



## APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP: DEFININDO INDICADORES ESSENCIAIS PARA TORNAR UMA CIDADE INTELIGENTE

Carlos Eduardo Gomes de Souza<sup>1</sup>

Orlando Celso Longo<sup>2</sup>

Luciane Ferreira Alcoforado<sup>3</sup>

Lorena de Oliveira Pedroza Coutinho<sup>4</sup>

### Resumo

Este estudo empregou a Análise Hierárquica de Processos (AHP) para explorar o papel crítico da Mobilidade Urbana no contexto das cidades inteligentes, com o foco na cidade do Rio de Janeiro. O artigo visa orientar sobre tomada de decisão, à gestão de cidades de porte similar, na criação de plano diretor eficiente que atenda aos anseios da população e melhore a qualidade de vida da sociedade. O processo envolveu a utilização de software de linguagem R para o tratamento dos dados, com a criação de Matrizes de Comparação e a avaliação da Razão de Consistência (CR) para garantir a robustez das escolhas. A análise culminou na Tabela Final, que destaca os pesos relativos de critérios e alternativas. Os resultados revelaram que o indicador "outros modais de transportes (massa)" emergiu como a alternativa mais relevante para integrar o plano diretor de cidades inteligentes, reforçado pela necessidade de eficiência e rapidez nos deslocamentos urbanos. Se destacando com um impacto significativo na percepção dos especialistas sobre o desenvolvimento urbano inteligente, seguido pelas alternativas "bilhete eletrônico", "ônibus/automóveis", "semáforos inteligentes" e "ciclovias", respectivamente. Esta conclusão visa direcionar a decisão do gestor da cidade sobre as escolhas e as necessidades de investimentos nos indicadores do eixo em questão. Assim como, reforça a importância do método AHP como uma ferramenta valiosa para orientar decisões complexas em ambientes urbanos dinâmicos. Oferecendo insights fundamentais para priorizar e escalonar os indicadores que deverão ser incorporados no plano diretor para auxiliar na criação e, ou, sustentabilidade de cidades inteligentes.

**Palavras-chave:** Cidades inteligentes, mobilidade urbana, análise multicritério (AHP), plano diretor, linguagem R

---

<sup>1</sup> Universidade Federal Fluminense (UFF), carlosegs@id.uff.br

<sup>2</sup> Universidade Federal Fluminense (UFF), orlandolongo@id.uff.br

<sup>3</sup> Academia da Força Aérea (AFA), luciane@id.uff.br

<sup>4</sup> Universidade Federal Fluminense (UFF), lorenapedroza@id.uff.br

**Abstract**

This study employed the Analytic Hierarchy Process (AHP) to explore the critical role of Urban Mobility in the context of smart cities, focusing on Rio de Janeiro. The article aims to guide decision-making for managing similarly sized cities in creating an efficient master plan that meets the population's needs and improves the society's quality of life. The process involved using R language software for data processing, creating Comparison Matrices, and evaluating the Consistency Ratio (CR) to ensure robust choices. The analysis culminated in the Final Table, highlighting the relative weights of criteria and alternatives. The results revealed that the "other mass transport modes" indicator emerged as the most relevant alternative to integrate into the smart city master plan, underscored by the need for efficiency and speed in urban travel. This indicator had a significant impact on experts' perceptions of intelligent urban development, followed by the alternatives "electronic ticketing," "buses/cars," "smart traffic lights," and "bike lanes," respectively. This conclusion aims to guide city managers in their decisions and investment needs for the relevant indicators. It also underscores the importance of the AHP method as a valuable tool for guiding complex decisions in dynamic urban environments, offering fundamental insights to prioritize and rank the indicators that should be incorporated into the master plan to aid in the creation and sustainability of smart cities.

**Keywords:** Smart cities, urban mobility, multi-criteria analysis (AHP), master plan, R language

**1. Introdução**

Este estudo tem como objetivo ampliar o entendimento sobre a elaboração de planos diretores para cidades inteligentes, com foco na análise multicritério para a tomada de decisões em relação aos indicadores de mobilidade urbana. Utilizando o método AHP, por meio da linguagem R, calculamos os pesos dos fatores e construímos uma matriz de julgamento baseada nas avaliações de especialistas. Em seguida realizamos o teste de consistência e elaboramos a tabela final, que foi utilizada para obter o escalonamento decrescente de todos os indicadores (Liu et al., 2020).

O sistema R, um ambiente de análise de código aberto independente de plataforma, tem sido amplamente reconhecido como uma ferramenta essencial para computação estatística e gráficos (Ihaka & Gentleman, 1996). Sua versatilidade permite adaptações específicas para diversas áreas de aplicação, incluindo análises estatísticas e gráficas de alta qualidade (Paradis et al., 2003).



Focando no tema da Mobilidade Urbana e em seus dez indicadores de melhoria, conforme orientado pela instituição Ranking Connected na edição de 2023, este artigo ilustra como a aplicação da AHP se revela uma ferramenta robusta na orientação decisória.

