

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
INSTITUTO DE INFORMÁTICA

HALLEY WESLEY ALEXANDRE SILVA GONDIM

**Construção de Visualizações de  
Matrizes Origem-Destino no Cenário do  
Tráfego Urbano com Foco em Avaliação  
de Usabilidade**

Goiânia  
2016

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

**1. Identificação do material bibliográfico:**      Dissertação      Tese

**2. Identificação da Tese ou Dissertação**

Nome completo do autor: Halley Wesley Alexandre Silva Gondim

Título do trabalho: Construção de Visualizações de Matrizes Origem-Destino no Cenário do Tráfego Urbano com Foco em Avaliação de Usabilidade

**3. Informações de acesso ao documento:**

Concorda com a liberação total do documento  SIM      NÃO<sup>1</sup>

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.



Data: 26 / 09 / 2016

<sup>1</sup> Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

HALLEY WESLEY ALEXANDRE SILVA GONDIM

# **Construção de Visualizações de Matrizes Origem-Destino no Cenário do Tráfego Urbano com Foco em Avaliação de Usabilidade**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto de Informática da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Doutorado.

**Área de concentração:** Ciência da Computação.

**Orientador:** Prof. Dr. Hugo Alexandre Dantas do Nascimento

Goiânia  
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Wesley Alexandre Silva Gondim, Halley  
Construção de Visualizações de Matrizes Origem-Destino no Cenário do Tráfego Urbano com Foco em Avaliação de Usabilidade. [manuscrito] / Halley Wesley Alexandre Silva Gondim. - 2016. CCXXI, 221 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Hugo Alexandre Dantas do Nascimento . Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, Instituto de Informática (INF), Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Goiânia, 2016. Bibliografia. Apêndice.

1. Tráfego Urbano. 2. Matriz Origem-Destino. 3. Visualização de Informações. 4. Avaliação de Usabilidade. I. , Hugo Alexandre Dantas do Nascimento, orient. II. Título.

CDU 004



**Ata de Defesa de Tese de Doutorado**

Aos vinte e seis dias do mês de setembro de dois mil e dezesseis, no horário das nove horas, foi realizada, nas dependências do Instituto de Informática da UFG, a defesa pública da Tese de Doutorado do aluno Halley Wesley Alexandre Silva Gondim, matrícula no. 2011 0535, intitulada **“Construção de Visualizações de Matrizes Origem-Destino no Cenário do Tráfego Urbano com Foco em Avaliação de Usabilidade”**.

A Banca Examinadora, constituída pelos professores:

Prof. Dr. Hugo Alexandre Dantas do Nascimento – (INF/UFG) - orientador

Prof. Dr. Cedric Luiz de Carvalho – INF/UFG

Profa. Dra. Carla Maria Dal Sasso Freitas - INF/UFRGS

Prof. Dr. Eduardo Simões de Albuquerque – INF/UFG

Prof. Dr. Fabrizzio Alphonsus Alves de Melo Nunes Soares- INF/UFG

emitiu o resultado:

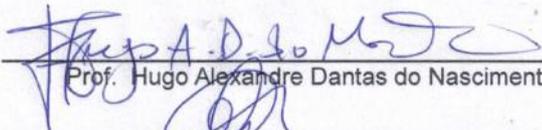
Aprovado

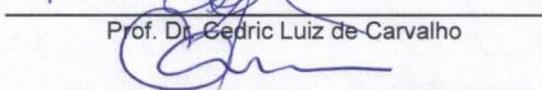
Aprovado com revisão

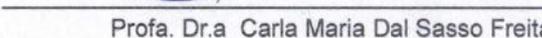
(A Banca Examinadora deve definir as exigências a serem cumpridas pelo aluno na revisão, ficando o orientador responsável pela verificação do cumprimento das mesmas.)

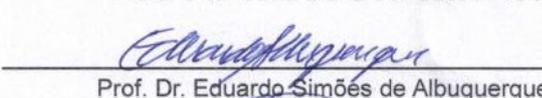
Reprovado

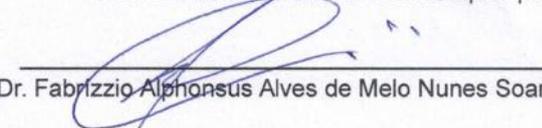
com o seguinte parecer: tendo o aluno desenvolvido o trabalho adequadamente e com contribuições científicas, além de demonstrar domínio do tema e segurança na apresentação, a banca o considera aprovado.

  
Prof. Hugo Alexandre Dantas do Nascimento

  
Prof. Dr. Cedric Luiz de Carvalho

  
Profa. Dr.a Carla Maria Dal Sasso Freitas

  
Prof. Dr. Eduardo Simões de Albuquerque

  
Prof. Dr. Fabrizzio Alphonsus Alves de Melo Nunes Soares

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador(a).

**Halley Wesley Alexandre Silva Gondim**

Mestre em Ciência da Computação pela UFG e especialista em Banco de Dados. Possui experiência em Computação Gráfica e Engenharia de Software com ênfase em: visualizações, modelagem 3D, desenvolvimento e arquitetura de software, e com conhecimentos específicos em *frameworks* de aplicação Java, Three.js e D3.js. Atualmente é Analista de Sistemas da PUC/GO

Dedico este trabalho a Deus, pois sem Ele nada disso seria possível.

---

## **Agradecimentos**

---

Quero agradecer primeiramente ao meu orientador, prof. Dr. Hugo Alexandre, por me incentivar nos momentos difíceis e pelas lições que me tornaram um pesquisador melhor. Sem dúvida é um ótimo mestre! Agradeço ainda ao professor Dr. Derek Reilly, que me co-orientou nesta caminhada com sábios conselhos e ajuda na publicação de artigos. Agradeço também à minha esposa e aos meus familiares por me apoiarem e compreenderem minha dedicação a este trabalho. Faço um agradecimento especial a todos os meus colegas de turma e do grupo de pesquisa do tráfego, em particular ao meu amigo Walid Jradi pelos conselhos e pela motivação. Por fim, agradeço à coordenação do doutorado e à secretaria da pós-graduação, em especial à Mirian e à Patrícia, por responderem minhas infinitas dúvidas sobre o programa; à PUC-GO, pelo apoio na realização do doutorado, inclusive na forma de liberação e flexibilidade de reorganização de horário de trabalho, para que eu pudesse frequentar as aulas e participar das reuniões de pesquisa. Aos alunos e professores da UFG e da PUC-GO que participaram das avaliações de usabilidade descritas nesta tese; e aos demais amigos e colegas que acompanharam e incentivaram o progresso nessa longa jornada.

Muito obrigado!

Cada sonho que você deixa para trás é um pedaço do seu futuro que deixa de existir.

**Steve Jobs,**

---

## Resumo

---

Gondim, Halley Wesley Alexandre Silva. **Construção de Visualizações de Matrizes Origem-Destino no Cenário do Tráfego Urbano com Foco em Avaliação de Usabilidade**. Goiânia, 2016. 221p. Tese de Doutorado Relatório de Graduação. Instituto de Informática, Universidade Federal de Goiás.

A maioria das cidades de médio e grande porte no mundo sofre dos problemas relacionados ao crescimento do número de veículos. Congestionamentos, poluição do ar e desperdício de tempo são alguns exemplos desses problemas, hoje constantemente lembrados frente aos grandes prejuízos causados aos cidadãos. A utilização de técnicas de Visualização de Informações pode servir para apoiar a análise desses problemas e ajudar a identificar soluções viáveis e efetivas para os mesmos. Por outro lado, a aplicação de Visualização de Informações aos problemas de tráfego urbano ainda é uma área pouco explorada e geralmente focada em aspectos simples do trânsito. A presente tese vem, assim, suprir a carência por estudos nessa área, em especial na representação de dados relacionados a matrizes Origem-Destino (OD). Para tanto, propõe-se uma classificação específica para visualizações voltadas ao cenário do tráfego urbano, com o objetivo de facilitar a identificação de trabalhos e autores relacionados à área. Além disso, há a criação de novas visualizações, voltadas para matrizes ODs, com o intuito de oferecer diferentes alternativas na representação de dados do trânsito. Por fim, propõe-se uma abordagem para avaliar visualizações de matrizes OD e informações correlacionadas, com o intuito de oferecer um *feedback* adequado aos *designers* de interface e possibilitar a criação de visualizações mais efetivas.

### Palavras-chave

Tráfego Urbano, Matriz Origem-Destino, Visualização de Informações, Avaliação de Usabilidade.

---

## Abstract

---

Gondim, Halley Wesley Alexandre Silva. **Creation of Origin-Destination Matrices Visualizations in the Urban Traffic Scenario with a Focus on Usability Assessment**. Goiânia, 2016. 221p. PhD. Thesis Relatório de Graduação. Instituto de Informática, Universidade Federal de Goiás.

Most of the medium and large cities in the world suffer from the problems related to the growth of the number of vehicles. Congestion, air pollution and weather are some examples of these problems, today constantly reminded of the great damage done to citizens. The use of Information Visualization techniques can serve to support the analysis of these problems and help identify viable and effective solutions for them. On the other hand, the application of Information Visualization to the problems of urban traffic is still a poorly explored area and generally focused on simple aspects of traffic. The present thesis thus addresses the lack of studies in this area, especially in the representation of data related to origin-destination (OD) matrices. In order to do so, a specific classification is proposed for visualizations aimed at the urban traffic scenario, with the purpose of facilitating the identification of works and authors related to the area. In addition, there is the creation of new visualizations, directed to OD arrays, in order to offer different alternatives in the representation of traffic data. Finally, an approach is proposed to evaluate visualizations of OD matrices and correlated information, with the intention of offering adequate feedback to interface designers and enabling the creation of more effective visualizations.

### Keywords

Urban Traffic, Origin-Destination Matrix, Information Visualization, Usability Evaluation.

---

# Sumário

---

Lista de Figuras	<b>13</b>
<b>1</b> Introdução	<b>15</b>
1.1 Objetivos	18
1.2 Organização da Tese	19
<b>2</b> Conceitos Fundamentais	<b>20</b>
2.1 Modelagem e Simulação de Tráfego Urbano	20
2.1.1 Conceitos Fundamentais para Análise do Tráfego Urbano	20
2.1.2 Modelo Quatro Etapas	22
2.2 Visualização de Informações	24
2.2.1 Modelo de Referência	27
2.2.2 Visualizações Efetivas	30
2.2.3 Técnicas de Visualização	31
2.2.4 Avaliação de Visualização de Informações	35
2.3 Avaliação de Usabilidade	36
2.3.1 Técnicas de Avaliação de Usabilidade	37
2.4 Taxonomias de Visualização de Informações	45
2.4.1 Taxonomia de Acordo com o Tipo de Dados e Tarefas	45
2.4.2 Classificação das Técnicas de Visualização de Informações	46
2.4.3 Taxonomia de Tarefas Visuais de Baixo e de Alto Nível	47
<b>3</b> Visualização de Informações Aplicada ao Tráfego Urbano	<b>53</b>
3.1 Visualizações 2D/3D e Transformações Geométricas	54
3.2 Visualizações Hierárquicas	67
3.3 Visualizações por Densidade de Pixel	69
3.4 Ferramentas de Simulação de Tráfego Urbano	70
<b>4</b> Proposta de Classificação para Visualizações do Tráfego Urbano	<b>81</b>
<b>5</b> Visualizações Propostas para Matrizes Origem-Destino	<b>88</b>
5.1 Visualizações Propostas	89
5.1.1 ArcFlow	99
5.1.2 ODFlow	102
5.1.3 ODGraph	104
5.1.4 ODParallel	106

6	Abordagem de Avaliação de Usabilidade de Visualizações de Matriz OD	<b>110</b>
6.1	Descrição da abordagem	111
6.1.1	Prototipação em Papel	113
6.1.2	Avaliação Heurística	113
6.1.3	Ensaio de Interação	126
6.2	Exemplo de Uso da Abordagem de Avaliação da Usabilidade Proposta	132
6.2.1	Prototipação em Papel	132
6.2.2	Avaliação Heurística	136
6.2.3	Ensaio de Interação	139
	Primeiro Ensaio de Interação - (ArcFlow x ODFlow)	140
	Segundo Ensaio de Interação - (ODGraph x ODParallel)	148
6.2.4	Discussões	153
7	Conclusão	<b>155</b>
7.1	Dificuldades Encontradas	156
7.2	Trabalhos Futuros	156
	Referências Bibliográficas	<b>158</b>
A	Questões - Ensaio de Interação (Avaliação I)	<b>176</b>
B	Questões - Ensaio de Interação (Avaliação II)	<b>183</b>
C	Dados do Ensaio de Interação (Avaliação I)	<b>191</b>
D	Dados do Ensaio de Interação (Avaliação II)	<b>196</b>
E	Dados da Avaliação Heurística	<b>202</b>
F	Relatório da Revisão Sistemática sobre Visualização de Informações Voltadas ao Cenário do Tráfego Urbano	<b>216</b>
F.1	Planejamento	216
F.1.1	A - Objetivos principais	216
F.1.2	B - Questões a serem respondidas pela revisão	216
F.1.3	C - População	217
F.1.4	D - Intervenção	217
F.1.5	E - Controle	217
F.1.6	Resultados	217
F.1.7	G - Aplicação	217
F.1.8	H - Estratégias de Busca e Palavras-chave	217
F.1.9	I - Ferramentas e instrumentos	217
F.1.10	J - Critérios de inclusão/seleção e exclusão	218
F.2	Condução do Mapeamento	218
F.2.1	A - Seleção	219
F.2.2	B - Extração	219
F.3	Análise dos Dados	219
F.3.1	A - Avaliação da Qualidade da Seleção	219
F.3.2	B - Questões de Busca	220
F.4	Ameaças de Validade	221

---

## Lista de Figuras

---

2.1	Modelo de referência para a construção de visualizações	28
2.2	Técnica olho de peixe sobre mapas	32
2.3	Técnica <i>Table lens</i>	32
2.4	Técnica <i>Perspective Wall</i>	33
2.5	Técnica <i>Hyperbolic Tree</i>	34
2.6	Técnica <i>TreeMap</i>	34
2.7	Classificação das técnicas de Visualização de Informações	47
2.8	Taxonomia de tarefas visuais	48
2.9	Classificação em alto-nível, em exemplos	51
2.10	Classificação em baixo-nível, em exemplos	52
2.11	Quadro resumo da classificação	52
3.1	Mapa de ruídos de Fulton County, Georgia, com destaques do centro de Atlanta	55
3.2	Mapa de ruídos expresso nas construções	56
3.3	<i>Cascade on Wheels - Walls Map Piece</i>	57
3.4	<i>Cascade on Wheels - Traffic Noise Mixer</i>	58
3.5	<i>Isochronic Singapore</i>	59
3.6	<i>Data Lenses</i>	60
3.7	<i>Every death on every road in Great Britain 1999 - 2010</i>	60
3.8	Modelo híbrido 3D de simulação de tráfego	61
3.9	<i>Visualizing the Circulatory Problems of Lisbon - A</i>	62
3.10	<i>Visualizing the Circulatory Problems of Lisbon - B</i>	63
3.11	<i>Morphing City</i>	63
3.12	<i>Traffic Origins</i>	64
3.13	<i>Pulse of the City</i>	65
3.14	Visualizações envolvendo matrizes OD	66
3.15	Visualização em 3D indicando a concentração de carbono	67
3.16	Visualização utilizando <i>Treemaps</i>	68
3.17	Visualizações utilizando a técnica KDE	69
3.18	Software MAPS	71
3.19	Software SUMO	72
3.20	Simulação de sistemas dinâmicos usando o VisSim	72
3.21	VisSim - metrô de superfície	73
3.22	Software AIMSUN	74
3.23	Software EMME 3 - visualização do volume de tráfego	75
3.24	Software EMME 3 - Visualização de dados referentes a trajetos de linhas de ônibus	76

3.25	Software Dynameq	77
3.26	DRACULA – exemplo de simulação do tráfego	78
3.27	Simulação de um cruzamento com CORSIM	80
4.1	Classificação em alto-nível para visualizações sobre o tráfego urbano.	82
5.1	Visualização proposta (a)	91
5.2	Visualização proposta (b)	92
5.3	Visualização proposta (c)	93
5.4	Visualização proposta (d)	94
5.5	Visualização proposta (e)	95
5.6	Visualização proposta (f)	96
5.7	Visualização proposta (g)	97
5.8	Visualização proposta (h)	97
5.9	Visualização proposta (i)	98
5.10	Visualização proposta (j)	99
5.11	Visualização ArcFlow	100
5.12	Visualização ODFlow	103
5.13	Visualização <i>ODGraph</i>	106
5.14	Visualização ODParallel	107
6.1	Abordagem proposta para avaliação de visualizações de Matrizes OD e de dados do tráfego associados.	112
6.2	Alguns exemplos dos protótipos criados em papel.	133
6.3	Etapa I - Número de Problemas/Melhorias encontradas.	135
6.4	Etapa II - Número de Problemas/Melhorias encontradas.	137
6.5	Etapa II - Número de Problemas/Melhorias encontradas por avaliador.	138
6.6	Etapa II - Número de Problemas/Melhorias categorizadas por gravidade.	138
6.7	Quadro Resumo - ODFlow	142
6.8	Quadro Resumo - ArcFlow	143
6.9	Quadro Resumo - ODGraph	149
6.10	Quadro Resumo - ODParallel	150
6.11	Etapa III - Número de Problemas/Melhorias encontradas.	153

## Introdução

---

Áreas urbanas de muitos países sofrem com o aumento do congestionamento de veículos [45, 21, 186]. Por exemplo, o *Texas A&M Transportation Institute (TTI)* <sup>1</sup> registra anualmente, desde 1982, dados sobre o tráfego urbano em 370 cidades dos Estados Unidos. Assim, em 2015, gastou-se em congestionamentos mais de 3 bilhões de litros de combustíveis, bem como houve a perda acumulada de 7 bilhões de horas (42 horas para cada motorista). Ao transformar esses dados em valores monetários, tem-se a quantia de \$160 bilhões ou aproximadamente \$960 para cada condutor. Já no Brasil, um estudo realizado em 2011 pela Confederação Nacional da Indústria mostrou que 26% da população despendia mais de uma hora por dia em deslocamentos, por exemplo: trabalho e escola. Porém, entre 2011 e 2014, esse percentual atingiu 31%. Estima-se para 2030 um volume de mais de 2,08 bilhões de veículos em todo o mundo [53]. Este número excessivo de veículos somado à má infraestrutura/planejamento da rede viária pode causar consequências graves que vão desde o aumento de custo operacional, congestionamentos e desgaste de veículos até danos à saúde da população e dificuldade no crescimento de um país. Por exemplo, os veículos que se deslocam em baixa velocidade tendem a consumir uma quantidade maior de combustível, e assim produzir um número além do esperado de gases tóxicos, do que veículos que viajam a uma velocidade mais rápida. Isso ocorre porque há uma relação direta entre velocidade, consumo de combustível e emissão de agentes nocivos ao meio ambiente [21, 163]. Portanto, resolver (ou atenuar) o problema do congestionamento de tráfego urbano é importante tanto para o desenvolvimento econômico e social quanto por razões ambientais. Todavia, os problemas enfrentados no tráfego [21] não são simples de se resolver, já que dependem de vários aspectos dinâmicos (por exemplo: urbanismo, distribuição da população e localização dos ambientes de trabalho e de lazer, etc.) que são difíceis de se descrever e modelar em detalhes [34]. Como resultado, o estudo deste tema geralmente envolve a divisão do problema de tráfego em passos ou etapas, a fim de facilitar a sua compreensão, (como é o caso do método quatro etapas, apresentado posteriormente na Seção 2.1.2).

