopoldo, 100p., Pedro Leopoldo, RS, Brasil, 2009.

Marcelo Prado Sucena – Pós-Doutorado pela COPPE/UFRJ/LASUP - Laboratório de Aplicações de Supercondutores - Programa de Engenharia de Elétrica (Modelo Neuro-Fuzzy para gerenciamento ambiental da operação do trem de levitação magnética - MagLev-Cobra), Doutor em Engenharia de Transportes pela COPPE/UFRJ (Modelo Neuro-Fuzzy Sistêmico para subsidiar alocação de recursos), Mestre em Engenharia de Transportes pelo Instituto Militar de Engenharia (IME) (Procedimento para identificação de elementos críticos, com FMECA, para subsidiar alocação de recursos), Graduado em Engenharia Elétrica - Ênfase em Eletrotécnica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - CEFET/RJ (Programa em FORTRAN para equilíbrio de rede de energia com contingência). É pesquisador do FGV Transportes. Atuou em várias frentes na Cia Estadual de Engenharia de Transportes e Logística (CENTRAL) e Secretaria de Transportes do Estado do Rio de Janeiro, em destaque como Assessor da Subsecretaria de Transportes e na Diretoria de Administração e Finanças, como Chefe de Departamento de Monitoração de Transportes e como Analista de Sistemas. Atuou também como representante da SETRANS para planejamento de transportes nos Jogos Mundiais Militares, Rio+20 e candidatura para as Olimpíadas de 2016. Foi professor/pesquisador do Instituto Militar de Engenharia (pós-graduação em nível de especialização e mestrado) e na Universidade Estácio de Sá (graduação e pós-graduação). Foi professor terceirizado na Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ/NUSEG (pós-graduação) e na Escola Técnica Estadual Engenheiro Silva Freire. É autor de vários artigos em congressos, seminários e periódicos. Tem larga experiência nas áreas das Engenharias de produção, de transporte, de sistemas e de manutenção, além das áreas inteligência artificial, pesquisa operacional, gestão do conhecimento e tecnologia metroferroviária.

Marcus Vinicius Quintella Cury - Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro-COPPE (1999), Mestre em Sistemas e Computação, com ênfase em Transportes, pelo Instituto Militar de Engenharia-IME (1989), Pós-graduado em Administração Financeira pela Fundação Getúlio Vargas-FGV (1995) e Engenheiro Civil pela Universidade Veiga de Almeida (1981). Desde outubro/2014, atua como consultor em logística e transportes na FGV Projetos. De maio/2011 a setembro/2014, ocupou a posição de Diretor de Engenharia de Transportes da Odebrecht TransPort. Entre setembro/2007 e abril/2011, ocupou o cargo de Diretor Técnico da Companhia Brasileira de Trens Urbanos-CBTU. É professor convidado do IME e da FGV e atua como coordenador acadêmico dos cursos MBA e Post-MBA da FGV. É International Assessment Partner do EQUAA - Education Quality Accreditation Agency. Tem experiência em Engenharia e Economia de Transportes, principalmente rodoviário e metroferroviário, e tem as seguintes áreas de interesse: sistemas metroferroviários e rodoviários, de carga e passageiros, análise financeira de projetos, lógica fuzzy, empreendedorismo, avaliação social e econômica de projetos, modelagens financeiras e finanças corporativas.

Recebido para publicação em 16 de junho de 2023.

Aceito para publicação em 04 de agosto de 2023.

Publicado em 15 de agosto de 2023.