Dado o caráter interdisciplinar na análise dos dados orientadores, o estilo da tomada de decisão é categorizado de acordo com as disciplinas envolvidas (Hu & Zhang, 2019). As decisões abrangem diversas situações-problema que necessitam ser resolvidas, exigindo uma análise detalhada e criteriosa associada aos objetivos do responsável pela tomada de decisão (Saaty, 2008).

Komninos et al. (2009) enfatiza que os projetos de cidades inteligentes vão além de simples avanços tecnológicos, representando esforços conscientes para transformar fundamentalmente a vida e o trabalho em uma região. A tecnologia, nesse contexto, desempenha um papel fundamental na melhoria substancial do ambiente urbano.

A pesquisa propõe analisar e classificar os dez indicadores de mobilidade urbana, conforme dados do Ranking Connected 2023, os quais serão alternativas para utilização da AHP, visando identificar a ordem de prioridade dessas ações. A escolha do eixo da mobilidade urbana se baseia em sua compreensibilidade pela maioria da população e em sua identificação como um dos drivers prioritários para a melhoria da inteligência das cidades (Guedes et al., 2018).

O estudo visa responder à questão central: "Para a concepção de um plano diretor em cidades inteligentes, especialmente no contexto da mobilidade urbana, quais indicadores teriam o maior impacto na percepção da comunidade local?". Ao concentrar-se em um eixo temático e em seus indicadores específicos, o estudo oferece uma base sólida sobre como a AHP pode contribuir para a tomada de decisões. Promovendo a criação de planos diretores mais eficientes e alinhados com as reais necessidades da cidade.

## **2. Objetivo**

Este estudo tem como objetivo principal de analisar a Mobilidade Urbana em cidades inteligentes, com base na cidade do Rio de Janeiro, que servirá de exemplificação do método para aplicação em outras cidades. O artigo busca priorizar e selecionar as alternativas mais viáveis para compor um plano diretor para cidades inteligentes. O escalonamento de prioridades do eixo proposto foi realizado pela aplicação da metodologia do Analytic Hierarchy Process (AHP), por meio da utilização do software de linguagem R. Considera-se que a melhoria da inteligência de uma cidade é um trabalho gradual, influenciado por diversos fatores, inclusive recursos financeiros. Através de uma análise sistemática proporcionada pelo AHP, pretende-se identificar os indicadores mais impactantes na percepção de especialistas com experiência em desenvolvimento de cidades. Os resultados obtidos têm o propósito de contribuir para o desenvolvimento de



estratégias e políticas que promovam uma mobilidade urbana mais sustentável, eficiente e inclusiva em cidades inteligentes.

### **3. Material e Método**

A seção de Material e Métodos descreve o arcabouço metodológico utilizado para analisar a Mobilidade Urbana em cidades inteligentes. São apresentadas as etapas desde a definição dos critérios e alternativas até a análise dos resultados. O Analytic Hierarchy Process (AHP) foi escolhido devido à sua capacidade de lidar com a complexidade dos ambientes urbanos e proporcionar uma abordagem estruturada para a tomada de decisões em múltiplos critérios. A análise de dados foi conduzida utilizando o software gratuito R, que oferece recursos poderosos para manipulação, visualização e análise estatística de dados.

#### **3.1. Metodologia AHP**

O Analytic Hierarchy Process (AHP), desenvolvido por Thomas L. Saaty em 1977, é uma técnica consagrada para tomada de decisões em ambientes complexos. Esta abordagem integra aspectos quantitativos e qualitativos, permitindo uma análise abrangente de múltiplos critérios. Utilizado como método de Auxílio à Decisão por Múltiplos Critérios (MDCA), o AHP proporciona uma estrutura hierárquica para priorizar e selecionar alternativas ou projetos, considerando fatores tangíveis e intangíveis.

#### **3.2. Critérios e Alternativas**

Os critérios (Tabela 1), estabelecidos para a avaliação dos indicadores do eixo da Mobilidade Urbana, foram definidos com o intuito de fornecer uma visão abrangente dos aspectos relevantes para a tomada de decisões em cidades inteligentes. As alternativas (Tabela 2) composta dos indicadores desse eixo, por meio de análise estruturada, serão escalonadas da mais para a menos importante. Direcionando a tomada de decisão para um planejamento urbano inteligente dentro de um plano diretor inicial ou atualizado.

#### **3.3. Desenvolvimento do Estudo e Análise de Dados**

O estudo foi desenvolvido com a participação de especialistas qualificados em cidades inteligentes, todos com formação superior e experiência em desenvolvimento de cidades. Eles receberam questionários detalhados sobre os critérios e alternativas, que foram baseados na plenitude do eixo mobilidade urbana.

A análise de dados foi realizada por meio da linguagem de programação R, que serviu de sistema para a utilização da AHP, combinação que proporcionou uma tomada de decisão mais ajustada.

Este estudo foi conduzido de acordo com os princípios éticos da pesquisa científica e respeitou a confidencialidade e privacidade dos participantes.