---

<sup>1</sup><http://mobility.tamu.edu/ums/>

Há ainda uma enorme pressão social para que as entidades responsáveis pela gestão do tráfego tomem ações rápidas e assertivas, concentrando-se na melhoria das redes viárias utilizando o mínimo de recursos possível. Entre as ações que visam a mitigar os problemas relacionados ao trânsito estão: ampliar a malha viária por intermédio da adição de novas vias ou realizar melhorias não tão intrusivas pela otimização de alguns elementos do tráfego, como o ajuste dos tempos de semáforo, a mudança dos sentidos de deslocamentos nas ruas e avenidas e a proibição ou permissão de conversões entre as vias. A opção focada na otimização desses elementos do tráfego, além de ser mais econômica, evita os transtornos que seriam gerados pelo impacto de uma obra. Além disso, a otimização pode ser mais facilmente apoiada por ferramentas computacionais que auxiliam na simulação do tráfego urbano sob vários cenários viáveis, com o objetivo de expor os pontos fortes e fracos intrínsecos à malha viária, permitindo a avaliação de projetos que poderão levar a uma redução do congestionamento ou à melhoria do tempo total de viagem dos usuários.

Todavia, informações, dados e cálculos não são suficientes para obter um *feedback* rápido. É preciso dedicar tempo para identificar padrões e informações não triviais. Algumas informações podem ser facilmente perceptíveis quando se possui uma pequena e objetiva quantidade de dados. No entanto, na maioria dos casos torna-se difícil, senão impossível, extrair claramente informações transmitidas sobre a forma textual. Uma das alternativas para aumentar o poder cognitivo sobre esses dados é através do uso de técnicas de Visualização da Informação (VI).

De acordo com Buckland *et al.* [32], a informação pode ser classificada em três grupos: *a informação como processo*, *a informação como conhecimento* e, por último (a definição que se relaciona com a VI), *a informação como objeto* <sup>2</sup>. A VI é uma disciplina que tem por principal objetivo estudar/proporcionar meios que ofereçam suporte visual gráfico para apoiar tarefas de análise em dados complexos. Compreendem-se dados complexos como: conjuntos de dados oriundos de diferentes domínios que podem ser caracterizados pela diversidade de tipos (categóricos, informações embutidas em documentos de texto, dados numéricos, imagens, sensores, vídeos, etc.), grande volume e alta dimensionalidade (dados descritos por muitos atributos).

O uso de técnicas de Visualização de Informação pode contribuir de maneira mais expressiva no processo de análise de dados do que uma simples observação dos dados em forma bruta. Ao dispor os dados de acordo com critérios específicos, acaba-se destacando informações que possibilitam a construção de novos conhecimentos. Diversas pesquisas apontam que a percepção é expandida quando se utiliza recursos visuais. Segundo Card *et al.* [35], o tempo de reconhecimento cognitivo de estruturas gráficas

---

<sup>2</sup>conjunto de objetos com a finalidade de transmitir diferentes informações de formas não convencionais.

é bem menor do que o de informações textuais. Assim, ferramentas computacionais de visualização podem oferecer apoio aos seus usuários em todo o processo de análise das informações envolvidas. Tipicamente, essas ferramentas podem apoiar usuários em três atividades: (1) *Análise exploratória*: o usuário pretende encontrar novos conhecimentos contidos nos dados através de um processo analítico que explora a representação visual em busca de sinais aparentes. Tais sinais podem sugerir indicações sobre tendências/padrões particulares e relações que podem levar a alguma hipótese sobre as visualizações. (2) *Análise confirmatória*: através da exploração visual, o usuário pode evidenciar a validação ou rejeição de uma determinada hipótese. (3) *Apresentação*: representação gráfica das relações, ações e estruturas ou qualquer outro atributo específico das informações.

Como consequência do avanço da ciência, as representações gráficas passaram a transmitir cada vez mais significado, possibilitando a construção de sistemas com um maior número de detalhes e tornando as informações mais ricas e precisas em relação a sua qualidade de apresentação (recursos gráficos semelhantes aos do mundo real) [69]. A VI também está presente hoje em grande parte dos sistemas computacionais de modelagem e simulação de tráfego. Tal presença possibilita o enriquecimento da percepção dos usuários sobre a organização e o fluxo de uma rede, identificando relações não triviais entre os dados e o comportamento do tráfego. Esses sistemas de simulação de trânsito são essenciais na tomada de decisão, pois grande parte dessas informações podem ser percebidas através de visualizações.

Por outro lado, apesar da presença de técnicas de VI em sistemas de tráfego e de grande interesse dos governos e da sociedade na melhoria das condições de mobilidade, principalmente nas áreas metropolitanas, nota-se que poucas pesquisas científicas têm abordado o uso da Visualização da Informação para o caso particular de problemas de tráfego urbano [76, 42]<sup>3</sup>. Há certamente uma vasta literatura sobre estudos sociais e econômicos de problemas de trânsito, modelos matemáticos, algoritmos para simulação de tráfego e análise. No entanto, na maior parte destes estudos, quando são utilizadas visualizações, estas não são o foco principal do trabalho, geralmente ilustram um problema ou um processo específico.

Este resultado é esperado, pois a escolha de uma representação gráfica que seja adequada para os dados e considere os princípios da percepção humana não é uma tarefa trivial, consistindo em um dos principais desafios da Visualização de Informações. Tal dificuldade leva a diversos debates [65, 149, 98, 97], dentre os quais pode-se citar os dez problemas ainda não resolvidos na Visualização da Informação [38]. Isto se dá pela existência de inúmeros dados que se comportam de forma concorrente aos princípios da

---

<sup>3</sup>Aqui, nos referimos a tráfego urbano de forma particular como sendo o deslocamento de veículos diversos nas ruas e avenidas de uma cidade e as interações que acontecem entre estes elementos.

percepção, dificultando assim a construção de representações visuais mais adequadas. Este cenário pode ainda se tornar mais complexo quando se considera o ambiente dinâmico do trânsito de veículos e a análise de conjuntos de dados que variam em relação a dimensões de tempo.

Dentre os trabalhos observados na visualização do tráfego urbano, há um número insuficiente de pesquisas sobre a representação de matrizes Origem Destino (OD). A matriz OD é uma das principais exigências para algoritmos de alocação de tráfego contidos em sistemas de simulação de trânsito. Um dos possíveis motivos para justificar a carência de representações visuais de matrizes OD é a grande quantidade de informações interconectadas vinculadas às mesmas, como os locais de origem e destino (com seus posicionamentos geográficos), os tipos de veículos, as demandas de deslocamento, a escala temporal e as rotas de viagens associadas aos pares OD.

Por se tratar de uma representação complexa, poucos autores oferecem instruções sobre como construir visualizações mais efetivas para matrizes OD. Na grande maioria dos trabalhos, discute-se apenas sobre alguns dos problemas enfrentados e não quais foram as informações/regras que auxiliaram nas construções das visualizações.

## 1.1 Objetivos

Esta tese possui como objetivo principal propor meios alternativos que facilitem a construção de visualizações de matrizes OD. Para isso, definiu-se um conjunto de ações com o propósito de torná-las mais efetivas. Elas podem ser aplicadas em várias etapas, desde a concepção da visualização até a sua validação. Dentre estas ações, há a elaboração de uma classificação específica para visualizações do tráfego urbano, a criação de novas visualizações e, por fim, a definição de uma avaliação de usabilidade.

Inicialmente, com o objetivo de organizar as visualizações voltadas para o tráfego urbano, é criada uma classificação específica para o tema. Seu propósito é auxiliar novos usuários de visualização e profissionais da área a identificarem em quais categorias suas visualizações se encontram, bem como facilitar a identificação de pesquisadores que atuam na mesma área.

Em sequência, propõe-se o desenvolvimento de novas visualizações de matrizes OD com o intuito de fortalecer a área e levantar novos debates sobre a crise da mobilidade urbana atual.

Espera-se também montar uma combinação de técnicas de avaliação de usabilidade a fim de identificar os diversos graus de problemas contidos na construção de uma interface. Tal combinação prevê o uso da prototipação em papel, avaliação heurística e ensaios de interação.

## 1.2 Organização da Tese

O restante desta tese está organizado como segue. O Capítulo 2 apresenta conceitos gerais sobre os modelos de simulação de tráfego, Visualização de Informações e Avaliação de Usabilidade. Ele fornece informações sobre os termos técnicos e conceitos fundamentais utilizados em todo o trabalho. O Capítulo 3 revisa os principais trabalhos sobre visualizações voltadas para o tráfego urbano e descreve sistemas computacionais nesta área que fazem o uso de visualizações. Uma proposta de classificação de VI voltada para o tráfego urbano é definida no Capítulo 4. Ao final, tem-se a aplicação da proposta aos diversos trabalhos da área. Novas visualizações para matrizes OD são descritas no Capítulo 5. O Capítulo 6 introduz uma abordagem para a avaliação de usabilidade de matrizes OD, com uma descrição detalhada de suas etapas. A seção 6.2 mostra a aplicação da abordagem para algumas das visualizações sugeridas nesta tese. O capítulo 7 faz uma análise geral da pesquisa realizada e apresenta as conclusões sobre os pontos fortes e fracos das ferramentas e dos métodos propostos, as principais contribuições do trabalho e sugestões para pesquisas futuras. A parte final desta tese é composta por uma lista de referências bibliográficas utilizadas na pesquisa de doutorado e apêndices com detalhes das avaliações de usabilidade e de uma revisão sistemática realizada.

---

## Conceitos Fundamentais

---

Este capítulo tem como objetivo apresentar conceitos e termos técnicos sobre modelagem e simulação do tráfego urbano, Visualização de Informações e, por fim, Avaliação de Usabilidade.

### 2.1 Modelagem e Simulação de Tráfego Urbano

A presente seção mostra os conceitos básicos sobre modelagem e simulação de tráfego e conceitualiza alguns termos técnicos sobre o trânsito que são utilizados ao longo de todo este trabalho.

As técnicas de simulação de tráfego não são recentes; elas surgiram na área de transportes por volta de 1950. Atualmente, elas são consideradas elementos essenciais para o desenvolvimento de projetos e estratégias de controle de tráfego urbano. A simulação possibilita a comparação de políticas pré-definidas com o comportamento corrente do tráfego. Por consequência, permite a redução de custos do mesmo modo que proporciona uma melhor tomada de decisão.

#### 2.1.1 Conceitos Fundamentais para Análise do Tráfego Urbano

O fluxo de tráfego urbano utiliza as leis da matemática, da probabilidade e da física para descrever o comportamento do trânsito. Fundamentalmente, o comportamento do fluxo pode ser simulado por meio de três modelos: **macroscópicos** [28, 71, 185], **microscópicos** [73, 71] e **mesoscópicos** [33]. O modelo macroscópico de trânsito é baseado em uma analogia entre o fluxo de tráfego e a mecânica de fluídos. Já o microscópico leva em conta o comportamento individual de cada veículo.

O modelo macroscópico apresenta um nível de abstração maior do que o microscópico, ou seja, a quantidade de dados de entrada para o modelo é reduzida. Ele facilita a modelagem de redes grandes e complexas além de demandar um tempo de processamento computacional melhor.

Contudo, o modelo macroscópico apresenta restrições por não apresentar fenômenos ricos em detalhes; como, por exemplo, a descontinuidade de fluxo por meio da inclusão de sinais de trânsito (semáforos) e a competição entre veículos (aproximação, troca de faixas, etc). Note, contudo, que os modelos macroscópicos permitem a configuração diferente das ruas [83]. Já o modelo microscópico permite a exploração de detalhes do trânsito; porém, ele exige um volume maior de informações, o que de certo modo pode tornar o seu uso dispendioso para sistemas de grande porte. Simulações com este tipo de comportamento (micro) são ideais para áreas menores ou sistemas de pequeno e médio porte [140].

Por fim, existem os modelos mesoscópicos. Eles são modelos determinísticos que buscam preencher a lacuna entre os modelos micro e macro. Basicamente, possuem um grande volume de detalhes, mas possuem um menor tratamento das atividades e interações [33].

De acordo com os modelos citados, os sistemas computacionais de trânsito podem levar em consideração as seguintes técnicas para a gestão de alocação: *car-following* representa as interações longitudinais dos veículos na rede, ou seja, calcula-se a velocidade corrente do veículo a partir de sua velocidade desejada, de acordo com a velocidade e distância do veículo posicionado adiante. Dependendo da magnitude do afastamento, o modelo pode ser classificado em três categorias: movimento livre, movimento seguidor e movimento seguidor aproximado. No **movimento livre**, o veículo acelera e desacelera livremente de modo a manter sua velocidade desejada. Ou seja, o veículo está afastado e não sofre influência por parte do outro condutor. Já no **movimento seguidor**, o veículo tem sua velocidade corrente controlada pelo veículo a sua frente. Quando o veículo encontra-se no **movimento seguidor aproximado**, indica uma grande proximidade do veículo logo à frente.

Uma outra técnica bastante utilizada é a *lane-changing*. Ela avalia a movimentação transversal dos veículos na pista, reproduzindo a troca de faixas. É possível dividi-lo em três etapas:

1. identificação e definição do tipo de estímulo para a mudança de faixa (por exemplo, um ônibus acessando um ponto de parada);
2. seleção da faixa alvo; e
3. mudança de faixa caso existam brechas.

**Tabela 2.1:** *Matriz O-D.*

O/D	1	2	...	m	
1	$d_{11}$	$d_{12}$	...	$d_{1m}$	$P_1$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$
n	$d_{n1}$	$d_{n2}$	...	$d_{nm}$	$P_n$
	$A_1$	$A_2$	...	$A_m$	A/P

Inúmeros sistemas de simulação de trânsito implementam os tipos de modelos citados. No capítulo 3 são listados alguns desses sistemas. Interessantes trabalhos foram realizados comparando os diversos *frameworks* de gerenciamento de tráfego, como também a revisão de tipos de sistemas micro e macro<sup>1</sup> [5, 108, 90].

### 2.1.2 Modelo Quatro Etapas

Os problemas decorrentes do tráfego [21] são difíceis de se descrever e de se modelar com riqueza de detalhes [34], pois dependem de vários aspectos dinâmicos (urbanismo, distribuição da população, posicionamento de locais de trabalho e sociais, atividades econômicas, lazer, etc.). Como resultado, o estudo deste tema geralmente envolve a divisão do problema de tráfego em passos ou etapas a fim de facilitar sua compreensão. O Modelo de Quatro Etapas [131] é um exemplo clássico composto dos seguintes passos: geração de viagens, distribuição de viagens, divisão modal e alocação de viagens. Estes passos são definidos a seguir:

1. *Geração de viagens* – representa o número total de viagens geradas a partir de uma origem e a atração para um destino de cada região<sup>2</sup> de estudo. Estes números de viagens estão diretamente ligados às características do terreno (comercial, residencial, etc.), tipos de domicílio (transitório ou permanente), tipo de emprego/renda, valor do imóvel, grau de urbanização da área, número de veículos existentes em uma residência, características dos sistemas de transporte, número de pessoas que trabalham na família, dentre outros. As viagens podem também ser classificadas em duas categorias: viagens baseadas nos domicílios (o domicílio pode estar contido tanto na origem como no destino das viagens) e as que não são baseadas em domicílios.
2. *Distribuição de viagens* – consiste em estabelecer ligações entre as várias regiões para as quais os cálculos de geração de viagens foram realizados. Esta etapa tem o objetivo de distribuir as viagens geradas por cada zona entre suas possíveis regiões de destino. Além disso, informações sobre custos de viagens entre cada par de zonas devem ser consideradas. Entende-se como *custos de viagem* qualquer aspecto que possa interferir no tempo gasto no processo de uma viagem, como por exemplo: estado das ruas, distância percorrida, tempo gasto nos semáforos, paradas obrigatórias, intersecções, entre outros. Uma das formas de se apresentar essas distribuições é através de *matrizes origem e destino* [36], que são frequentemente representadas como matrizes bidimensionais. A estrutura de uma matriz OD pode

---

<sup>1</sup><http://www.its.leeds.ac.uk/projects/smartest/append3d.html>

<sup>2</sup>Entende-se região como uma área geográfica definida por critérios como: poder econômico, pontos de interesse, etc.

ser vista na (Figura 2.1). Cada célula de uma matriz OD indica o número de deslocamento de veículos ou de pessoas de uma região para outra na rede viária num dado momento (temporal). As linhas e colunas representam as origens e os destinos (em regiões ou pontos da rede), respectivamente. Um valor de matriz na interseção  $i, j$  pode ser referenciado por  $OD(i, j)$ . Também é possível separar os dados em matrizes OD diferentes, de acordo com o modo de transporte (carro, ônibus, etc.), o período do dia (horário de rush, almoço, noite, etc.) e dias da semana [54, 12]. Outros termos também importantes utilizados em matrizes OD são listados logo abaixo.

- **Zona de tráfego** – é a divisão de regiões no mapa de acordo com características semelhantes como: agrupamento de áreas (comercial, industrial, residencial, etc.), limites entre bairros (geograficamente), etc. As zonas marcam as origens e destinos das viagens, podendo ser chamadas de zonas de produção ou atração.
  - **Centroides/nós** – representa o ponto de origem e/ou destino de uma zona. Os nós estão associados a locais que possuem uma maior movimentação ou uma maior densidade demográfica.
  - **Arestas/arcos** – representam as vias ou ruas. Elas atuam como condutores dos fluxos entre os nós, além de possuírem as características de custo para a travessia (tempo), comprimento, etc.
  - **Custo da viagem** – é ponderado de acordo com as suas características, por exemplo: pedágio, limite de velocidade, quantidade de faixas, etc.
3. *Divisão modal* – é a alocação das viagens pelos diferentes meios de transporte (tais como carros, motos, transporte público, pessoas, dentre outros), possivelmente utilizando uma matriz OD diferente para conter os dados de cada modal. As características que afetam a escolha do modo de transporte estão associadas a fatores socioeconômicos e serviços prestados pelos diferentes meios de deslocamento. Geralmente, são consideradas as seguintes características:
- **deslocamento** – destino, período e a razão da viagem;
  - **usuário** – renda familiar, grau de instrução, quantidade de veículos, etc.;
  - **transporte** – tempo de espera, custo da passagem, lotação, bem-estar, segurança, etc.

Um dos problemas enfrentados na divisão modal é a obtenção de dados para uma simulação correta. De modo geral, existem dois modelos:

- **Determinísticos** – Calculados de acordo com a proporção de viagens de cada modo de transporte. Utiliza-se: *classificação cruzada* (quantidade média do percentual dos diferentes tipos de transporte), *regressão linear* (relação

matemática entre a quantidade de viagens e os aspectos socioeconômicas dos motoristas) ou *curvas de desvio* (são utilizados parâmetros como o tempo e o custo da via, e a renda do viajante);

- **Probabilísticos** – Usam a probabilidade para determinar a porcentagem de viagens para cada modo de transporte.

4. *Alocação de viagens* – Visa estabelecer os volumes de tráfego que utilizam os diferentes trechos da rede viária. De acordo com Ortuzar *et al.* [139] há diversas abordagens de alocação de viagem. Entre elas, destacam-se a denominada “Tudo-ou-Nada” e as propostas baseadas nos Princípios de Equilíbrio de Wardrop.

Na abordagem “Tudo-ou-Nada”, os motoristas não levam em conta os efeitos dos congestionamentos, podendo escolher a mesma rota de um ponto a outro, enquanto outras rotas não recebem qualquer fluxo. Como isso não representa uma visão real do tráfego, tal método é pouco utilizado.

Em 1952, J. G. Wardrop definiu os alicerces teóricos para o equilíbrio da distribuição dos fluxos numa rede com base nos comportamentos dos usuários, sendo mais conhecida como: “Princípios de Equilíbrio de Wardrop” [166, 208, 82]. Dois principais foram descritos:

- No primeiro princípio, todos os motoristas de uma rede são livres e buscam minimizar o seu próprio custo de viagem (tempo e combustível), até atingir o equilíbrio da rede (distribuição dos veículos). Denomina-se este estado de Equilíbrio do Usuário (EU).
- O segundo princípio propõe que todos os motoristas escolham suas rotas de forma colaborativa, buscando minimizar o tempo global de viagem na rede, representando um estado ótimo do sistema. Intitula-se esse estado de Otimização do Sistema (OS).

Modelos matemáticos e métodos têm sido desenvolvidos para computar a alocação de tráfego respeitando esses princípios de variações dos problemas clássicos do tráfego. Além disso, os métodos de alocação podem ser classificados de acordo com diversos aspectos, como ilustrado na Tabela 2.2 [17, 116, 71].

Note que o problema da alocação de tráfego pode ser tratado através do modelo de quatro etapas, no qual o resultado de uma etapa serve como entrada da próxima [131, 158, 81].

## 2.2 Visualização de Informações

Representações gráficas de diversas formas têm sido usadas como instrumentos de comunicação desde os primórdios da humanidade. Atividades e/ou seres vivos eram

<b>Nível de Informação do usuário</b>	
Determinísticos	Usuários possuem todas as informações sobre o estado das rotas.
Estocásticos	Usuários não possuem todas as informações sobre as rotas. Eles podem utilizar também as mais desfavoráveis.
<b>Classes de usuários</b>	
Modal	Apenas um tipo de veículo na rede; uma única matriz de demanda.
Multimodal	Várias classes de veículos ao mesmo tempo. Diversas matrizes de demanda, capacidades e funções de utilidade.
<b>Simetria</b>	
Simétricos	Fluxos dos arcos que se interceptam influem nos tempos de viagem de forma idêntica.
Assimétricos	Fluxos dos arcos que se interceptam influem nos tempos de viagem de forma diferente.
<b>Separabilidade</b>	
Separável	O fluxo do arco interceptor não interfere no tempo de viagem do arco interceptado.
Inseparável	O fluxo do arco interceptor interfere no tempo de viagem do arco interceptado.
<b>Variabilidade de fluxo</b>	
Estático	O fluxo é considerado estável durante o tempo de análise.
Dinâmico	O fluxo é variável durante o período de análise, sendo este dividido em pequenos intervalos

**Tabela 2.2:** Classificação dos modelos de alocação de tráfego.

desenhados nas paredes das cavernas de acordo com a percepção do indivíduo no cotidiano, com a intenção de registrar fatos marcantes ou importantes ocorridos. Esses registros facilitavam também o compartilhamento das informações com outros membros da comunidade.

Atualmente, sistemas computacionais de informação são bastante comuns nas diversas áreas da sociedade. Logo, a possibilidade de se criar, coletar, compartilhar e armazenar dados de diversas fontes tem crescido exponencialmente a cada dia. Além disso, combinar dados heterogêneos, distribuídos e em grande volume dificulta de forma considerável a abstração de informações relevantes. Uma das formas de amenizar este problema é a utilização de técnicas de Visualização de Informações (VI) [59, 35], por meio das quais o usuário pode obter representações visuais que permitam uma maior organização dos dados e abstração de detalhes.

De acordo com Card *et al.* [35], o termo Visualização de Informações é definido como: “o uso de representações visuais de dados abstratos suportadas por computador e interativas para ampliar a cognição”. Já para Chen *et al.* [38] há a seguinte definição: representações gráficas interativas geradas por computador. Logo, os principais objetivos

da VI, segundo Card *et al.* [35], são: descobrir, tomar decisões e explicar um determinado conjunto de informações. A VI passa a ser útil na medida em que aumenta a capacidade de executar essas e outras atividades cognitivas.

Eventualmente, a VI pode mesclar aspectos de interface homem-computador, computação gráfica, mineração de dados, etc. Tal poder pode proporcionar ao usuário uma ampliação da percepção visual. Em consequência, há uma melhora na análise e na compreensão das informações apresentadas [200].

Todavia, criar uma visualização não é uma tarefa sempre trivial. Chen *et al.* [38] e outros autores [65, 149, 98, 97] comentam sobre as dificuldades encontradas (usabilidade, compreensão das tarefas, escalabilidade, etc.) na construção de VIs de um modo geral. Chen *et al.* [38, 40] e Foley *et al.* [65] deram a essas dificuldades o seguinte nome: os dez maiores problemas não resolvidos da Visualização de Informações. Projetar interfaces das mais diversas áreas que sejam efetivas e que apresentem todas as propriedades (gráficos, cores, variáveis, dimensões, etc.) necessárias para o usuário é uma tarefa de elevada complexidade. Além da quantidade de opções a serem consideradas, essas propriedades podem competir pela percepção do observador e dificultar a criação de representações visuais mais efetivas.

Uma das considerações fundamentais a serem realizadas no processo de criar uma visualização é definir qual(is) técnica(s) são empregada(s) em uma certa aplicação ou situação. Esse critério é certamente sujeito aos tipos de informações tratadas e às tarefas que carecem ser realizadas pelo usuário. Para tanto, alguns autores propõem classificações buscando auxiliar projetistas a enquadrarem suas aplicações a alguma das técnicas.

Por exemplo, Shneiderman *et al.* [167] propõem uma classificação por tipo de dados e por tarefas <sup>3</sup>:

- **Tipos de dados** – os dados podem ser classificados como temporais, árvores, redes, unidimensionais, bidimensionais, tridimensionais e multi-dimensionais;
- **Tarefas** – elas são as ações dos usuários com as operações de interações de visão geral, visão detalhada (informações complementares exibidas quando um item da visualização é selecionado), ampliação e redução, filtragem, reconhecimento de relacionamentos (associação entre itens da visualização), manutenção do histórico de ações e extração de informações variadas (permite explorar os dados ou o subconjunto).

Wehrend *et al.* [201] também apresentam um outro exemplo de classificação para VI. Porém, ela está relacionada às ações de análise de dados. A seguir, são apresentadas as possíveis ações:

---

<sup>3</sup>As tarefas de usuários representam um número de ações de alto nível que podem se realizar em uma visualização a fim de manipular informações, objetos e símbolos.

- **localizar** – achar um item de interesse do usuário, podendo informar questões como posição ou situação;
- **identificar** – possui as mesmas características do item "localizar", mas deve-se ter uma descrição do item que não se conhece;
- **distinguir** – possibilita diferenciar e verificar itens;
- **categorizar** – classificar por características semelhantes;
- **agrupar** – ação de combinar itens;
- **distribuir** – ato de dividir itens;
- **associar** – estabelecer relação entre os itens;
- **correlacionar** – observar características compartilhadas entre os itens.

Por fim, Freitas *et al.* [66] identificam tarefas básicas no processo de análise exploratória visual:

- **navegação** – proporcionar a navegação entre os objetos do universo proposto;
- **seleção** – permitir a seleção total ou parcial de objetos;
- **consulta** – pesquisar objetos com base em seus atributos;
- **preparação** – inicializar ou modificar parâmetros;
- **processamento** – englobar simulações, cálculos e monitoramento da visualização;
- **anotação** – permitir adicionar um texto a uma representação visual;
- **armazenamento** – indicar quais representações visuais devem ser armazenadas para uma posterior retomada.

Como existe uma diversidade de técnicas de visualização, nem sempre elas se encaixam corretamente nas classificações existentes [167, 66]. Logo, muitas das representações visuais podem ser consideradas híbridas, por adotarem elementos que permitiriam classificá-las como pertencentes parcialmente ou totalmente a várias categorias mencionadas acima.

### 2.2.1 Modelo de Referência

O desenvolvimento de sistemas para Visualização de Informações pode, consequentemente, se tornar bastante complexo em virtude da busca pelo atendimento de alguns critérios. São estes:

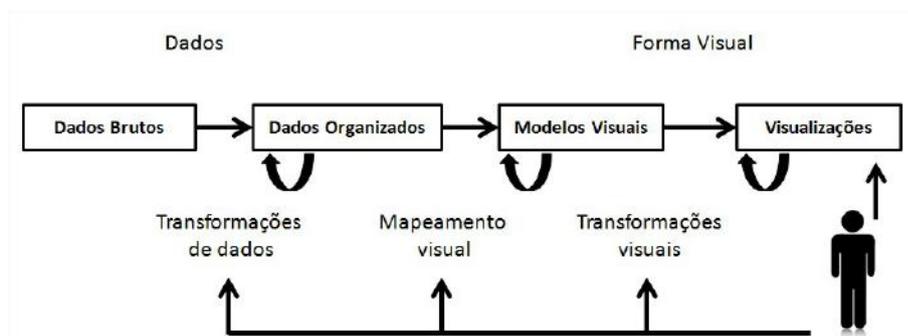
- desenvolver metáforas visuais que possibilitem mapear de forma intuitiva um conjunto de dados de interesse;
- incorporar diferentes tipos de interação a fim de facilitar a manipulação de um conjunto de informações grande e complexo;
- criar algoritmos e interações mais simples.

Esses critérios levam a questões de projeto de interfaces gráficas e avaliação de usabilidade pertinentes ao contexto da interação humano-computador. Outro fator a ser considerado possível, por exemplo, é a complexidade da integração da mesma com sistemas de mineração de dados [64], com o objetivo de auxiliar na identificação de padrões, estruturas e outras informações ocultas no próprio conjunto de dados.

Independentemente destes obstáculos, ao se aplicar técnicas de VI, tem-se inúmeras vantagens resultantes da abstração de dados. Tergan *et al.* [181] e Card *et al.* [35] citam os diferentes pontos pelos quais as visualizações proporcionam uma ampliação cognitiva (maior facilidade na aquisição de conhecimento):

- aumentam os recursos do sistema visual e da memória de trabalho;
- possibilitam a identificação de padrões;
- mitigam a busca por informações por meio de agrupamentos ou relacionamentos visuais, condensando-as, exibindo uma visão geral ou detalhada;
- possibilitam operações de inferência perceptiva;
- ajudam a manipular informações.

Para que esse aumento cognitivo possa ocorrer, é fundamental definir o modo como as estruturas dos dados serão mapeadas em estruturas visuais. Deve-se observar as características dos dados a serem apresentados, das estruturas visuais que podem ser usadas para a representação desses dados, do tipo de interação humano-computador envolvida, bem como respeitar os limites da visão e da cognição humana. Essas características são detalhadas logo a seguir.



**Figura 2.1:** Modelo de referência para a construção de visualizações [35].

Um dos modelos de referência mais conhecidos para construção de VIs é apresentado por Card *et al.* [35] (Figura. 2.1). Esse modelo define um processo em três etapas que saem de dados brutos e progridem até a visualização final. As etapas são definidas a seguir:

1. **Transformações dos dados** – esta primeira etapa visa a organizar de maneira estruturada um conjunto de dados brutos. Tal processo pode contemplar também a

eliminação de dados redundantes ou incompletos, assim como agrupar e filtrar dados e inserir novas informações relevantes (por exemplo, informações estatísticas com média, desvio padrão, etc.). Todos os dados e seus atributos podem ser classificados de acordo com a semântica e com suas dependências de relacionamento a outros dados [173, 35, 200]. Geralmente, o resultado desta etapa é um conjunto de dados organizados em formato de tabelas e com seus atributos classificados nas seguintes categorias:

- **nominais (ou categóricos)** – conjunto de elementos sem ordem específica. Ex. Márcia, José;
- **ordinais** – conjunto de elementos que apresentam essencialmente uma relação de ordem entre si, como, por exemplo, uma listagem de datas históricas (temporal) e dias da semana (quinta, sexta,...);e
- **quantitativos (ou numéricos)** – conjunto de elementos numéricos, passíveis de operações aritméticas sobre eles. Exemplos são: distância entre bairros (espacial), altura e peso de pessoas, etc.

2. **Mapeamento visual** – esta etapa envolve a definição de uma estrutura que evidencie de modo visual os dados nas tabelas. A estrutura visual pode ser dividida em três partes:

- **substrato visual** – é o espaço para a visualização, geralmente representado por eixos, tais como eixos X, Y e Z em um espaço cartesiano.
- **marcas visuais** – são objetos gráficos para a representação dos dados, tais como pontos, linhas e outras formas geométricas.
- **propriedades gráficas das marcas** – são os atributos visuais das marcas, como posicionamento, dimensão, quantidade, ângulo, sentido, coloração, textura e forma, dentre outros.

Pode-se dizer que o mapeamento visual é composto pela associação dos itens de dados a marcas visuais em um substrato visual, bem como dos atributos dos dados às propriedades das marcas.

3. **Transformações visuais** – nesta etapa, é possível modificar e ampliar as estruturas visuais de forma interativa por meio de operações como:

- **controles de ponto de vista** – ampliar, rotacionar, reduzir e deslocar a imagem, com o objetivo de apresentar diferentes visões/perspectivas;
- **distorções da imagem** – criar ampliações de uma região que é alvo do processo de navegação e de exploração.

É importante ressaltar que esse modelo prevê a interação do usuário com todas as etapas de modo a ajustá-las à visualização e assim explorar e entender o conjunto de dados de diferentes perspectivas.

## 2.2.2 Visualizações Efetivas

Nem sempre uma representação visual é adequada para o usuário. De acordo com Mackinlay *et al.* [128], dois aspectos podem ser utilizados para avaliar visualizações e assim dar indícios sobre o seu sucesso: efetividade e expressividade. Uma visualização só é considerada *expressiva* quando é capaz de exibir todos os dados de interesse do usuário sem mostrar dados desnecessários. Por outro lado, a efetividade está ligada à clareza de se entender a apresentação dos dados. Para isso, a visualização deve ser de rápida percepção e proporcionar uma menor taxa de erros na sua interpretação.

Certos problemas podem comprometer a efetividade. Entre eles, destacam-se:

- Composição visual com dados insuficientes ou desnecessários;
- Sobreposição de dados e utilização de escalas de valores diferentes. Isso implica em maior dificuldade na comparação dos dados; e
- Mapeamento dos dados para atributos visuais de forma inadequada.

Por outro lado, algumas regras podem ajudar a aumentar a expressividade e a efetividade das visualizações:

- Utilizar um modelo de referência no desenvolvimento de visualizações [35]. Os modelos de referência auxiliam na decomposição do processo de construção de visualizações em etapas mais fáceis de projetar e gerenciar;
- Eliminar do mapeamento visual marcas, textos e atributos visuais não importantes. Uma boa prática de quantificação de elementos em uma visualização é observar quais questões ela deve responder. Caso seja necessário, deve-se particionar ou utilizar técnicas diferentes para apresentar tais dados;
- Escolher preferencialmente a visualização mais simples para responder um problema.
- Aumentar a quantidade de dados em um espaço disponível. Tal disposição pode auxiliar a compreender melhor o problema como um todo, mas deve-se ter cuidado com uma possível sobrecarga na visualização;
- Utilizar-se de resultados já conhecidos sobre a escolha de marcas visuais e atributos a fim de facilitar na percepção de padrões existentes nos dados. Mackinlay *et al.* [128] sugerem uma sequência de prioridades para a associação entre atributos de dados e atributos visuais, a qual é apresentada no quadro 2.3 a seguir.
- Disponibilizar diferentes formas de interação com a visualização;
- Observar a limitação do sistema visual humano. Logo, deve-se preocupar com transições gradativas a fim de preservar a memória que o usuário possui da imagem. Caso ocorra uma mudança muito rápida ou muito lenta, há uma alta probabilidade do usuário se perder na visualização ou não perceber a mudança.

**Tabela 2.3:** Sequência de prioridades entre atributos de dados e atributos visuais.

Percepção	Dados Quantitativos	Dados Ordinais	Dados Normais
Maior	Posição Comprimento Ângulo Inclinação Área Volume Densidade Saturação de cor Croma de cor Textura Conexão Envolvimento	Posição Densidade Saturação de cor Croma de cor Textura Conexão Envolvimento Comprimento Ângulo Inclinação Área Volume	Posição Croma de Cor Textura Conexão Envolvimento Densidade Saturação de cor Forma Comprimento Ângulo Inclinação Área Volume
Menor	Forma	Forma	Forma

### 2.2.3 Técnicas de Visualização

Existe uma gama de técnicas de Visualização de Informações, cada uma com suas próprias características e aplicações. Alguns exemplos simples dessas técnicas são os famosos gráficos de linhas, barra, pizza e mapas geográficos. Há também técnicas que adotam a manipulação de atributos visuais de ícones para transmitir informações. Geralmente, esses ícones são chamados de glifos<sup>4</sup>.