#### 4. Resultados e Discussão

Esta seção destaca os resultados da aplicação da metodologia Analytic Hierarchy Process (AHP) na avaliação da mobilidade urbana em cidades inteligentes. Os dados foram obtidos por meio de entrevistas com especialistas experientes em desenvolvimento urbano e ambientes inteligentes. A análise abrange diversos aspectos, desde a hierarquização de critérios e alternativas até a seleção criteriosa de julgadores e a elaboração de matrizes de comparação. Além disso, são apresentadas as razões de consistência, fundamentais para avaliar a confiabilidade dos resultados. Por meio dessa análise minuciosa, foi possível fornecer insights relevantes para subsidiar o desenvolvimento de estratégias e políticas voltadas para uma mobilidade urbana mais sustentável, eficiente e inclusiva.

##### 4.1. Critérios e Alternativas

Foram estabelecidos critérios para que os julgadores pudessem avaliar os indicadores de mobilidade urbana, permitindo um escalonamento desses indicadores para determinar prioridades em um plano diretor de cidades inteligentes. Os critérios e alternativas foram descritos de forma a orientar a classificação dos julgadores, oferecendo uma visão mais abrangente sobre o tema.

**Tabela 1** – Relação de critérios e descrições

ID	Critérios	Descrição
C1	Acessibilidade e Inclusão	Considera o grau de acessibilidade oferecido pelo sistema de transporte e sua capacidade de inclusão, garantindo que todos à mobilidade urbana.
C2	Eficiência e Rapidez	Reflete a capacidade do sistema de transporte em proporcionar deslocamentos eficientes e rápidos, levando em conta tempos de viagem e fluxo de tráfego.
C3	Impacto Social e Equidade	Examina as consequências sociais das políticas de mobilidade urbana, incluindo aspectos como equidade no acesso ao transporte, impacto em comunidades vulneráveis e justiça social.
C4	Qualidade de Vida	Avalia o impacto das medidas de mobilidade urbana na qualidade de vida dos habitantes, considerando aspectos como conforto, saúde e bem-estar.
C5	Sustentabilidade Ambiental	Analisa o impacto ambiental das políticas de mobilidade urbana, levando em consideração aspectos como emissões de gases de efeito estufa, poluição do ar e uso de recursos naturais.



ID	Critérios	Descrição
C6	Tecnologia e Inovação	Avalia o uso de tecnologias inovadoras e inteligentes no planejamento e operação do sistema de transporte urbano, visando melhorar sua eficiência e sustentabilidade.

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2023

**Tabela 2** – Relação de alternativas e descrições

ID	Alternativas	Descrição
A1	Automóveis/ Habitantes	Representa a proporção de veículos automotores em relação à população da cidade, refletindo a densidade veicular e seu impacto na mobilidade urbana.
A2	Idade média da frota de veículos	Indica a idade média dos veículos em circulação na cidade, sendo um indicador da renovação e modernização da frota e sua influência na qualidade do transporte.
A3	Ônibus/Automóveis	Avalia a relação entre o número de veículos automotores e a disponibilidade de transporte público por ônibus na cidade, destacando a proporção entre esses modais.
A4	Outros modais de Transporte (massa)	Inclui alternativas de transporte em massa, como metrô, trem e BRT, analisando sua disponibilidade, eficiência e abrangência na mobilidade urbana.
A5	Ciclovias	Refere-se à extensão e qualidade da infraestrutura cicloviária na cidade, considerando sua contribuição para a mobilidade sustentável e a segurança dos ciclistas.
A6	Conexões rodoviárias entre estados	Avalia a qualidade das conexões viárias entre a cidade e outras localidades, influenciando o fluxo de pessoas e mercadorias e sua integração com a rede de transporte.
A7	Destinos Aeroviários	Considera a infraestrutura e a acessibilidade dos aeroportos da cidade, bem como sua conectividade com outros destinos, impactando a mobilidade aérea e o turismo.
A8	% de veículos de baixa emissão	Representa a proporção de veículos com baixas emissões de poluentes na frota da cidade, destacando a contribuição para a redução da poluição atmosférica e ambiental.
A9	Bilhete eletrônico transporte público	Reflete a adoção de sistemas de bilhetagem eletrônica no transporte público, analisando sua eficiência, conveniência e acessibilidade para os usuários.



ID	Alternativas	Descrição
A10	Semáforos Inteligentes	Indica a implementação de sistemas inteligentes de controle de semáforos na cidade, visando otimizar o fluxo de tráfego, reduzir congestionamentos e melhorar a fluidez viária.

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2023

#### 4.2. Desenvolvimento do Questionário

A elaboração do questionário foi minuciosamente planejada para explorar a questão central deste estudo: "Para a concepção de um plano diretor em cidades inteligentes, especialmente no contexto da mobilidade urbana, quais indicadores teriam o maior impacto na percepção da comunidade local?". Com o objetivo de obter insights valiosos e fundamentar as decisões, foram formuladas questões estratégicas que direcionam a atenção dos especialistas para a análise dos indicadores do eixo selecionado. A estrutura do questionário busca capturar avaliações precisas e ponderadas, refletindo a expertise dos especialistas em suas áreas de atuação. A formulação cuidadosa das questões e a definição da escala de avaliação visam garantir a consistência e relevância das respostas, contribuindo significativamente para o desenvolvimento deste trabalho acadêmico.