As técnicas de VI podem ainda abordar relacionamentos e estruturas hierárquicas, por meio de uma apresentação de grafos. Isto é passível de aplicação em diversas atividades como, por exemplo, na navegação em um sistema de arquivos de computadores e de páginas na *Internet* e no funcionamento de redes sociais [209, 57, 35, 173].

A seguir, são descritas algumas das técnicas principais de VI que foram empregadas no decorrer deste trabalho.

A expressão "Foco e Contexto" define uma categoria de técnicas de Visualização de Informações que oferece uma visão geral dos dados, ao mesmo tempo em que possibilita destaques em áreas de interesse (foco) por intermédio de distorções da imagem. Como exemplo dessa categoria, pode-se citar a técnica *Fisheye* (Figura 2.2). Ela é uma proposta de Furnas *et al.* [70] e através dela tem-se a atuação de uma lente de aumento teórica ou visual sobre as informações (documentos, figuras, gráficos, etc.). Nesta proposta, a área central ampliada retém a informação em foco (destaque). O restante das informações (o contexto) é mostrado nos lados da região central. Possivelmente, com

<sup>4</sup>Objeto geométrico que possui como objetivo representar uma entidade ou elemento, cuja forma e atributos visuais dependem de valores dos dados. Um exemplo clássico é o das faces de Chernoff [46].

um certo nível de compressão da imagem a fim de permitir a orientação do usuário na exploração dos dados.

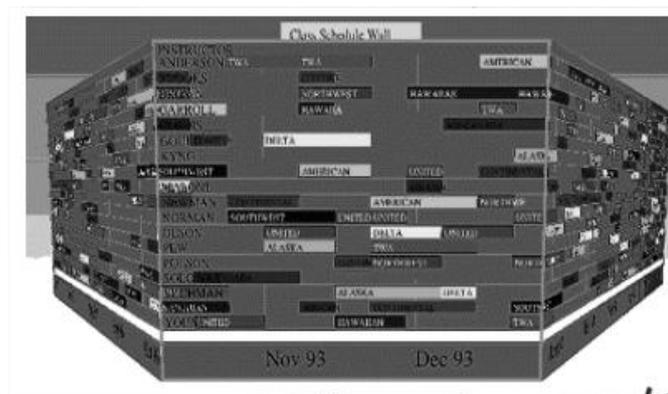


**Figura 2.2:** Técnica olho de peixe sobre mapas [182].

Variações deste conceito podem ser observadas nos conceitos *Document Lens* [153], *Table Lens* [142, 95] (Figura 2.3), *Flip Zooming* [89, 23, 22] e, em particular, no *Perspective Wall* [128]. Este último utiliza paredes em perspectiva como metáfora de *zoom*, buscando evidenciar alguns dados por meio de uma parede principal projetada à frente. As outras paredes, representando o contexto, são apresentadas nas laterais com uma resolução menor. Esta distorção permite gerenciar de forma eficiente a quantidade de informações exibidas juntamente com a possibilidade de realizar uma transição suave dos dados em foco. O *Perspective Wall* está ilustrado na Figura 2.4.

Player	Hits	Position
Don Mattingly	238	3B
Brian Downing	131	2B
Bonnie Hill	76	SS
Scott Bradley	66	C
Terry Armas	2	CF

**Figura 2.3:** Técnica Table lens [147]



**Figura 2.4:** Técnica *Perspective Wall* [169]

Uma abordagem semelhante ao Foco e Contexto, mas que não emprega distorções da imagem, é a técnica *Overview+Detail*. Ela apresenta uma visão geral (*overview*) das informações em um formato reduzido, em alguma posição da tela, enquanto uma parte interessante das informações é representada de modo ampliado, ocupando a região principal da tela. Ambas as visualizações trabalham de forma sincronizada. Alguns exemplos desta técnica são a interface apresentada no Google Maps<sup>5</sup> e as diversas ferramentas de apresentação de *slides* ou programas de edição de imagens.

Quando as informações podem ser descritas por meio de entidades e de relações entre as mesmas, é comum o uso de uma modelagem em grafos. Eles possuem uma estrutura simples, composta por um conjunto de vértices e um conjunto de arestas. Os vértices (também chamados de nós) frequentemente representam objetos concretos ou abstratos do cotidiano, enquanto que as arestas representam um relacionamento entre os nós. A modelagem e a visualização de grafos está presente nas mais diversas aplicações e envolve áreas de pesquisa bem consolidadas, como a de teoria de grafos e a de desenho de grafos.

Criados nas décadas de 80 e 90 a partir de algumas abordagens clássicas de desenho de grafos, várias técnicas mais avançadas de visualização de grafos foram desenvolvidas. Um exemplo disso, é a *Hyperbolic Tree* [206, 111, 106], ilustrada na Figura 2.5. Ela consiste de um *layout* radial distribuído em um plano hiperbólico e posteriormente convertido para um disco 2D. Essa técnica oferece aspectos de construção com efeitos semelhantes ao *Fisheye* [70] associado a um mecanismo de navegação para um nó relevante. O nó relevante é destacado no centro da visualização e o contexto permanece visível através da exibição do restante do diagrama com nós suprimidos/reduzidos.

---

<sup>5</sup><https://www.google.com.br/maps>

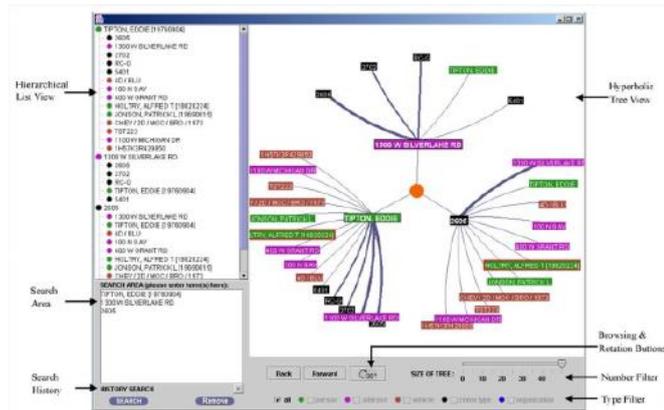


Figura 2.5: Técnica Hyperbolic Tree [206]

Representações hierárquicas podem realizar sucessivas subdivisões de um espaço. Esse é o caso da técnica *TreeMaps* [170, 96, 85, 168] (Figura 3.16). Cada subespaço (célula) do *Treemap* retrata um objeto, e é subdividido com base nos sub-objetos que o compõem. Algumas variações dessa representação são encontradas em interfaces como *Sunburst* [174], *Information Slices* [10] e *Cushion TreeMaps* [193].

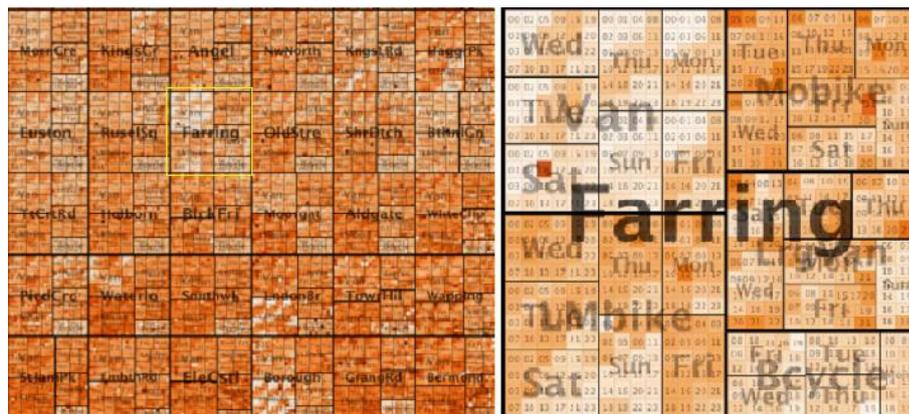


Figura 2.6: Técnica TreeMap [170]

As representações também podem estar ligadas ao número de dimensões de uma visualização, por exemplo, quando os dados contêm  $n$  dimensões com ( $n > 3$ ), pode-se adotar uma das seguintes abordagens: (1) associar apenas dois atributos dos dados às coordenadas do substrato espacial (por exemplo, coordenadas  $x$  e  $y$ ) e ajustar o restante dos atributos a outras características como cor e tamanho das marcas visuais. (2) projetar as  $n$ -dimensões em um plano cartesiano, ou (3) adotar outra representação que permita a visualização de múltiplos atributos em uma estrutura.

Uma das técnicas que se encaixa na terceira abordagem, descrita acima, é chamada de Coordenadas Paralelas. Ela representa os atributos (dimensões dos dados) através de linhas verticais com espaçamentos regulares (iguais). Cada linha vertical indica um atributo diferente dos dados, com uma escala de valores mínimos e máximos definidos de acordo com o conjunto de dados em exibição.

Já os dados em si são representados por linhas horizontais. Tais dados são distribuídos nos diferentes atributos (dimensões), de acordo com suas características (numérica, textual, etc.) e são posicionados conforme a escala mínima e máxima de cada dimensão.

É importante notar que, apesar de existirem inúmeras técnicas de visualização [38, 48, 72] e uma contínua preocupação com as características de projeto da área de interação homem-computador (IHC), questões como excesso de dados e atributos visuais diferentes, e oclusão de objetos podem acabar dificultando a interpretação das informações pelo usuário.

A desordem visual é consequência de um impasse da interpretação (pelo usuário) de elementos presentes na visualização, resultando em uma sobrecarga da cognição. Desorientações visuais ocorrem quando há uma troca de pontos de vista e retorno a situações anteriores. Nesse caso, técnicas como foco e contexto [56] podem amenizar a desorientação permitindo que as informações fiquem sempre visíveis, mesmo que em uma versão reduzida.

Por outro lado, tem-se a oclusão de objetos que pode acontecer no momento em que ocorre uma grande concentração de informações sobrepostas. Para atenuar esses problemas, algumas técnicas utilizam atributos da natureza, tais como transparência e sombreamento. Estas medidas proporcionam ao usuário uma interpretação mais clara e precisa da localização dos objetos. Por exemplo, pode-se citar o uso de recursos básicos de manipulação como: translação, mudanças de escala, rotação, etc.

Avaliar as diferentes técnicas de visualização é fundamental para comprovar sua eficiência no auxílio às tarefas de usuários e da capacidade de exibição de informações relevantes. A escolha equivocada de uma técnica pode influenciar negativamente no nível da qualidade da compreensão e interpretação do conjunto de domínio [200, 136]. Por este motivo, deve-se despender tempo com a análise de diversas técnicas a fim de realizar uma escolha mais adequada.

#### 2.2.4 Avaliação de Visualização de Informações

Por volta do início da década de 90 até o fim do ano 2000, as pesquisas relacionadas a VI estavam centradas na criação e na melhoria de técnicas de visualização (algoritmos e operações) [201, 211, 135]. Porém, somente após o fim desse período que houve a introdução de pesquisas relacionadas a avaliação de técnicas de VI [126].

De acordo com Luzzardi *et al.* [126], é possível categorizar a avaliação de VI em três grupos. São eles:

- **avaliação empírica de uma técnica de visualização** – basicamente, é composta por ensaios de interação e contem tarefas a serem realizadas. A execução de tais

tarefas serve como um instrumento de medição da visualização, por meio delas, por exemplo, pode-se avaliar: eficácia, desempenho, etc. Nesta categoria, avalia-se a quantidade de tempo gasto na execução das tarefas, bem como a quantidade de erros. Apesar de serem empíricas há a possibilidade de se incluir métodos mais formais de avaliação, como o uso de testes estatísticos.

- **comparação entre diferentes técnicas de visualização** – tal categoria, visa comparar o emprego de diferentes técnicas de visualização, podendo elas apresentarem os mesmos aspectos visuais ou de tipos de dados. Para isso, a comparação, por exemplo, é realizada por meio da análise de: tempo gasto para realizar uma tarefa, frequência de erros, tempo de resposta, satisfação do usuário, etc.
- **avaliação baseada em critérios específicos para técnicas de visualização** – os trabalhos contidos nesta categoria apresentam/abordam critérios específicos avaliação de técnicas de visualização. Como por exemplo: densidade dos dados, complexidade cognitiva, oclusão de objetos, classificação de tarefas visuais, dentre outros.

Por outro lado, Valiati *et al.* [190] apresentam outra categorização para avaliação de técnicas de VI, podendo elas serem divididas em:

- **trabalhos com critérios quantitativos ou subjetivos** – envolvem a avaliação de critérios como, tipo e quantidade de dados, interações humanas utilizadas, tarefas suportadas e características da visualização (por exemplo, sobreposição de itens), etc.
- **trabalhos empregando métodos de IHC** – as avaliações envolvem a aplicação de técnicas como: GOMS, ensaios de interação, heurísticas, *checklists* e estudos de casos longitudinais (técnicas descritas na seção 2.3).

## 2.3 Avaliação de Usabilidade

Esta seção tem como objetivo apresentar as características e os conceitos básicos de avaliação de usabilidade, bem como mencionar suas vantagens e desvantagens.

Nielsen *et al.* [127] definem usabilidade como a facilidade de interação com uma interface a partir do uso adequado de funcionalidades do sistema. Para isso, deve-se observar as seguintes características: eficiência no uso, facilidade de aprendizado, facilidade na memorização e a redução da taxa de erros.

A usabilidade de interfaces também possui uma ligação direta com a Engenharia de Software. Por exemplo, pode-se citar alguns trabalhos que relacionam os requisitos de sistemas a tarefas de usuários [52, 141, 18]. Um software efetivo deve considerar as necessidades e as expectativas dos usuários, incluindo o uso de suas interfaces [146].

Este mesmo argumento é compartilhado por Scholtz *et al.* [160, 161], no qual ressaltam a importância da usabilidade em um sistema. Logo, a interface deve fornecer subsídios necessários para que o usuário tenha o suporte adequado e efetivo na realização da análise de dados.

A usabilidade está associada à qualidade de *software*, conforme expressam as normas *ISO/IEC 9126* (apreensibilidade, inteligibilidade, operacionalidade, atratividade e conformidade), *ISO/IEC 9241* [52] (eficácia, eficiência e agradabilidade), *ISO/IEC 12119*, *ISO/IEC 14598* e o modelo definido por McCall *et al.* [84].

Logo, pode-se considerar que a usabilidade está diretamente relacionada à ausência de qualquer obstáculo que prejudique o usuário ao tentar completar suas tarefas de forma eficiente e efetiva [102, 149]. De acordo com Hix *et al.* [87, 88], uma interface pode conter obstáculos na usabilidade quando:

- O projetista carece de conhecimentos técnicos em IHC e desconhece as tarefas realizadas pelos usuários;
- A interface é desenvolvida focando-se apenas na perspectiva de atributos funcionais. Além de ocorrer ausência de elicitação e especificação de requisitos de usabilidade no desenvolvimento e falta de processos interativos e incrementais na construção;
- A interface visual não é avaliada de forma eficaz;
- As boas práticas de Engenharia de *Software* e de IHC não são seguidas.

### 2.3.1 Técnicas de Avaliação de Usabilidade

A avaliação de usabilidade segundo Cybis *et al.* [52] tem como objetivo os seguintes pontos:

- Validar a eficácia da interface com o usuário de acordo com a execução das ações pelos usuários;
- Verificar a eficiência da interação em relação aos recursos disponibilizados;
- Considerar a satisfação dos usuários envolvidos no uso da interface.

Há inúmeros modos de se avaliar o uso de uma interface; por exemplo: pela participação de usuários, por estudo de campo e por inspeção. A avaliação com a participação de usuários pode abordar o recolhimento de suas opiniões em relação ao grau de satisfação, bem como analisar o seu comportamento. O estudo de campo visa observar a utilização da interface por um período de tempo no ambiente real de atividade do usuário, semelhante à etnografia. Por fim, a inspeção está focada no grau de conhecimento do avaliador, o qual deve seguir um conjunto de critérios previamente estabelecidos [165]. A seguir, são descritas algumas das técnicas utilizadas no presente trabalho.

## Ensaio de Interação

O ensaio de interação é uma avaliação com a presença de usuários simbolizando o público alvo. Ela é classificada como altamente relevante, já que leva em conta o contato real do usuário com a interface. Pode-se, por meio desta técnica, obter relatos de problemas, bem como detectar defeitos de difícil localização. Baecker *et al.* [14] e Dix *et al.* [55] apontam que, com o uso do ensaio de interação, o usuário é capaz de encontrar desde boa parte de problemas com gravidade simples até alguns problemas sérios.

A técnica exige um local controlado para sua realização, podendo este ser um laboratório ou em campo, tudo de acordo com o contexto do teste (também chamado de sessão) [55]. Existem vários processos ou termos para a realização de ensaios de interação e basicamente utilizam-se os seguintes conceitos:

- O ato de reunir usuários e projetistas de interface é conhecido como "sessão";
- O ensaio de interação pode envolver um ou mais avaliadores observando direta ou indiretamente os participantes na utilização da interface;
- Os avaliadores podem também utilizar recursos extras na captura de informações, como: captura de teclas pressionadas, regiões de maior interação com o mouse, gravações de áudio/vídeo, dentre outros; e
- Geralmente, os projetistas criam tarefas (fáceis ou complexas) que envolvam a interface para que os usuários possam interagir.

Para a construção de um bom ensaio de interação, deve-se preocupar com os seguintes procedimentos:

- Ser capaz de escolher os usuários (seguindo algum perfil) para o teste e, ao menos, um especialista em interfaces para obter uma melhor compreensão e interpretação das ações dos usuários;
- Preparar com antecedência as questões que envolvam o problema a ser avaliado.
- Preparar o ambiente de avaliação (instalação de *software* para garantir a homogeneidade, etc.) e o material a ser entregue ou disponibilizado *on-line* aos usuários. Deve-se treinar previamente os usuários no uso da interface, caso seja necessário;
- Pode ser necessário também instalar ou preparar o ambiente para registrar as informações (câmeras, *software*, etc.); e
- É preciso saber o que fazer com os dados coletados.

As questões propostas (aplicadas na avaliação) podem explorar informações objetivas como: taxas de erro, médias de tempo e quantidade de tarefas concluídas com sucesso ou não respondidas. A opinião dos usuários também pode ser considerada, por exemplo: o grau de satisfação de um item do sistema, usando uma escala Linkert [9], ou o nível de aceitação ou rejeição de um recurso [157].

Esta técnica possui um custo considerável com a preparação do ambiente. Este custo inclui a agregação de um número considerável de usuários em um mesmo local e tempo, impressão de materiais, gestão da avaliação durante sua realização e, posteriormente, a análise dos dados coletados. Apesar disso, ela ainda apresenta as seguintes vantagens:

- permite observar a conduta do usuário ao se interagir com a interface;
- demanda um número reduzido de especialistas em interface;
- possibilita a observação das hipóteses (com base nas tarefas criadas) previamente elaboradas (rejeitadas/confirmadas).

### Avaliação Heurística

A avaliação heurística, criada por Nielsen *et al.* [137], pertence aos métodos de inspeção. Ela permite que o avaliador analise as soluções de IHC com o objetivo de prever decisões erradas sobre o seu *design*. Nela, os avaliadores se colocam no lugar de usuários em diferentes níveis de perfil.

Este é o método mais utilizado e conhecido no universo de avaliação de interfaces [94, 154]. Basicamente, ele utiliza um conjunto de regras de boas práticas desejáveis como guia. Elas norteiam os avaliadores (especialistas de interfaces) enquanto estes interagem com a interface em busca de defeitos e problemas. A avaliação heurística é considerada uma das técnicas de inspeção mais baratas e fáceis de se implementar. Sugere-se em média de 3 a 5 avaliadores por apresentar uma melhor relação entre custo e benefício [136].

A abordagem de avaliação heurística de Nielsen *et al.* [127] resultou da análise de mais de 240 problemas de usabilidade encontrados por vários especialistas. Um resumo dessas heurísticas é apresentado logo abaixo:

- **Visibilidade do estado do sistema:** o usuário deve sempre ser informado do estado atual do *software*, em um período de resposta hábil;
- **Correspondência entre o sistema e o mundo real:** quanto mais familiar for a interface para o usuário, mais fácil será seu entendimento e utilização. Para isso, deve-se observar exemplos do mundo real, como a natureza ou atividades comuns. As ações e representações também devem seguir uma lógica natural;
- **Controle e liberdade do usuário:** a interface deve garantir meios pelos quais os usuários possam sair de estados indesejáveis gerados, por exemplo, a partir da execução de ações erradas ou por engano. A interface deve permitir que se desfaçam ou refaçam determinadas ações;
- **Consistência e padrões:** ao longo de toda a interface, deve-se seguir os mesmos padrões visuais de significado para imagens, botões, ações, etc.;

- **Prevenção de erros:** deve-se atentar ao tratamento de erros de forma antecipada. Por exemplo, é importante preocupar-se com o tratamento das entradas de dados na interface para que não ocorram problemas posteriormente ao longo do funcionamento do sistema;
- **Reconhecer ao invés de memorizar:** não se deve exigir que um usuário se lembre para que serve um elemento que não é reconhecido instantaneamente. Além disso, não se deve exigir que ele memorize as informações em caso de mudanças na interface;
- **Flexibilidade e eficiência de uso:** uma interface deve permitir que participantes experientes maximizem suas ações por meio de atalhos ou tarefas frequentes;
- **Projeto estético e design mínimo:** deve-se apresentar somente informações necessárias e relevantes em qualquer meio de informação;
- **Prevenção de erros:** deve-se ter um bom projeto para evitar que problemas aconteçam;
- **Auxiliar os usuários a reconhecer, diagnosticar e recuperar-se de erros:** é recomendado que as mensagens de erro estejam em uma linguagem simples, apontando as possíveis causas do erro e, quando possível, com sugestões de solução para o problema detectado;
- **Ajuda e documentação:** toda e qualquer interface deve fornecer, de forma fácil e objetiva, informações sobre as principais funcionalidades de interação.

Há outros princípios e heurísticas que também podem ser utilizados como diretrizes, tais como os princípios definidos pelo Xerox PARC [133] ou os critérios ergonômicos propostos por Bastien e Scapin [19].

Os princípios e heurísticas listados anteriormente também podem ser estendidas. Por exemplo, há inúmeras diretrizes para determinados tipos de interação (*Web*, manipulação direta, interfaces via voz) e os diversos domínios de aplicação (comércio eletrônico, bibliotecas, educação à distância, etc.).

Resumindo, os avaliadores utilizam essas diretrizes para inspecionar a interface. Em seguida, os problemas são registrados e ponderados de acordo com sua gravidade [127].

O registro da ocorrência de defeitos pode ser feito manualmente pelo próprio avaliador, mas também pode ser realizado por um observador ou qualquer meio de registro que possibilite uma análise posterior (câmera, áudio, tela, etc.). A gravidade de cada item (listados anteriormente) infringido foi definida por Nielsen [127] conforme a Tabela 2.4:

**Tabela 2.4:** Escala de severidades aplicada na avaliação heurística. [127]

SEVERIDADE	SIGNIFICADO
0	Não é considerado totalmente um problema de usabilidade.
1	Problema apenas estético. Não necessita ser resolvido, a menos que haja tempo extra disponível no projeto.
2	Problema menor de usabilidade. A resolução desse problema deverá ter baixa prioridade.
3	Problema maior de usabilidade. É importante resolvê-lo. Para isto, deve ser dada alta prioridade ao mesmo.
4	Catástrofe de usabilidade. É obrigatório resolver o problema antes do produto ser divulgado.

Espera-se, no final da avaliação (sessão) com esse método, ter uma lista de problemas encontrados com suas respectivas gravidades, juntamente com a descrição das heurísticas violadas e com algum comentário, além do número de ocorrência deste erro [165]. Preece *et al.* [145] propõem que a avaliação heurística seja realizada em três estágios:

- **Sessão preliminar:** informar aos avaliadores quais atividades estes devem fazer. Este primeiro momento assegura uma padronização de orientação a todos os avaliadores;
- **Sessão de avaliação:** inspecionar a interface utilizando como base as informações previamente definidas, juntamente com a heurística estabelecida;
- **Sessão de resultados:** todos os avaliadores discutem a respeito da interface e ponderam os problemas enfrentados juntamente com suas possíveis soluções.

Para Nielsen *et al.* [127], a avaliação heurística envolve as seguintes atividades:

- **Preparação:** estudar as regras de negócios e os tipos de usuários, assim como conhecer as partes da interface que serão avaliadas;
- **Coleta de dados:** registrar os dados de cada indivíduo no momento da inspeção.
- **Interpretação:** percorrer a interface a fim de verificar as violações da heurística e listar os problemas encontrados, exigindo os seguintes dados – local onde ocorre o problema, a descrição, diretriz(es) violada(s), gravidade do problema e recomendações de solução.
- **Consolidação dos resultados:** reavaliar a lista de problemas com o objetivo de validar sua relevância e gravidade.
- **Relato dos resultados:** gerar um conjunto de relatórios.

Logo, apesar de ser uma técnica barata e rápida de se aplicar, ela está diretamente relacionada à experiência dos avaliadores e ao processo que eles utilizaram. De acordo

com Pollier *et al.* [144, 143], os resultados das heurísticas dependem do conhecimento e experiência de cada avaliador e da forma de aplicação do teste. Ou seja, o avaliador é a chave para garantir o total sucesso ou insucesso do método. Aconselha-se também o uso de outros profissionais não especialistas em interface para compor o time de avaliadores, como usuários finais avançados, desenvolvedores de software ou usuários com conhecimentos aprofundados sobre um determinado domínio [127, 204, 189].

### **Conformidade com Recomendações / Checklists**

Neste método, os avaliadores seguem um conjunto de regras (*guidelines*) em sessões particulares para inspecionar uma determinada interface. Essas diretrizes são criadas por meio de um texto composto por questões afirmativas (*guidelines*) ou interrogativas (*checklist*).

A conformidade com recomendações é uma técnica híbrida, caracterizada pela mesclagem de heurística e determinismo. A heurística está ligada às questões oriundas de experiências e conhecimento, enquanto que o determinismo está vinculado aos resultados das verificações.

Essa técnica mostra um resultado satisfatório para questões gerais, pois auxilia quem está avaliando a ter uma visão da interface [94]. Porém, outros autores [127, 94] afirmam que a técnica não deve ser muito extensa, por necessitar de uma grande quantidade de tempo na avaliação. Ela é considerada a técnica que apresenta um menor custo de aplicação [94], pois apresenta as seguintes características:

- não há a necessidade de nenhum avaliador especialista em IHC;
- não se envolve com os usuários reais;

Entretanto, ela é julgada ineficaz na identificação de problemas graves. Por isso, deve-se introduzir especialistas em interface ou aprofundar-se ainda mais nas construções de guias. [94]

Logo, a conformidade com recomendações depende mais da qualidade do *checklist* ou das *guidelines* do que de seus próprios avaliadores para fornecerem os resultados. Ao se construir *checklists* bem abrangentes, os resultados são homogêneos, pois os avaliadores utilizam uma diretriz única. Deve-se atentar para a subjetividade e a exigência técnica na formulação das questões. Uma má gestão das questões pode influenciar negativamente a inspeção [52].

## Percurso Cognitivo

A técnica do percurso cognitivo usa a exploração da interface por meio da teoria cognitiva<sup>6</sup>. Seu funcionamento se dá através da simulação passo-a-passo de tarefas que serão realizadas pelo usuário, bem como da participação dos envolvidos no projeto para responder questões de cada item simulado [24]. A técnica pode oferecer uma visão detalhada da interação feita pelo usuário a partir de tarefas específicas. Portanto, seu principal intuito é avaliar o nível de facilidade de se aprender, por meio da análise da interface [203, 165].

O percurso cognitivo pode ser dividido [203] em duas fases:

- **Preparação** – cada avaliador recebe uma série de orientações como detalhes da interface e dos usuários, e tarefas a serem realizadas juntamente com as sequências de ações, a fim de realizar com sucesso as especificações do desenvolvedor.
- **Análise** – de acordo com o perfil dos usuários, o avaliador irá percorrer uma sequência de ações e concluir se o usuário completará com êxito seu objetivo. Os avaliadores podem também propor histórias de fracasso [6] de acordo com falhas e melhorias identificadas por um projetista/usuário. Eles também podem propor histórias de sucesso [203], representando o desfecho correto de todos os requisitos analisados.

O time do projeto cria suas histórias conforme uma série de perguntas [203], como as seguintes:

- O usuário alcançará o resultado correto?
- O usuário conseguirá deduzir que a ação certa está acessível?
- Ocorrerá a associação da ação e o efeito desejado pelo usuário?
- Caso a ação correta seja feita, o usuário entenderá que o processo está chegando ao fim?

Ao longo da avaliação, é essencial o registro de todos os dados ocorridos (histórias, sugestões, notas e etc.) por meio de câmeras, formulários, gravação de telas ou outros meios. A inspeção pode ser tanto em grupo como individual [203, 165]

O grande problema enfrentado no percurso cognitivo é identificar quais tarefas são representativas, pois elas devem ser obtidas a partir do estudo das necessidades e dos requisitos [203].

A técnica pode ser aplicada ao longo do ciclo de vida do projeto, permitindo assim identificar requisitos incompletos ou insuficientes para a realização dos passos. Ou seja, há sempre a comparação das intenções do projetista/usuário com a realidade.

---

<sup>6</sup>É o desenvolvimento da inteligência dos indivíduos à medida que amadurecem, por meio de etapas.

Entretanto, há um grande consumo de tempo na aplicação desta técnica. Os problemas serão encontrados com base no grupo de cenários desenvolvidos. É essencial que o avaliador domine esta técnica para obter melhores resultados [203]

### Prototipação em Papel

A técnica de prototipação em papel [171] examina a usabilidade de uma interface com potenciais usuários por meio do *design* representado em papel. Este método é rápido e barato, pois permite identificar problemas na usabilidade antes mesmo da etapa do desenvolvimento. O método não cobre todos os detalhes da interface, mas auxilia o especialista a avaliar facilmente soluções parciais.

As atividades envolvidas na prototipação em papel são detalhadas abaixo:

- **Preparação** – definir quais tarefas os participantes irão executar, tais como: criar protótipos em papel da interface, definir e treinar os usuários e executar o teste.
- **Interpretação** – os usuários devem interagir com os protótipos em papel, enquanto o avaliador identifica os problemas. Eles refinam os protótipos para resolver problemas de menor complexidade.
- **Consolidação dos resultados** – definir um grau de prioridade para os problemas não resolvidos e sugerir correções.
- **Relato dos resultados** – gerar uma lista de problemas encontrados juntamente com suas sugestões de correção.

Na preparação da sessão, o avaliador elabora a representação das telas no papel, em geral isto é feito a mão livre, com o objetivo de representar os elementos principais da interface. Além das telas, é possível criar itens que se modificam conforme a ação, por exemplo: menus, resultados de buscas, diálogos, etc.

A coleta de dados, na prototipação, deve ser feita preferencialmente por dois avaliadores: um para observar a interação do usuário, e outro que assume o papel de "computador" e é responsável por simular o sistema. Nesta fase, o avaliador observará o usuário na navegação e interação pelas telas (por meio de toques ou por voz). Pequenas mudanças podem ser realizadas ao longo do teste, como por exemplo, incluir botões. Contudo, deve-se observar partes da interface que funcionaram bem ou mal, quais tarefas obtiveram êxito, os erros cometidos e os comentários feitos pelos usuários.

Após o uso da interface, os avaliadores reúnem-se para executar a atividade de interpretação. Neste momento, é preciso avaliar as anotações, os vídeos e os áudios a fim de identificar os problemas encontrados. Ao final, tem-se uma lista de defeitos da interface que devem ser corrigidos, além das sugestões de melhorias.

Caso o problema possua um grau maior de complexidade, deve-se definir uma priorização (também com base na sua frequência de erro) a fim de resolvê-lo.

## Discussões

Quando o assunto é definir qual a melhor técnica de avaliação a ser seguida, é importante atentar para os seguintes aspectos:

- fatores como tempo e recursos físicos e financeiros devem ser observados, pois são limitadores;
- a escolha da técnica deve ser baseada nas características da interface; e
- o tratamento dos dados deve ser planejado e feito de acordo com a interface.

Por fim, uma técnica isolada não garante sucesso total. Conforme foi explicado anteriormente, algumas técnicas são boas para encontrar problemas gerais de baixa ou de alta gravidade. A combinação destas técnicas pode garantir uma melhor avaliação de usabilidade [52].

## 2.4 Taxonomias de Visualização de Informações

O objetivo desta seção é mostrar um resumo das taxonomias mais conhecidas sobre Visualização de Informações. Tais taxonomias servirão de base para a elaboração de uma proposta voltada para visualizações do tráfego urbano, discutida posteriormente nos próximos capítulos.

O termo taxonomia, em grego, representa o uso de regras para classificar. A classificação visa a obter relações e padrões entre os diferentes tipos de elementos a fim de agrupá-los em um conjunto semelhante. Esta ação permite organizar e identificar os tipos de dados, as técnicas de visualização utilizadas e os tipos de tarefas (conjunto de ações) [175]. De acordo com Tory *et al.* [187], uma taxonomia de visualização pode servir, sobretudo, para dois grandes propósitos: (1) servir como guia de usuários, ou seja, auxiliar usuários fora da área de VI a buscarem ideias e técnicas de visualização; e (2) servir como guia de pesquisadores, auxiliando-os a encontrarem onde a pesquisa se encontra de acordo com um determinado contexto, bem como identificar outros pesquisadores que estão realizando trabalhos similares.

A seguir, serão discutidas algumas das diferentes estratégias para a classificação de Visualização de Informações.

### 2.4.1 Taxonomia de Acordo com o Tipo de Dados e Tarefas

Shneiderman *et al.* [167] descrevem o poder da linguagem visual e seu importante papel frente ao crescimento tecnológico representado por inovações como: o aumento das resoluções de telas, o aumento do poder computacional, o rápido crescimento do número de informações, etc. Os autores comentam sobre a existência de inúmeras

*guidelines* para o *design* de visualizações, mas basicamente todos buscam os seguintes passos: visão geral em primeiro lugar, *zoom* e filtros depois, e por fim vêm os detalhes. O trabalho também apresenta uma classificação das técnicas de VI de acordo com os tipos de dados e de tarefas. Os dados são divididos em:

- **unidimensionais** – tipos de dados lineares como, por exemplo, documentos textuais, listas de nomes, etc.;
- **bidimensionais** – compreendem dados planares ou mapas;
- **tridimensionais** – dados abstratos com três atributos distintos ou objetos do mundo real, tais como moléculas, construções, etc.;
- **temporais** – itens que devem possuir um início e um fim, como o gerenciamento de projetos;
- **multidimensionais** – apresentam múltiplas dimensões (eixos);
- **estruturas em árvore** – demonstram uma coleção de itens que possuem um relacionamento de parentesco uns com os outros, ou seja, definem uma hierarquia;
- **rede** – nem sempre os relacionamentos podem ser capturados por estruturas de árvore, pois os itens podem se conectar com inúmeros outros itens ao mesmo tempo.