O questionário foi dividido em duas partes principais: uma destinada à avaliação dos critérios e outra voltada para a avaliação das alternativas. Na primeira parte, os especialistas foram solicitados a avaliar a importância de cada critério na análise da mobilidade urbana, atribuindo uma pontuação de acordo com sua relevância. Já na segunda parte, os especialistas foram convidados a comparar pares de alternativas, indicando qual delas consideravam mais adequada em relação a cada critério. Essa comparação permitiu a construção das matrizes de comparação utilizadas na aplicação da metodologia AHP.

#### 4.3. Seleção de Julgadores

A seleção criteriosa dos julgadores desempenha um papel fundamental na aplicação bem-sucedida da metodologia AHP. Para este estudo, foram selecionados nove especialistas qualificados, sendo dois arquitetos, dois engenheiros civis, três profissionais de gestão de cidades e dois especialistas em cidades inteligentes. Todos possuem formação superior e experiência em desenvolvimento de cidades inteligentes, foram cuidadosamente selecionados, garantindo uma visão abrangente e especializada sobre o tema.

Essa abordagem visa assegurar uma avaliação robusta e fundamentada. Os especialistas receberam os questionários detalhados sobre os critérios e alternativas em 22 de novembro de 2023 e devolveram suas respostas até 25 de novembro de 2023, proporcionando uma contribuição valiosa para o desenvolvimento deste trabalho acadêmico.

Essa meticulosa seleção e envolvimento dos julgadores reforçam a confiabilidade e relevância das avaliações no contexto da análise multicritério.

#### 4.4. Árvore Hierárquica

A Árvore Hierárquica é uma ferramenta visual essencial para a aplicação da Análise Hierárquica (AHP) no estudo da Mobilidade Urbana. Ela organiza os critérios e subcritérios hierarquicamente, proporcionando uma visão estruturada das relações entre os elementos analisados. Essa organização facilita a compreensão da importância relativa dos critérios na tomada de decisões, permitindo visualizar as interconexões entre eles e fornecendo insights sobre a complexidade de cada componente.

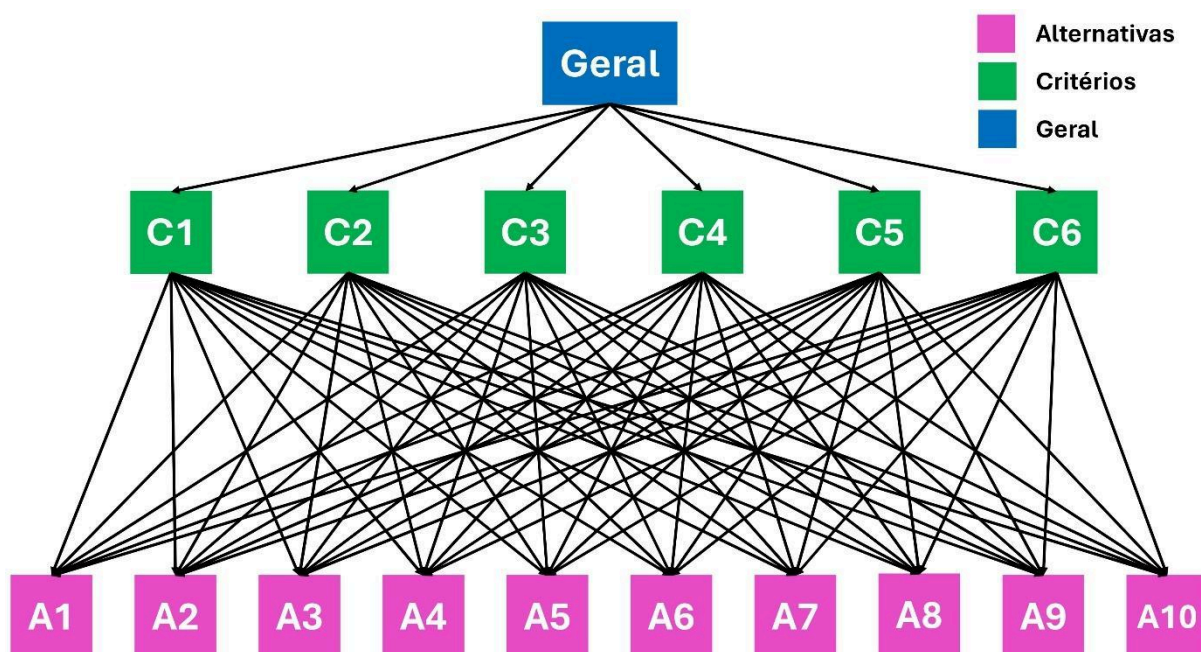


Figura 1 – Árvore hierárquica

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2023

#### 4.5. Escala Fundamental de Saaty

A escala fundamental de Saaty, composta por nove valores de 1 a 9, é uma ferramenta crucial no método AHP, facilitando comparações pareadas de elementos e quantificando preferências em processos decisórios. Essa escala, embora subjetiva e baseada nas percepções do tomador de decisão, fornece informações valiosas sobre a importância relativa de critérios e alternativas em análises multicritério, destacando a necessidade de reflexão cuidadosa ao atribuir valores e interpretar suas significâncias.