Os autores levaram em consideração as ações realizadas pelos usuários no momento da manipulação desses dados. Abaixo, descreve-se cada tarefa identificada:

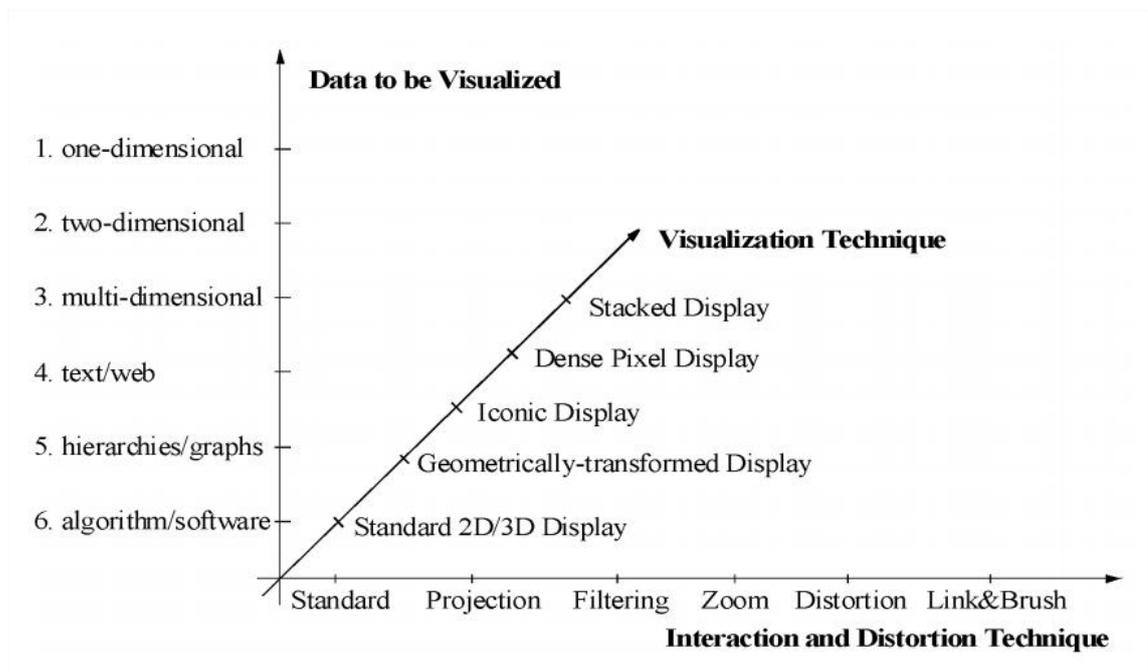
- **visão geral** – permite observar todos os dados;
- **zoom** – facilita a visualização com diferentes níveis de detalhes;
- **filtro** – proporciona a seleção de itens de interesse;
- **detalhe por demanda** – seleciona um item ou grupo e obtém detalhes quando necessário;
- **relacionar** – vê a associação entre os diferentes itens;
- **histórico** – permite o registro e a restauração de ações realizadas pelo usuário;
- **extrair** – retira um subconjunto de informações com base em parâmetros.

## 2.4.2 Classificação das Técnicas de Visualização de Informações

Keim *et al.* [103] definiram, por sua vez, uma classificação para as técnicas de VI. Resumidamente, ela consiste de três eixos, descritos a seguir e ilustrados na Figura 2.7:

- **Dados a serem visualizados** – divididos em 1 dimensão, 2 dimensões, 3 dimensões, texto/hipertexto (são difíceis de modelar numericamente; em sua maioria, tais dados são transformados em vetores a fim de quantificar suas informações), hierarquia e grafos, e algoritmos/*software*.

- **Técnicas de visualização** – visualização 2D/3D, transformação geométrica (multidimensionais), iconográfica (representar dados por meio de desenhos), densidade de *pixel* (representar valores por meio de um *pixel*), empilhamento (representa uma partição de um disco de computador como uma hierarquia, por exemplo: *treemaps*)
- **Interação e técnicas de distorções:** projeção geométrica, filtragem, *zoom*, distorção e *linking and brushing* (permite combinar diferentes técnicas de visualização a fim de reduzir pontos fracos de cada técnica utilizada.)



**Figura 2.7:** Classificação das técnicas de visualização de informações [103]

### 2.4.3 Taxonomia de Tarefas Visuais de Baixo e de Alto Nível

Wehrend *et al.* [201] apresentam uma taxonomia de tarefas de baixo nível e independentes de domínio. A classificação prevê as seguintes ações de usuário:

- **Localizar** – Buscar um objeto que seja previamente já conhecido;
- **Identificar** – Encontrar um objeto. Neste caso, é necessário descrever o objeto, pois não há um conhecimento prévio;
- **Distinguir** – Diferenciar objetos entre si. Por exemplo: a interface pode representar ícones para cada tipo de objeto.
- **Categorizar** – Classificar os diferentes objetos de acordo com suas propriedades em comum;
- **Agrupar** – Reunir/associar objetos de acordo com uma característica.

- **Distribuir** – Dividir objetos em categorias associadas.
- **Ordenar** – Dispor os objetos de acordo com critérios específicos.
- **Comparar dentro de entidades** – Contrastar dados de diferentes objetos.
- **Comparar entre relações** – Comparar objetos e grupos distintos;
- **Associar** – Relacionar os objetos;
- **Correlacionar** – Relacionar os atributos dos objetos, por exemplo, cor, posição e etc.

Um outro exemplo de taxonomia, mas que apresenta um conceito de tarefas visuais, é a proposta de Zhou et al. [211]. A ideia principal é mostrar uma taxonomia bi-nível levando em consideração as intenções dos usuários (alto nível: apontar uma necessidade do usuário como, por exemplo, destacar um objeto) e tarefas visuais (baixo nível: relatar os passos necessários para se atingir o objetivo do usuário por meio de técnicas visuais). As intenções de cada tarefa visual são descritas em duas partes: uma ação (realizações visuais) e um conjunto de instruções para seguir (implicações visuais, que indicam as técnicas visuais). Por exemplo: a tarefa visual *Identify*<?x, ?identifier> pode ser concluída com base em quatro atividades:

- *name* – identificar um objeto usando o nome
- *portray* – identificar um objeto com base em uma imagem
- *individualize* – identificar um objeto utilizando atributos-chave
- *profile* – identificar um objeto de acordo com um perfil.

Logo, a intenção do usuário pode ser descrita por um conjunto de tarefas visuais. Mas tais tarefas visuais são realmente efetivadas com uso de técnicas de visualização. A Figura 2.8 mostra alguns exemplos da taxonomia proposta.

# Relational visual tasks	<b>Correlate</b> <?x1, ..., ?xn> Plot<?x1, ..., ?xn> MarkCompose<?x1, ..., ?xn>	<b>Locate</b> <?x, ?locator> Position<?x, ?locator> Situate<?x, ?locator> Pinpoint<?x, ?locator> Outline<?x, ?locator>	# Direct visual organizing and # encoding tasks
<b>Associate</b> <?x, ?y> Collocate<?x, ?y> Connect<?x, ?y> Unite<?x, ?x-part> Attach<?x, ?x-part>	<b>Distinguish</b> <?x, ?y> MarkDistribute<?x, ?y> Isolate<?x, ?y>	<b>Rank</b> <?x1, ..., ?xn, ?attr> Time<?x1, ..., ?xn, ?t>	<b>Encode</b> <?x> Label<?x> Symbolize<?x> Quantify<?x> Iconify<?x>
<b>Background</b> <?x, ?background>	<b>Emphasize</b> <?x-part ?x> Focus<?x-part ?x> Isolate<?x-part ?x>	<b>Reveal</b> <?x-part ?x> Expose<?x-part ?x> Itemize<?x-part ?x> Specify<?x-part ?x> Separate<?x-part ?x>	Portray<?x> Tabulate<?x> Plot<?x> Structure<?x> Trace<?x> Map<?x>
<b>Categorize</b> <?x1, ..., ?xn> MarkDistribute<?x1, ..., ?xn>	<b>Generalize</b> <?x1, ..., ?xn> Merge<?x1, ..., ?xn>	<b>Switch</b> <?x, ?y>	
<b>Cluster</b> <?cluster, ?x1, ..., ?xn> Outline<?cluster> Individualize<?cluster>	<b>Identify</b> <?x, ?identifier> Name<?x, ?name> Portray<?x, ?image> Individualize<?x, ?attr> Profile<?x, ?profile>		
<b>Compare</b> <?x, ?y> Differentiate<?x, ?y> Intersect<?x, ?y>			

Figura 2.8: Taxonomia de tarefas visuais [211]

Amar et al. [8] afirmam que, apesar da importância, os trabalhos recentes sobre o termo, na sua grande maioria, ainda giram em torno da representação de dados.

Tais representações podem gerar lacunas no apoio à tomada de decisões. Os motivos apresentados são:

- **Affordances<sup>7</sup> limitadas:** as ações oferecidas em sistemas de visualização são, geralmente, equivalentes a simples consultas em banco de dados. Apesar de sua importância, na concepção inicial de análise, uma tomada de decisão necessita de diversos outros recursos.
- **Representações pré-determinadas:** em grande parte, as visualizações não são ágeis. Elas são VIs estáticas e simplistas.
- **Declínio do determinismo na tomada de decisões:** os sistemas não consideram a incerteza dos dados.

Os autores também identificaram lacunas entre a representação e a análise das visualizações. Eles argumentam que grande parte das visualizações são uma espécie de caixa-preta, onde o usuário entra com os dados e aguarda uma saída. Porém, o ideal é inserir mecanismos de mineração de dados que possibilitem uma maior participação do usuário na extração do conhecimento. As lacunas apresentadas estão listadas abaixo e para cada uma delas existem três tarefas que visam a amenizá-las:

- **The rationale gap:** distância entre a identificação de um relacionamento e seu grau de confiança.
  - parametrizar domínio: facilidade de adquirir e transferir conhecimento ou metadados de um conjunto de dados ou domínio;
  - explicação multivariada: permite-se correlacionar múltiplas variáveis e operações matemáticas;
  - confirmar hipóteses: os sistemas devem auxiliar usuários a definir hipóteses, simular prováveis resultados e verificar a veracidade de tais hipóteses.
- **The worldview gap:** relação entre o que é mostrado ao usuário e sua real necessidade.
  - expor incertezas: expor as causas e efeitos de incerteza nas medições dos dados e de suas agregações;
  - concretizar relacionamentos: exibir os elementos que compõem os relacionamentos e os traduzir em resultados palpáveis do mundo real;
  - formular causa e efeito: esclarecer a origem juntamente com suas possíveis causas.

Amar *et al.* [7] também apresentam outra taxonomia, porém esta é baseada em tarefas de baixo nível. De 196 questões formuladas por estudantes da disciplina de VI,

---

<sup>7</sup>é a qualidade de um objeto, ou de um ambiente, que permite que um indivíduo realize uma ação.

foram definidas 10 tarefas. O experimento envolveu ferramentas de manipulação visual como a Eureka, a SeetIT e a Spotfire, entre outras. Abaixo é apresentado este resultado:

- **encontrar o valor:** identificar o item ou dado desejado em um conjunto específico;
- **filtrar:** de acordo com alguns atributos, encontrar dados que podem satisfazer uma dada condição;
- **computar o valor derivado:** a partir de um conjunto de dados, extrair valores consequentes dos mesmos;
- **encontrar o extremo:** identificar itens que representem os valores máximos e mínimos de um conjunto;
- **ordenar:** de acordo com algum critério específico, organizar os dados (por exemplo, posicioná-los em ordem alfabética);
- **determinar a variação:** encontrar a amplitude por meio de um parâmetro;
- **caracterizar a distribuição:** identificar a distribuição dos itens entre o conjunto de dados. Por exemplo, dividir os elementos químicos contidos em um cereal;
- **encontrar anomalias:** reconhecer problemas contidos em um conjunto de dados juntamente com seus relacionamentos;
- **agrupar:** a partir de um conjunto de dados, reunir seus valores com base em critérios de semelhança;
- **correlacionar:** determinar os relacionamentos relevantes entre dois ou mais dados.

Já a taxonomia apresentada por Tory et al. [187] é baseada em modelos de *design*. O termo "modelo de design" é a suposição que os *designers* de visualizações fazem acerca dos dados. Em consequência, constroem algoritmos necessários para atingir as hipóteses ou suposições levantadas. Os modelos de *design* são classificados como discretos ou contínuos conforme as escolhas de algoritmos para a apresentação dos atributos desejados. Por exemplo, um grupo de médicos deseja visualizar imagens para diagnosticar o câncer no cérebro. O objeto de estudo é o próprio paciente que apresenta os sintomas indesejáveis. Em seguida, uma série de exames são realizados e gravados digitalmente como um conjunto discreto de números (os dados). Porém, os dados obtidos podem ser visualizados de diversas maneiras. Os algoritmos visuais adequados vão depender do modo com que os médicos pensam sobre os dados (modelo de usuário). Uma possível visualização é usar um conjunto de fatias 2D (*2D slices*) para determinar se há a presença de um tumor e posteriormente identificar a posição por meio de uma visualização 3D.

Os autores classificam uma visualização conforme:

### 1. Estrutura de auto-nível

- verificar se o objeto é discreto ou contínuo (os dados podem ser interpolados);

- determinar quais foram as exibições (algoritmos) utilizadas para representar determinados atributos.

		Display Attributes		
		Given	Constrained	Chosen
Continuous	Images (e.g., medical)	Distortions of given / continuous ideas (e.g., flattened medical structures, 2D geographic maps, fish-eye lens views)	Continuous (high-dimensional) mathematical functions	
	Fluid / gas flow, pressure distributions	Arrangement of numeric variable values	Continuous time-varying data, when time is mapped to a spatial dimension	
	Molecular structures (distributions of mass, charge, etc.)		Regression analyses	
	Globe - distribution data (e.g., elevation levels)			
Discrete	Classified data / images (e.g., segmented medical images)	Distortions of given / discrete ideas (e.g., 2D geographic maps, fish-eye lens views)	Discrete time-varying data, when time is mapped to a spatial dimension	
	Air traffic positions	Arrangement of ordinal or numeric variable values	Arbitrary entity-relationship data (e.g., file structures)	
	Molecular structures (exact positions of components)		Arbitrary multi-dimensional data (e.g., employment statistics)	
	Globe - discrete entity data (e.g., city locations)			

Figura 2.9: Classificação em alto-nível, em exemplos [187]

A Figura 2.9 apresenta, em exemplos, a classificação de alto-nível. Para cada linha, há as colunas: *constrained* (níveis de regras de negócio), *given* e *chosen* (atributos relacionados à referência espacial de um objeto, podendo eles ser obtidos exclusivamente ou escolhidos dentre várias opções).

## 2. Relacionamento entre a informação e a visualização científica

Os autores também classificam as representações visuais com base na Visualização da Informação e Visualização Científica. Foi observado pelos autores que a visualização científica tende a ocupar a parte esquerda superior da tabela (Figura 2.9), enquanto a visualização da informação, a direita inferior. Porém, foi ressaltado que há a possibilidade de visualizações ambíguas.

## 3. Estrutura de baixo-nível

Similarmente, o modelo de baixo nível é classificado em:

- contínuo – subdivide-se em 4 grandes categorias (escalar, vetor, tensor e múltiplas variáveis) para diferentes dimensões (1D ... nD), conforme mostra a Figura 4.1-(a).
  - discreto – classifica-se conforme a estrutura do dado ou de seu valor. A Figura 4.1-(b) ilustra em exemplos a divisão. O termo "valor" está relacionado ao número de dimensões que a visualização suporta (2D,3D,...). Já, o termo "estrutura" está diretamente ligado ao relacionamento dos dados.
4. **Tarefas visuais** – segundo os autores, Shneiderman et al. [167] mapearam as tarefas que podem ser executadas em uma visualização. Porém, eles não consideraram que muitas dessas tarefas são diferentes em outras áreas. A proposta de Tory *et al.* é exibida na Figura 2.11. Eles apresentam o relacionamento entre os tipos de tarefas e examinam qual tipo é mais adequado de acordo com o modelo de design.

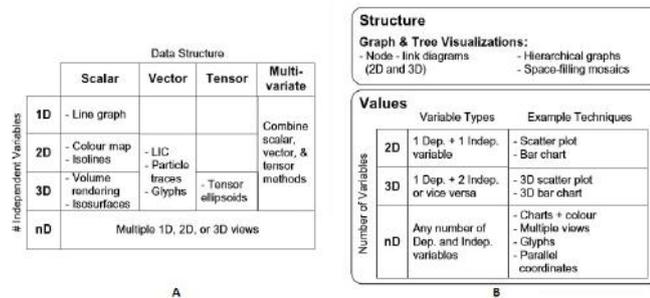


Figura 2.10: Classificação em baixo-nível, em exemplos [187]

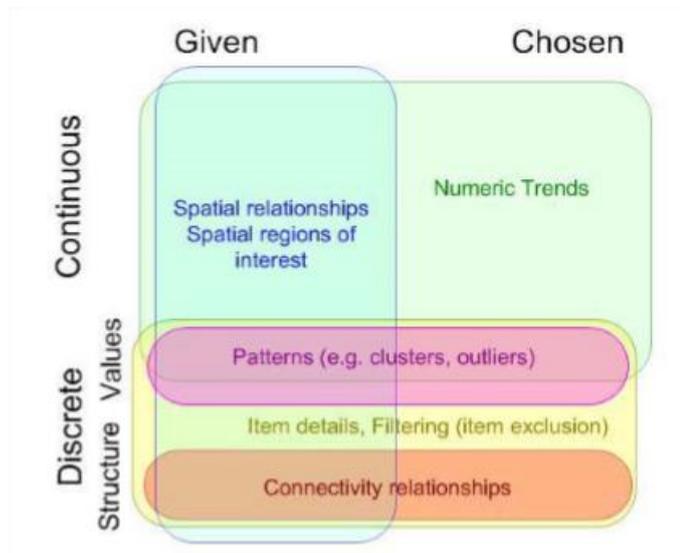


Figura 2.11: Quadro resumo da classificação [187]

---

## Visualização de Informações Aplicada ao Tráfego Urbano

---

Atualmente, são bastante comuns as interfaces gráficas que utilizam a Visualização de Informações e técnicas de interação a fim de dar suporte à análise e interpretação de dados nas mais diversas áreas, inclusive no estudo do trânsito. Entretanto, a grande maioria das visualizações referenciadas na literatura de Engenharia de Tráfego são apoiadas por mapas geográficos [159, 58, 179, 180]. Tais visualizações são comumente baseadas na cartografia: divisão de regiões políticas (cidades, estados, etc.) em áreas poligonais; uso de recursos de linha para representar ruas, avenidas, canais de água e rios, e uso de atributos visuais como cor e textura, para classificar ou destacar elementos de um mapa.

Um outro campo de investigação relacionado que tem contribuído fortemente com a engenharia de tráfego é o de Sistemas de Informação Geográfica (GIS em Inglês) [115, 86, 198, 92]. Dentre suas contribuições estão: as representações em múltiplas camadas sobrepostas, onde cada camada se relaciona a um conjunto diferente de dados; técnicas e ferramentas para armazenamento e recuperação de dados georreferenciados; e técnicas interativas para selecionar visualmente e filtrar camadas de informação.

Além disso, a integração de GIS e sistemas de suporte à decisão levaram ao desenvolvimento de modernos sistemas computacionais de simulação que utilizam dados georreferenciados e representação visual em múltiplas camadas. Isto proporciona um conjunto mais amplo de ações interativas para o estudo e o planejamento das redes de tráfego. Alguns sistemas conhecidos para este objetivo são: SATURN<sup>1</sup>, DRACULA<sup>2</sup>, TransCAD<sup>3</sup>, VISSIM<sup>4</sup>, SUMO<sup>5</sup> e MITSIM<sup>6</sup>.

Neste Capítulo serão apresentados um resumo dos trabalhos que, em seu conteúdo, aplicam técnicas de Visualização de Informações para estudos do tráfego urbano.