Tabela 3 – Escala fundamental de Saaty



Valor	Interpretação
1	<b>Igualdade:</b> Os elementos são considerados igualmente importantes.
2	<b>Importância pequena:</b> Existe uma ligeira preferência de um elemento sobre o outro.
3	<b>Importância moderada:</b> O elemento em consideração tem uma importância moderada em relação ao outro.
4	<b>Importância intermediária:</b> O elemento em consideração tem uma importância intermediária entre os valores adjacentes.
5	<b>Importância considerável:</b> O elemento em consideração tem uma importância considerável em relação ao outro.
6	<b>Importância significativa:</b> O elemento em consideração tem uma importância significativa em relação ao outro.
7	<b>Importância forte:</b> O elemento em consideração tem uma importância forte em relação ao outro.
8	<b>Importância muito forte:</b> O elemento em consideração tem uma importância muito forte em relação ao outro.
9	<b>Importância absoluta:</b> O elemento é de importância absoluta em relação ao outro.

Fonte: AHPWizaRd, 2023

#### 4.6. Criar as Matrizes de Comparação

Aqui está uma das etapas mais desafiadoras do método. Após definir os critérios e as alternativas, é necessário estabelecer as relações de comparação entre eles. Para isso, é crucial contar com a participação de especialistas, que realizarão os julgamentos, comparando os critérios e as alternativas par a par. A partir dessas comparações, será possível construir as matrizes de comparação, onde cada elemento representa a importância relativa de um critério ou alternativa em relação aos demais. Essa importância é expressa por um número na escala de 1 a 9, seguindo a escala fundamental de Saaty. Com 6 critérios e 10 alternativas, será necessário criar 7 matrizes de julgamento, uma para cada critério e uma adicional para as alternativas.

**Tabela 4 – M1: Matriz de comparação - critérios**

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1.00	0.67	3.00	0.50	2.00	1.20
C2	1.50	1.00	3.50	0.67	2.50	1.70
C3	0.33	0.29	1.00	0.25	0.50	0.36
C4	2.00	1.50	4.00	1.00	3.00	2.20
C5	0.50	0.40	2.00	0.33	1.00	0.56
C6	0.83	0.59	2.80	0.45	1.80	1.00

Fonte: AHPWizaRd, 2023

**Tabela 5 – M2: Matriz de Comparação - Alternativas sob a luz do Critério 1**



	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A1	1.00	1.50	0.20	0.18	0.22	0.29	0.67	0.40	0.18	0.22
A2	0.67	1.00	0.18	0.17	0.20	0.25	0.50	0.33	0.17	0.20
A3	5.00	5.50	1.00	0.67	1.50	2.50	4.50	3.50	0.67	1.50
A4	5.50	6.00	1.50	1.00	2.00	3.00	5.00	4.00	1.00	2.00
A5	4.50	5.00	0.67	0.50	1.00	2.00	4.00	3.00	0.50	1.00
A6	3.50	4.00	0.40	0.33	0.50	1.00	3.00	2.00	0.33	0.50
A7	1.50	2.00	0.22	0.20	0.25	0.33	1.00	0.50	0.20	0.25
A8	2.50	3.00	0.29	0.25	0.33	0.50	2.00	1.00	0.25	0.33
A9	5.50	6.00	1.50	1.00	2.00	3.00	5.00	4.00	1.00	2.00
A10	4.50	5.00	0.67	0.50	1.00	2.00	4.00	3.00	0.50	1.00

Fonte: AHPWizaRd, 2023

**Tabela 6** – M3: Matriz de Comparação - Alternativas sob a luz do Critério 2

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A1	1.00	1.50	0.25	0.17	0.18	0.22	1.00	0.20	0.18	0.18
A2	0.67	1.00	0.22	0.15	0.17	0.20	0.67	0.18	0.17	0.17
A3	4.00	4.50	1.00	0.33	0.40	0.67	4.00	0.50	0.40	0.40
A4	6.00	6.50	3.00	1.00	1.50	2.50	6.00	2.00	1.50	1.50
A5	5.50	6.00	2.50	0.67	1.00	2.00	5.50	1.50	1.00	1.00
A6	4.50	5.00	1.50	0.40	0.50	1.00	4.50	0.67	0.50	0.50
A7	1.00	1.50	0.25	0.17	0.18	0.22	1.00	0.20	0.18	0.18
A8	5.00	5.50	2.00	0.50	0.67	1.50	5.00	1.00	0.67	0.67
A9	5.50	6.00	2.50	0.67	1.00	2.00	5.50	1.50	1.00	1.00
A10	5.50	6.00	2.50	0.67	1.00	2.00	5.50	1.50	1.00	1.00

Fonte: AHPWizaRd, 2023

**Tabela 7** – M4: Matriz de Comparação - Alternativas sob a luz do Critério 3

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A1	1.00	6.00	0.67	0.67	1.00	1.00	3.50	2.00	0.67	1.00
A2	0.17	1.00	0.15	0.15	0.17	0.17	0.29	0.20	0.15	0.17
A3	1.50	6.50	1.00	1.00	1.50	1.50	4.00	2.50	1.00	1.50
A4	1.50	6.50	1.00	1.00	1.50	1.50	4.00	2.50	1.00	1.50
A5	1.00	6.00	0.67	0.67	1.00	1.00	3.50	2.00	0.67	1.00
A6	1.00	6.00	0.67	0.67	1.00	1.00	3.50	2.00	0.67	1.00
A7	0.29	3.50	0.25	0.25	0.29	0.29	1.00	0.40	0.25	0.29
A8	0.50	5.00	0.40	0.40	0.50	0.50	2.50	1.00	0.40	0.50
A9	1.50	6.50	1.00	1.00	1.50	1.50	4.00	2.50	1.00	1.50
A10	1.00	6.00	0.67	0.67	1.00	1.00	3.50	2.00	0.67	1.00

Fonte: AHPWizaRd, 2023

**Tabela 8** – M5: Matriz de Comparação - Alternativas sob a luz do Critério 4

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A1	1.00	1.00	0.17	0.20	0.25	0.22	0.25	0.33	0.20	0.17
A2	1.00	1.00	0.17	0.20	0.25	0.22	0.25	0.33	0.20	0.17
A3	6.00	6.00	1.00	2.00	3.00	2.50	3.00	4.00	2.00	1.00
A4	5.00	5.00	0.50	1.00	2.00	1.50	2.00	3.00	1.00	0.50
A5	4.00	4.00	0.33	0.50	1.00	0.67	1.00	2.00	0.50	0.33
A6	4.50	4.50	0.40	0.67	1.50	1.00	1.50	2.50	0.67	0.40
A7	4.00	4.00	0.33	0.50	1.00	0.67	1.00	2.00	0.50	0.33
A8	3.00	3.00	0.25	0.33	0.50	0.40	0.50	1.00	0.33	0.25
A9	5.00	5.00	0.50	1.00	2.00	1.50	2.00	3.00	1.00	0.50
A10	6.00	6.00	1.00	2.00	3.00	2.50	3.00	4.00	2.00	1.00

Fonte: AHPWizaRd, 2023

**Tabela 9** – M6: Matriz de Comparação - Alternativas sob a luz do Critério 5

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A1	1.00	0.50	0.20	0.17	0.18	0.20	0.40	0.22	0.18	0.25
A2	2.00	1.00	0.25	0.20	0.22	0.25	0.67	0.29	0.22	0.33
A3	5.00	4.00	1.00	0.50	0.67	1.00	3.50	1.50	0.67	2.00
A4	6.00	5.00	2.00	1.00	1.50	2.00	4.50	2.50	1.50	3.00
A5	5.50	4.50	1.50	0.67	1.00	1.50	4.00	2.00	1.00	2.50
A6	5.00	4.00	1.00	0.50	0.67	1.00	3.50	1.50	0.67	2.00
A7	2.50	1.50	0.29	0.22	0.25	0.29	1.00	0.33	0.25	0.40
A8	4.50	3.50	0.67	0.40	0.50	0.67	3.00	1.00	0.50	1.50
A9	5.50	4.50	1.50	0.67	1.00	1.50	4.00	2.00	1.00	2.50
A10	4.00	3.00	0.50	0.33	0.40	0.50	2.50	0.67	0.40	1.00

Fonte: AHPWizaRd, 2023

**Tabela 10** – M7: Matriz de Comparação - Alternativas sob a luz do Critério 6

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A1	1.00	0.29	0.15	0.15	0.22	0.22	0.29	0.18	0.15	0.18
A2	3.50	1.00	0.25	0.25	0.50	0.50	1.00	0.33	0.25	0.33
A3	6.50	4.00	1.00	1.00	3.00	3.00	4.00	2.00	1.00	2.00
A4	6.50	4.00	1.00	1.00	3.00	3.00	4.00	2.00	1.00	2.00
A5	4.50	2.00	0.33	0.33	1.00	1.00	2.00	0.50	0.33	0.50
A6	4.50	2.00	0.33	0.33	1.00	1.00	2.00	0.50	0.33	0.50
A7	3.50	1.00	0.25	0.25	0.50	0.50	1.00	0.33	0.25	0.33



	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A8	5.50	3.00	0.50	0.50	2.00	2.00	3.00	1.00	0.50	1.00
A9	6.50	4.00	1.00	1.00	3.00	3.00	4.00	2.00	1.00	2.00
A10	5.50	3.00	0.50	0.50	2.00	2.00	3.00	1.00	0.50	1.00

Fonte: AHPWizaRd, 2023

#### 4.7. Razão de Consistência

A Razão de Consistência (CR) é utilizada para avaliar a coerência relativa dos julgamentos em relação a um limite aceitável, comumente fixado em 0,1. Se o CR for igual ou menor que 0,1, os julgamentos são considerados aceitáveis e coerentes. Por outro lado, se o CR ultrapassar 0,1, indica que os julgamentos apresentam inconsistências significativas, exigindo uma revisão das comparações realizadas.