---

<sup>1</sup><http://www.saturnsoftware.co.uk>

<sup>2</sup><http://www.its.leeds.ac.uk/software/dracula/>

<sup>3</sup><http://www.caliper.com/tcovu.htm>

<sup>4</sup><http://www.ptv-vision.com>

<sup>5</sup><http://sumo.sourceforge.net/>

<sup>6</sup><http://sourceforge.net/projects/mitsim/>

Tais trabalhos foram obtidos por meio da revisão sistemática, detalhada no Apêndice F.

A fim de contextualizar o andamento das pesquisas sobre visualizações do tráfego urbano, serão apresentados alguns dos projetos mais interessantes (conforme aos critérios definidos na revisão sistemática Apêndice F). A seleção está vinculada à metáfora utilizada e à sua complexidade, ou pelo fato de o projeto ser altamente interativo.

Para uma melhor organização, os artigos estão agrupados de acordo com as técnicas de visualização adotadas. Para isso, foi escolhida a proposta de classificação definida por Keim et al. [103] (visualizações 2D/3D, transformações geométricas, iconográficas, densidade de pixel e hierárquicas), discutida na seção 2.4. Os artigos semelhantes ou que tenham pequenas variações são citados ao fim de cada exemplo.

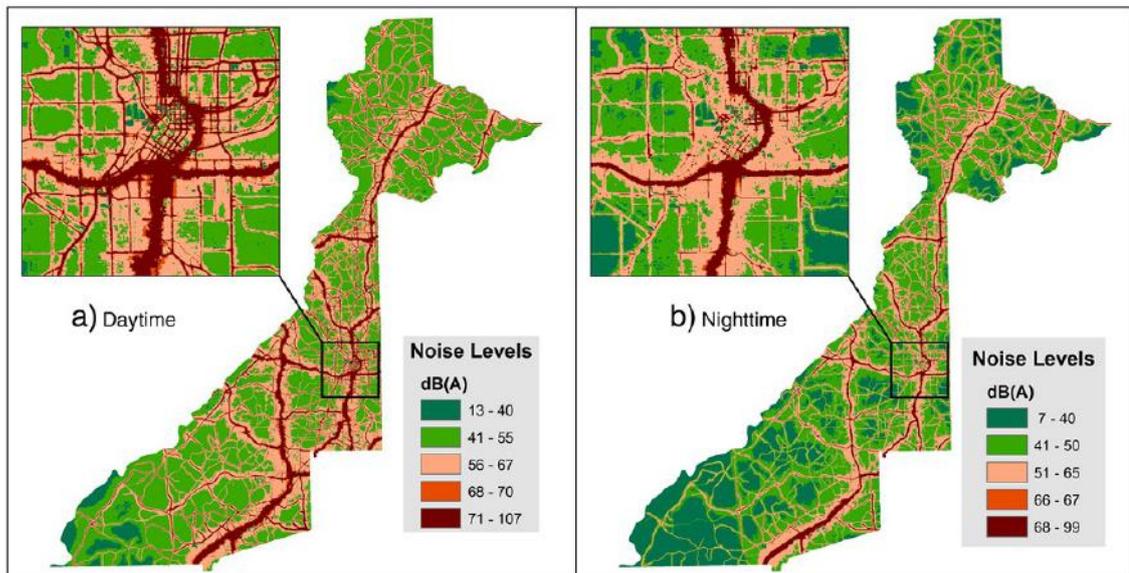
### 3.1 Visualizações 2D/3D e Transformações Geométricas

O trabalho de Seong et al. [163] reforça a importância da observação de níveis de ruído aos quais a população está exposta. Seu objetivo foi modelar um mapa de ruídos a partir do tráfego urbano em Fulton County, Georgia (EUA), além de indicar a quantidade de pessoas que seriam afetadas por estes ruídos. Para este propósito, os pesquisadores combinaram informações do tráfego com dados geográficos e populacionais de diferentes fontes e produziram visualizações com base em um mapa de ruídos <sup>7</sup>

Seong et al. utilizaram os dados de tráfego oriundos do Departamento de Transportes da Geórgia e da Comissão Regional de Atlanta em um modelo de previsão de ruídos. Vários critérios podem afetar a quantidade de ruídos do tráfego, como o tipo de veículo, motor, velocidade do tráfego, tipo de pavimento, distância da fonte de ruído, topologia da cidade e clima. Os autores utilizaram o modelo de ruído de tráfego (TNM) da *Federal Highway Administration* (FHWA), implementado no software *SoundPLAN* para uma melhor estimativa de níveis de ruídos. Eles também obtiveram um conjunto de dados geográficos a partir de outros órgãos do governo para gerar dados de terrenos e de edifícios em 3D das regiões selecionadas. Além disso, um conjunto de dados populacionais ajudou a estimar a quantidade de pessoas expostas ao ruído.

---

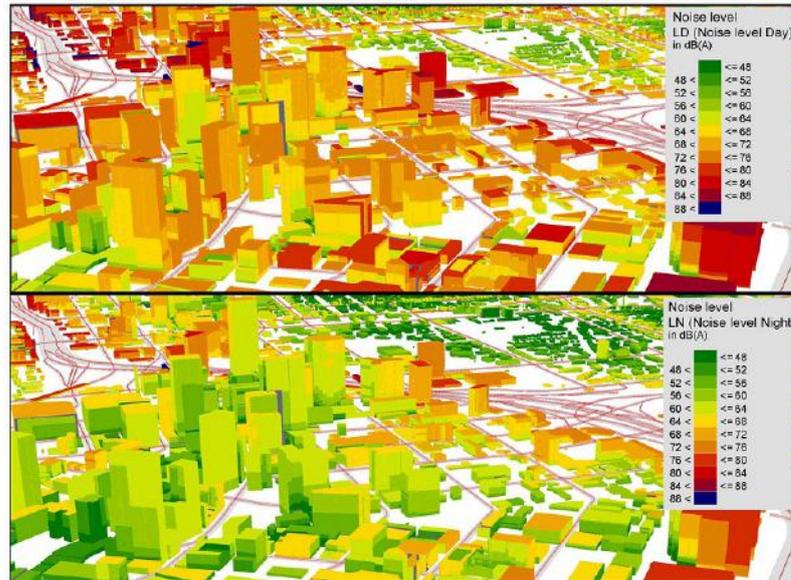
<sup>7</sup>Um mapa de ruídos é uma representação gráfica que mostra a distribuição dos níveis de ruídos em uma região. Em geral, são usados em mapas cartográficos 2D com cores que representam diferentes níveis de sons. Esses mapas são diferentes para períodos distintos do dia ou do ano. São usados em alguns países geralmente para identificar locais que não seguem os níveis tolerados de ruídos. Regulamentações têm sido criadas para avaliar e gerenciar este campo, como exemplo o *Environmental Noise Directive of the European Parliament and Council* (Diretiva 2002/49/EC de 25 de Junho de 2002).



**Figura 3.1:** Mapa de ruídos de Fulton County, Georgia, com destaques do centro de Atlanta [163]

A Figura 3.1 ilustra os mapas de ruído desenvolvidos pelos pesquisadores. Nesta Figura, os níveis de decibéis são representados por cores. Avenidas e estradas com baixo nível de ruído são mostrados em verde. Altos níveis de ruído aparecem em vermelho. O nível de ruído foi redundantemente codificado para a espessura das linhas da rua. Outra proposta de visualização é apresentada na Figura 3.2, em 3D, que mostra com os níveis de ruído do tráfego percebidos nos edifícios da cidade. As visualizações produzidas por Seong et al. enfatizaram a presença de ruídos além dos níveis permitidos ao longo de rodovias, estradas interestaduais e até mesmo na área central da cidade. Este tipo de informação é vital para a melhoria da rede e condicionamento do tráfego. As visualizações, no entanto, não estão livres de problemas. Como visto na Figura 3.1, um problema comum com o uso de espessura de linha como variável visual em mapas cartográficos de tráfego é que as rotas com linhas espessas (representando alto nível de ruídos) podem ocultar rotas com um nível menor de ruído. Algumas vias podem também ser erroneamente interpretadas como tendo o mesmo nível de ruído devido à espessura semelhante no desenho. Já na Figura 3.2, há à obstrução de edifícios por outras construções, complicando a percepção dos níveis de ruído. Neste caso, a rotação da visualização pode-se tornar necessária.

Apesar dos problemas, o mapa de ruído ainda é uma representação interessante sobre o fluxo do tráfego. Em outros projetos relatados neste trabalho, utilizou-se o ruído (sons de várias frequências) como uma variável para indicar a quantidade e os tipos de veículos trafegados e tipo de fluxo de veículos.

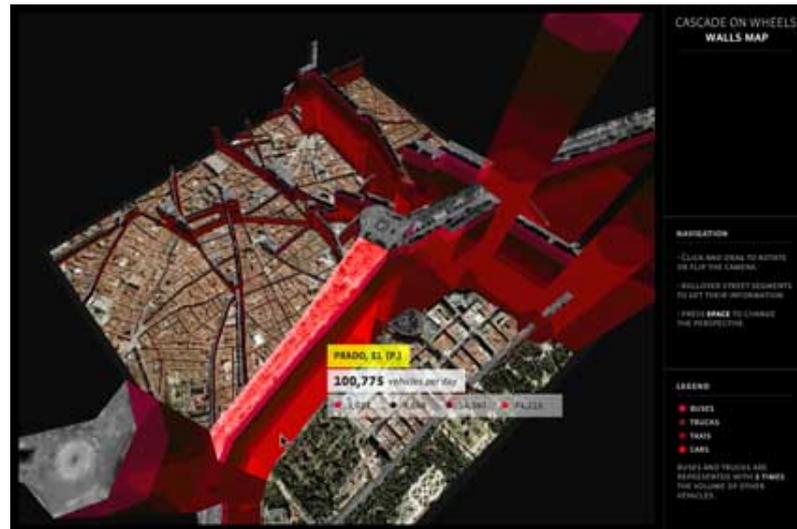


**Figura 3.2:** Mapa de ruídos expresso nas construções no centro de Atlanta no período do dia (imagem superior) e durante a noite (imagem inferior) [163]

Xiaoming et al. [117] empregam a mesma técnica visual especificada anteriormente. Entretanto, a diferença está na entrada de dados, ou seja, os autores não consideraram ruídos, mas sim dados obtidos por outros tipos de sensores. Esta visualização adicionalmente apresenta o fluxo de diferentes tipos de veículos em tempo real.

Outras visualizações sobre ruídos e poluição do ar podem ser encontradas em diferentes artigos: [199, 178, 61, 30, 188, 210, 129].

Ainda na linha de projeção geométrica aplicadas à visualização de dados do tráfego, encontra-se o projeto *Cascade on Wheels* [1]. Trata-se de um projeto que se iniciou durante uma oficina de visualização no Medialab Prado em Madri, 2007. Seu principal objetivo é expressar a quantidade de veículos nas grandes cidades. Duas diferentes visualizações foram desenvolvidas e seus dados foram obtidos a partir do fluxo de diferentes tipos de veículos como táxis, ônibus, veículos leves e pesados, na região central de Madrid em 2006.



**Figura 3.3:** *Cascade on Wheels - Walls Map Piece.* Um mapa 2D/3D em que as paredes representam segmentos de ruas com dados do tráfego. Quanto maior é o fluxo de veículos em um segmento de rua, maior é a altura da parede [1]

A primeira visualização, denominada por *Walls Map Piece* (Figura 3.3), mostra os dados utilizando uma metáfora de parede com diferentes alturas. Inicialmente, apresenta-se um mapa de satélite 2D da cidade no qual é possível selecionar ruas e visualizar os seus nomes e dados de tráfego (a quantidade e o tipo de veículos) em um certo dia. Em outro momento, é possível estender a visualização para um mapa 3D, aumentando a altura das ruas conforme o fluxo de tráfego diário. Nesse caso, os segmentos das ruas são transformados em paredes com alturas proporcionais à quantidade de tráfego sobre eles. O usuário pode girar o mapa 3D para visualizar as diferentes faces da parede as quais mostram a quantidade de veículos para cada tipo de transporte, utilizando um gráfico de barras.



**Figura 3.4:** *Cascade on Wheels - Traffic Noise Mixer*. Os sons são emitidos indicando o tipo e a quantidade de veículos em uma dada região [1]

A segunda visualização, chamada *Traffic Noise Mixer*, faz uso de uma camada de áudio combinada a um mapa de satélite (ver Figura 3.4). O usuário pode interagir com a visualização desenhando, arrastando e aumentando regiões circulares sobre o mapa. Sons de diferentes frequências e amplitudes são gerados, representando a quantidade e os tipos de veículos que viajam nessas regiões.

O próximo trabalho, na linha de projeção geométrica, é o projeto *Live Singapore* [107]. Ele foi criado pelo *SENSEable City Laboratory* no MIT e explora o desenvolvimento de uma plataforma aberta para a coleção, elaboração e distribuição de um grande número de diferentes tipos de dados em tempo real que se originam em uma cidade utilizando dados do mundo real, tais como os provenientes de: operadoras de redes de telefonia celular, frotas de táxi, transporte público, portos, aeroportos e outros. A plataforma está estruturada como um *framework* para as comunidades de desenvolvedores. O projeto oferece recursos para análise de dados, ligações entre diferentes dados em tempo real e serviços de *feedback* que podem dar suporte ao planejamento e do gerenciamento da cidade. Algumas aplicações desenvolvidas dentro do projeto *Live Singapore* são discutidas abaixo.

Chen et al. [107, 44] propõem transformações (compressão / distensão) de um mapa de Singapura de acordo com o tempo exigido para viajar entre pares origem-destino da cidade, em uma visualização chamada "Isochronic Singapore"<sup>8</sup> (uma abordagem semelhante tais distorções é o *Morphing City*<sup>9</sup>, descrito posteriormente). Um exemplo da visualização pode ser vista na Figura 3.5 define 290 pontos de controle. Ao selecionar-

<sup>8</sup><http://xiaoji-chen.com/blog/2011/isochronic-singapore/>

<sup>9</sup><http://fmachado.dei.uc.pt/featured/visualizing-traffic>

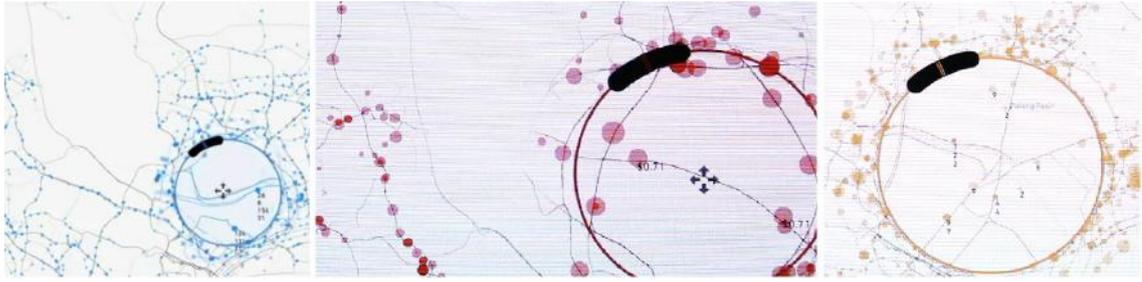
se uma origem, ocorre uma deformação no mapa, sendo que as distâncias entre a origem e todos os outros pontos de destino na rede representa o tempo de viagem entre eles. A visualização também muda automaticamente com a alteração do fluxo do tráfego da rede ao longo do dia. Os dados do projeto foram obtidos de 16.000 posições GPS de táxis em Singapura em agosto de 2010.



**Figura 3.5:** *Isochronic Singapore* - as modificações no mapa ocorrem automaticamente quando o usuário seleciona um ponto de origem [107]

Outra visualização desse projeto é a *Data Lenses*<sup>10</sup>, a qual foi criada para permitir o monitoramento preciso das atividades do transporte público urbano (ônibus) em Singapura. A visualização utiliza um círculo que funciona como uma lente de aumento. Os usuários podem mover as lentes ou alterar suas propriedades como tamanho do raio e ampliação do mapa para uma melhor percepção de uma área densa. Também é possível ajustar as lentes para filtrar várias camadas de informações, como linhas de ônibus em cada parada (em azul), número de passageiros, o embarque e desembarque de passageiros nas paradas (em laranja), e a quantidade de bilhetes pagos em cada parada (em vermelho). O usuário pode alterar ou combinar diferentes camadas para explorar as conexões entre rotas de ônibus, paradas, tempo de espera, número de passageiros e valores de bilhetes. Uma ilustração é exibida na Figura 3.6 com dados reais fornecidos pela *Land Transport Authority*.

<sup>10</sup><http://pmcruz.com/information-visualization/data-lenses>



**Figura 3.6:** *Data Lenses* permite ampliar e filtrar dados do tráfego urbano no mapa [107]

Um outro projeto, dessa vez criado à pedido do *British Broadcasting Corporation* (BBC) resultou em 2011 em um site web chamado "*Every death on every road in Great Britain 1999 - 2010*" [2] o qual apresenta dados e fatos sobre acidentes com lesões e mortes nas estradas da Grã-Bretanha no período de 11 anos. O site tem uma animação inovadora para mostrar o volume e a concentração de acidentes de trânsito. A visualização se assemelha a uma visão aérea noturna de uma região com pontos de luz que indicam os locais em que ocorreram colisões com lesões nas rodovias. Quanto mais brilhante for a região mais colisões ocorreram. Um exemplo dessa animação é apresentada na Figura 3.7. Uma das vantagens da mesma é a capacidade de destacar informações importantes (localização e densidade de acidentes de automóveis), escondendo os dados de infra-estrutura de rede irrelevantes.



**Figura 3.7:** *Every death on every road in Great Britain 1999 - 2010*. Visualização de acidentes nas estradas na Grã-Bretanha no período de 1999 to 2011. Onde pontos luminosos indicam acidentes [2]

Entre exemplos de visualizações semelhantes à anterior, encontra-se a proposta

por Michio *et al.* [134]. Eles registraram o fluxo de 200 pessoas em diferentes tipos modais (carro, moto, metrô, etc.) por uma semana através de aplicativos de celular. Chen et al. [41] também apresentam uma visualização equivalente, porém destacam a dificuldade de se modelar grandes malhas viárias. Neste contexto, propuseram um sistema de auxílio ao usuário para modelagem de grandes malhas viárias utilizando *stress fields* (semelhante a uma grade por meio na qual o usuário pode arrastar, posicionar, criar, alterar ou apagar os nós de acordo com características do mapa tais como ruas, avenidas, áreas verdes, lagos, etc.).