Para cada matriz de julgamento, é possível avaliar sua consistência por meio do comando `ahp_geral` aplicado à lista de matrizes. Se algum CR estiver abaixo de 10%, os julgamentos devem ser revistos para aquele nível de comparação.

#### 4.8. Tabela Final

A tabela final do método AHP fornece informações cruciais para o processo decisório. Nela, são apresentados os pesos relativos de cada critério, refletindo sua importância em relação aos demais. Esses pesos são calculados a partir das matrizes de comparação e expressam as preferências do tomador de decisão.

Adicionalmente, a tabela exibe os pesos globais das alternativas, que indicam a contribuição de cada uma para a consecução dos objetivos estabelecidos pelos critérios. Esses pesos são determinados considerando as ponderações dos critérios e as avaliações das alternativas em relação a cada critério.

Um componente importante presente na tabela final é o CR (Consistency Ratio), que avalia a consistência das comparações realizadas pelo tomador de decisão. O CR fornece uma medida da confiabilidade dos julgamentos, indicando se as comparações são consistentes ou se há inconsistências que possam afetar a qualidade das decisões.

A tabela final do método AHP oferece uma visão abrangente das ponderações dos critérios, dos pesos globais das alternativas e da consistência das comparações, sendo fundamental para a avaliação das opções e para a tomada de decisões embasadas.

Após executar os comandos previamente descritos, será gerada a tabela final, que deve ser interpretada com base nos resultados obtidos para os dados específicos. Todos os valores apresentados foram obtidos por meio do aplicativo AHPWizaRd, conforme as informações fornecidas pelo usuário.

**Tabela 11 – Tabela final da AHP**

Critérios	Pesos	A1 A2 A3 A4 A5 A6 A7 A8 A9 A10										CR
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	
Alternativas	100	2.90	2.62	15.09	17.06	10.8	9.02	4.61	7.79	15.57	14.55	0.61
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
C1	16.81	0.47	0.39	2.59	3.30	2.02	1.29	0.57	0.86	3.30	2.02	1.37
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
C2	22.79	0.58	0.49	1.66	4.48	3.43	2.06	0.58	2.63	3.43	3.43	1.07
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
C3	5.89	0.64	0.11	0.89	0.89	0.64	0.64	0.21	0.37	0.89	0.64	0.77
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
C4	30.24	0.71	0.71	6.16	3.80	2.26	2.92	2.26	1.45	3.80	6.16	1.33
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
C5	9.45	0.21	0.3	1.11	1.90	1.47	1.11	0.36	0.85	1.47	0.67	1.10
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
C6	14.82	0.29	0.62	2.69	2.69	0.99	0.99	0.62	1.63	2.69	1.63	1.32
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

Fonte: AHPWizaRd, 2023

## 5. Conclusão

Durante este estudo, capturamos as impressões de especialistas sobre desenvolvimento de cidades, tomando como base a cidade do Rio de Janeiro, empregando a metodologia AHP para analisar a Mobilidade Urbana, um componente fundamental nas cidades inteligentes. A abordagem sistemática, iniciada com a elaboração das Matrizes de Comparação, ofereceu uma compreensão aprofundada das inter-relações entre critérios e alternativas. A verificação da Consistência (CR) fortaleceu a solidez das decisões tomadas, estabelecendo uma base firme para as conclusões alcançadas. O ápice desse processo é a Tabela Final, que sintetiza os pesos relativos de cada critério e alternativa, gerando insights cruciais para a tomada de decisões na área da Mobilidade Urbana.

Os resultados destacam os indicadores e critérios prioritários: outros modais de transporte (massa), bilhete eletrônico para transporte público, proporção de ônibus por automóveis, e semáforos inteligentes, sob os critérios, eficiência e rapidez, qualidade de vida, acessibilidade e inclusão, e tecnologia e inovação, respectivamente. Os quais são essenciais para integrar ao plano diretor de cidades inteligentes, promovendo sua criação e sustentabilidade. A proximidade das pontuações desses indicadores na tabela final evidencia sua relevância para a mobilidade urbana. Uma recomendação estratégica é



elaborar uma pesquisa social após a classificação feita pela AHP, visando engajar a comunidade e cultivar um senso de participação nesse projeto de cidades inteligentes. Dessa forma, concluímos que a AHP, com o suporte da linguagem R para análise de dados, pode orientar a elaboração de um plano diretor consistente para cidades inteligentes, envolvendo tanto a sociedade quanto o governo, em vez de ser exclusivamente um projeto político.

Por fim, este estudo sobre planos diretores é vasto e crucial, apresentando áreas para aprimoramento e expansão como: “a inclusão de outros eixos temáticos para cidades inteligentes, a realização de uma pesquisa comunitária, especialmente sobre os resultados destacados, e a combinação de técnicas de tomada de decisão para otimizar os resultados”. São algumas sugestões e direções para pesquisas futuras em busca das melhores práticas na criação de planos diretores para cidades inteligentes.

## 6. Referências

- ALCOFORADO, L. F., OLIVEIRA, L. S., LONGO, O. C. AHPWR: Tools to Compute Analytic Hierarchy Process. R package version 0.1.0. 2022.
- ALCOFORADO, L. F., LONGO, O. C. (Org). Análise Hierárquica de Processos Aplicada a Problemas de Engenharia Civil. Rio de Janeiro: e-Publicar, 2023.
- COSTA, H. G. Auxílio multicritério à decisão: método AHP. Rio de Janeiro: ABEPRO. 2006.
- GODOI, W.C. Método de construção das matrizes de julgamento paritário no AHP – método de julgamento holístico. Revista Gestão Industrial, ISSN 1808-0448 / v. 10, n. 03: p.474- 493, D.O.I: 10.3895/gi.v10i3.1970, 2014.
- GUEDES, A. L. A., ALVARENGA, J. C., GOULART, M. D. S. S., RODRIGUEZ, M. V. R. Y. Cidades inteligentes: os principais motores para aumentar a inteligência das cidades. Sustainability, Rio de Janeiro, 2018.
- HU, ZHANG, S. Study on Bim Technology Application in the Whole Cycle of Utility Tunnel. Springer Nature Singapore Pte, n. 127, 2019., p. 277-285 Acesso em: 24 nov. 2023.
- IHAKA, R., GENTLEMAN, R. R: A language for data analysis and graphics, Journal of Computational and Graphical Statistics, 5, 299–314, 1996.
- KOMNINOS, Nicos; SEFERTZI, Elia. Intelligent cities: R&D offshoring, Web 2.0 product development and globalization of innovation systems. In: KNOWLEDGE CITIES SUMMIT, 2., 2009, Shenzhen. Proceedings... Shenzhen: MAKCi, 2009. p. 1-8.
- LIU, R., CHEN, Z., HUA, G., WUANG, L., SA, Y., LIU, C. Construction and analysis of evaluation system for functional food crude materials based on AHP. Chinese Traditional and Herbal Drugs, Vol. 51, Issue 18, Pages 4829 – 4836, Beijing, 2020.
- PARADIS, E., CLAUDE, J., STRIMMER, K. APE: Analyses of Phylogenetics and Evolution in R language. Bioinformatics Applications Note, Oxford, 2004.
- SAATY, T.L., VARGAS, L.G. Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process, Second Edition, Springer, New York, 2012.



## 7. Anexo

### 7.1. Códigos R para matrizes

Códigos para comparar critérios, gerando a primeira matriz. Aqui utilizamos o método do julgamento holístico proposto por Godoi.

```
x <- paste0(letters[3],1:6) #nomes para os critérios, considerando o número de critérios informado.
```

```
y <- c(8, 8.5, 6, 9, 7, 7.8) #valores de julgamento holístico para cada critério.  
Substitua os valores entre vírgulas pelos seus valores de julgamento.
```

```
m1 <- matrix_ahp(x,y) #cria a primeira matriz comparando critérios. Este comando não muda pois está genérico, atente para definir x e y corretamente.
```

Códigos para comparar alternativas à luz de cada critério. Mostramos como fazer a segunda matriz, para as demais basta considerar a sequência de critérios.

```
x <- paste0(letters[1],1:10) #nomes para as alternativas, considerando o número de alternativas informado.
```

```
y <- c(4.5, 4, 8.5, 9, 8, 7, 5, 6, 9, 8) #valores de julgamento holístico para cada alternativa à luz do critério 1. Substitua os valores entre vírgulas pelos seus valores de julgamento.
```

```
m2 <- matrix_ahp(x,y) #cria a segunda matriz comparando alternativas frente ao critério 1. Este comando só muda o número da matriz, no mais está genérico, atente para definir x e y corretamente.
```

### 7.2. Códigos R para matrizes

Códigos do R para criar uma base de dados contendo todas as matrizes de julgamentos e o comando para gerar a tabela final. Recursos adicionais podem ser consultados na documentação do pacote.

```
base <- list(m1, m2, m3, m4, m5, m6, m7) #cria a base de dados contendo todas as matrizes de julgamento do problema
```

```
ahp_geral(base) #retorna a tabela final dos pesos, sem formatação específica
```

```
transforma_tabela(ahp_geral(base)) #retorna a tabela final dos pesos, com formatação específica
```