Projetos que abordam visualizações 3D são bastante comuns nesta área, por o trabalho de Sewall et al. [164]. Esses autores apresentam um modelo híbrido que combina escalas de simulação macroscópica e microscópica (baseado em agentes) para o desenvolvimento de visualizações de larga escala em tempo real [11, 71]. O modelo híbrido permite um nível de granularidade baixo na simulação da rede em uma região de interesse, enquanto mantém a simulação do restante da rede com o método macroscópico. Nessa abordagem, uma rede grande pode ser dividida em diversas regiões pequenas e cada uma pode ser simulada por qualquer um dos métodos, microscópico ou macroscópico. Os dados do tráfego a partir de métodos diferentes podem ser intercalados.



**Figura 3.8:** Modelo híbrido 3D de simulação de tráfego - (a) Visualização interativa 3D do tráfego urbano; (b) Visualização com realidade aumentada [164]

Os pesquisadores descrevem duas visualizações interativas de tráfego. A primeira apresenta uma visualização de alta qualidade em 3D de regiões da cidade e de seus respectivos fluxos de veículos. Isto é ilustrado na Figura 3.8 (a). Já a segunda visualização, mostrada na Figura 3.8 (b), apresenta uma visão ampliada da rede usando o que eles chamam de uma abordagem de “realidade aumentada”, no qual imagens aéreas estáticas de satélite são ampliadas com animações de veículos em movimento nas ruas e avenidas, com base em dados produzidos pela simulação ou usando dados reais coletados anteriormente.

Os usuários podem selecionar e ampliar uma região e se concentrarem nela usando essas visualizações. Ao fazer isso, apenas as áreas visíveis (e talvez outras nas

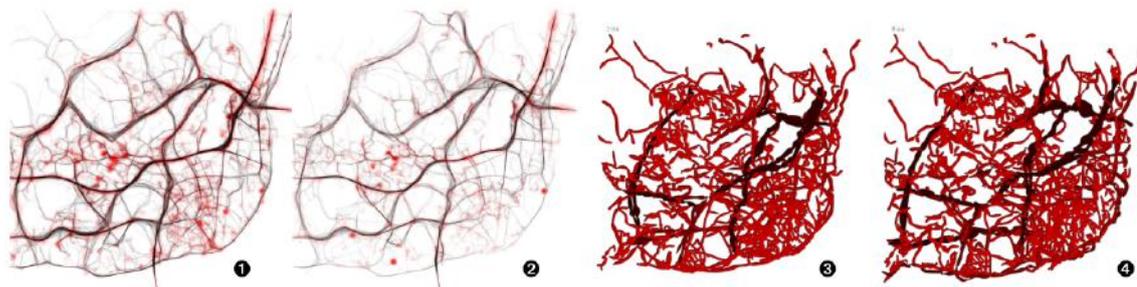
proximidades) são simuladas pelo método microscópico, sendo que as regiões fora da tela continuam a empregar a simulação macroscópica.

Um outro exemplo, comparado às visualizações que utiliza o auxílio da realidade aumentada de Sewall et al. [164] é a de Kim et al. [105]. Percebe-se que a diferença entre elas é que o trabalho de Kim et al. projeta imagens reais captadas por câmeras de vídeo sobre o mapa, permitindo que o usuário realize algumas mudanças de ângulo sem alterar a proporcionalidade ou o sentido da via. [63, 152, 31].

Além disso, frameworks para representações 2D e 3D podem ser encontrados em [50, 26, 109, 15, 120, 130, 121, 93, 77, 176, 118].

O uso da técnica de desenho de grafos é a base para o próximo projeto desenvolvido a ser descrito, chamado CityMotion<sup>11</sup>. Ele foi concebido por membros da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra em parceria com o MIT e a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto entre 2007 e 2010. O objetivo desse projeto foi desenvolver uma infraestrutura de conhecimento, modelos computacionais e aplicativos que possibilita o acesso a informações em tempo real sobre o estado do transporte urbano, assim como previsões sobre seu futuro.

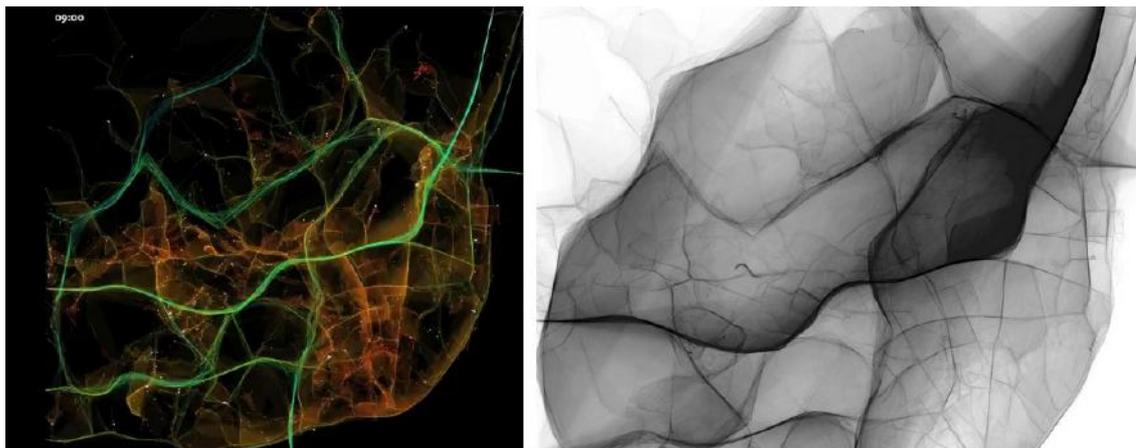
Dentro os vários sub-projetos do CityMotion destaca-se o “*Visualizing the Circulatory Problems of Lisbon*” [51], que visava o desenvolvimento de visualizações alternativas para identificar gargalos em uma rede de ruas com base em uma metáfora ao sistema circulatório de seres vivos. Para tanto, o cenário foi Lisboa em 2009, com dados de 1.534 veículos. Os autores criaram dois tipos diferentes de visualização que seguem princípios da biologia básica. Na primeira visualização, mostrada na Figura 3.9 (item 1) e (item 2), é apresentada a formação de coágulos sanguíneos (como círculos vermelhos) representa zonas de trânsito lento e o diâmetro dos coágulos é inversamente proporcional à velocidade.



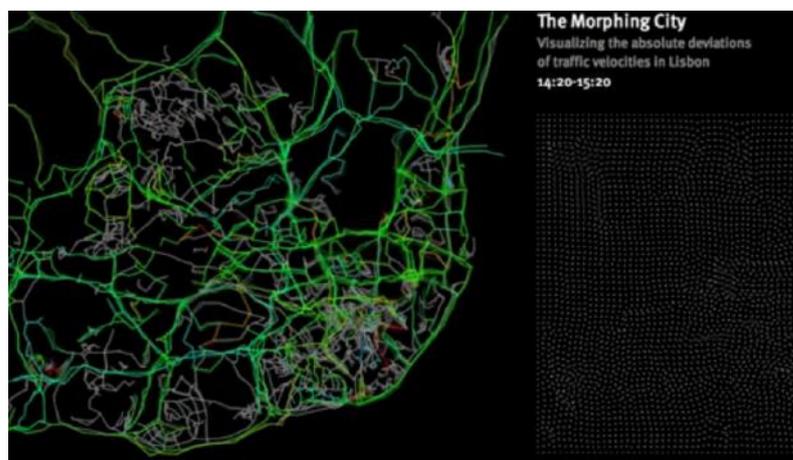
**Figura 3.9:** *Visualizing the Circulatory Problems of Lisbon* (A) – As imagens (1) e (2) representam coágulos em Lisboa no período de 9 da manhã até as 19 horas, respectivamente. As imagens (3) e (4) mostram vasos sanguíneos em Lisboa no período de 7h e 04min às 8h e 44min da manhã [51]

<sup>11</sup> <http://www.mitportugal.org/transportation-systems/intelligent-transportation-systems.html>

Na segunda visualização (Figura 3.10 (item 3) e (item 4)), espessura e tamanho dos vasos sanguíneos mudam de acordo com o número de veículos e a velocidade de trânsito médio em cada via. Além disso, em ambas as visualizações, o tráfego em baixa velocidade tende a escurecer o vaso sanguíneo relacionado, representando assim a estagnação do sangue. Em contraste, se a velocidade de tráfego é elevada, o vaso sanguíneo é pintado de uma cor mais clara e também tem a sua espessura reduzida no segundo tipo de visualização.



**Figura 3.10:** *Visualizing the Circulatory Problems of Lisbon - (B). A velocidade da via é representada pela coloração; imagem à esquerda. Enquanto a representação da imagem à direita se dá através de sombreamento [51]*



**Figura 3.11:** *Morphing City – do lado esquerdo da imagem ocorre uma deformação do mapa conforme as condições do trânsito. Esta mesma deformação pode ser visualizada ao lado (superfície plana) [49]*

Algumas variações nas metáforas utilizando o sistema circulatório<sup>12)</sup> são mos-

<sup>12)</sup><http://pmcruz.com/information-visualization/traffic-in-lisbon-condensed-in-one-day>

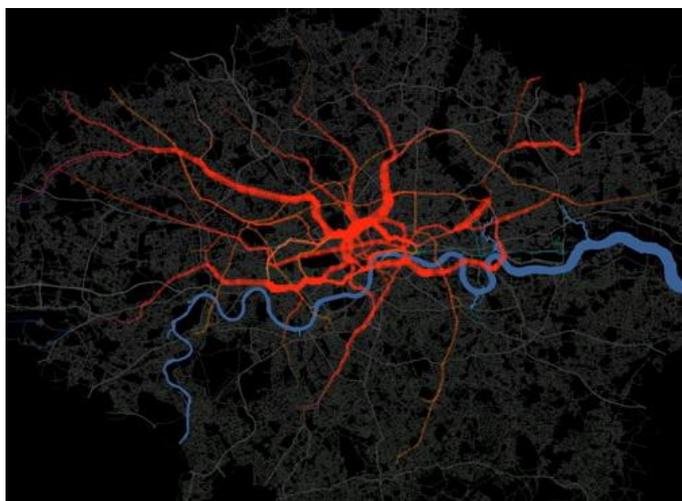
trados na Figura 3.10. Na imagem à esquerda, as cores das artérias mudam de acordo com a velocidade do tráfego. Fluxos rápidos são identificados por cores esverdeadas (frias) e fluxos lentos são apresentados em coloração avermelhada (mais quente). A intensidade de tráfego também é mostrada pela dilatação (largura crescente) das artérias. Uma outra alternativa (imagem à direita) utiliza uma escala de cinza com tons escuros representando o tráfego pesado. Outra visualização do projeto *CityMotion* é a *Morphing City* [49] (Figura 3.11), a qual apresenta um mapa cujas linhas (ruas) são deformadas (comprimidas ou distendidas) se a velocidade do fluxo corrente nas mesmas é menor ou maior que a velocidade média global. As cores também auxiliam na interpretação do mapa, visto que atribuem-se cores frias a deformações que comprimem o mapa, enquanto as cores quentes são aplicadas para as expansões. A visualização *Morphing City* permite uma rápida identificação de pontos críticos, ou seja, de áreas em que ocorre tráfego intenso e que são destacadas por cores mais quentes e parecem se expandir em comparação com outras rotas.

O projeto *Traffic Origins* [3] propõe uma visualização que objetiva identificar eventos nas estradas que normalmente causam congestionamento. Essa informação pode ser combinada com modelos de simulação para uma melhor compreensão das condições de tráfego e previsão de seus impactos em uma possível interrupção na rede. Como resultado, políticas mais robustas de respostas a acidentes podem ser criadas. Três tipos de eventos podem ser automaticamente destacados na visualização proposta em *Traffic Origins* com o uso de lentes: acidentes (em vermelho), o tráfego intenso (em azul) e veículos quebrados (em laranja). Como mostrado na Figura 3.12, após a identificação de uma região do mapa onde um desses eventos ocorreu, a visualização também realça a cor das ruas adjacentes (dentro do círculo) para melhorar a percepção da velocidade e do fluxo de tráfego. A vantagem desta visualização é apenas focar a atenção dos usuários para as ocorrências importantes, dadas por eventos circulosados com informações coloridas.



**Figura 3.12:** *Traffic Origins* – círculos indicam eventos que ocorreram (acidentes, trânsito pesado e veículos quebrados) [3]

Um outro trabalho é o "*Pulse of the City*" [150] desenvolvido por Jonathan Reades<sup>13</sup> que mostra o uso de linhas ferroviárias do transporte público de Londres, por meio de uma animação. A animação apresenta linhas ferroviárias ao longo de um mapa cartográfico com um fundo escuro. Conforme as viagens no sistema começam, os segmentos de linha ferroviária aumentam de espessura de acordo com a utilização. Se um segmento ferroviário no qual havia vários passageiros por algum motivo se torna menos utilizado, sua espessura encolhe ao tamanho normal. A animação abrange vários dias e períodos do dia, incluindo horas de *rush*. O efeito visual resultante é de um sistema circulatório que pulsa com sangue. A Figura 3.13 apresenta uma versão<sup>14</sup> mais nova dessa animação.



**Figura 3.13:** *Pulse of the City* – a animação mostra em vermelho as linhas de trem. Esta visualização é semelhante ao funcionamento de vasos sanguíneos que podem aumentar ou reduzir sua espessura de acordo com o fluxo de pessoas [150]

Boyandin et al. [29], criaram uma representação de dois mapas replicados lado a lado com um *heatmap* ao centro (Figura 3.14 (a)). O mapa da esquerda contém os nós de origem enquanto o mapa da direita ilustra os nós destinos. O *heatmap* no centro da visualização conecta por linhas os dois mapas registrando, por meio de cores, o volume de demandas de viagens OD. As cores mais quentes representam um grande fluxo, já as cores frias, o contrário. Essa proposta de visualização foi adotada porque permite reduzir o número de cruzamento de linhas conectando pares OD.

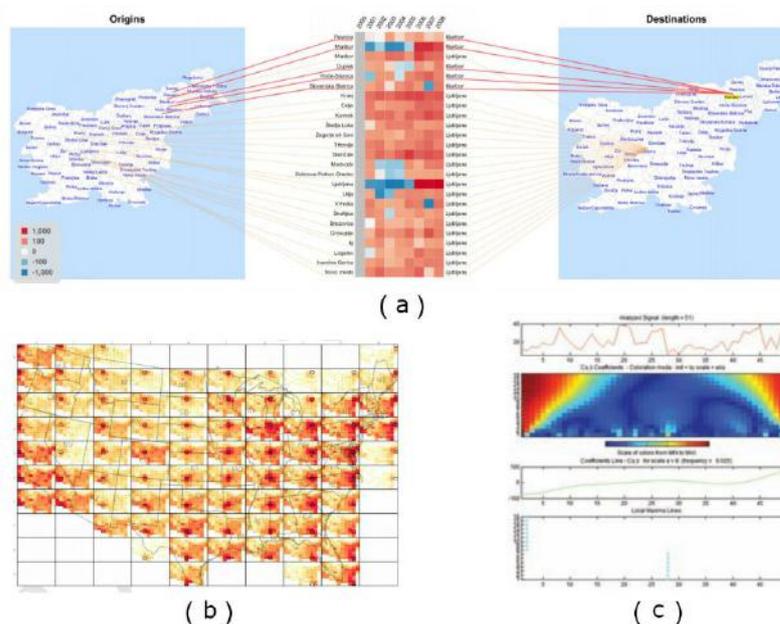
Wood et al. [205] desenvolveram uma representação que utiliza mapas e agrupamento de regiões OD em duas camadas (Figura 3.14 (b)). Primeiramente, eles dividiram o mapa em forma de uma grade com cada célula representando uma origem. Dentro de

<sup>13</sup><http://vimeo.com/user11576485/pulseofthecity>

<sup>14</sup><http://simulacra.blogs.casa.ucl.ac.uk/2012/05/pulse-of-the-city-reboot/>

cada célula, há uma outra imagem reduzida do mesmo mapa representando os pontos de destino. Regiões do mapa menor, na célula, são destacadas com cores para indicar que há uma relação entre a origem (célula) e o ponto em questão. A intensidade da cor representa o volume de deslocamento entre origem e destino.

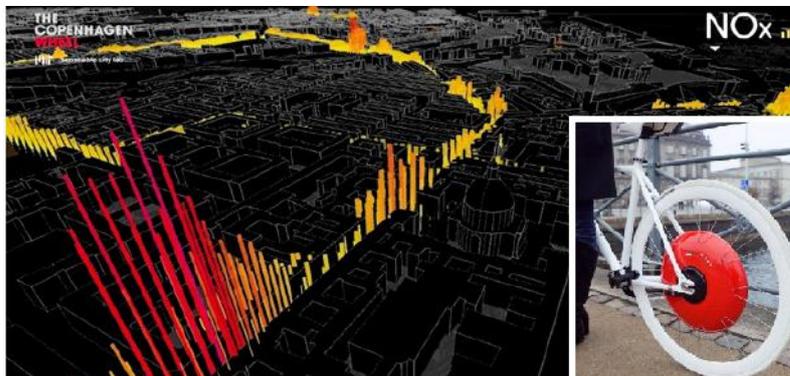
Gunay et al. [78] (Figura 3.14 (c)) representaram uma matriz OD através de uma transformada *wavelet* contínua. Os autores criaram uma pequena malha viária e estabeleceram 16 diferentes cenários para a distribuição do fluxo. O objetivo do trabalho foi identificar quais cenários são mais efetivos para diferentes características como velocidade e congestionamento.



**Figura 3.14:** Visualizações envolvendo matrizes OD [29, 205, 78]

Ao se tratar de coleta de dados de tráfego, é preciso mencionar o projeto *Copenhagen Wheel* [110], que foi desenvolvido pelo *MIT SENSEable City Lab* com o objetivo de mostrar a importância da preservação do meio ambiente através de transportes não poluentes. O projeto consiste em uma espécie de roda elétrica (denominado “hub”), que transforma qualquer bicicleta comum em uma bicicleta elétrica, possuindo motor, baterias, GPRS e sensores de torque, umidade, dióxido de carbono, temperatura e ruído. A roda pode capturar a energia dissipada na frenagem, como também convertê-la para as baterias mais tarde. Ela pode ainda capturar o níveis de poluição, congestionamento do tráfego e condições das estradas em tempo real. Enquanto o ciclista segue sua rota, o sensor envia as informações coletadas para um iPhone a cada dois segundos via Bluetooth e os dados também podem ser compartilhados com outras pessoas. A Figura 3.15 mostra uma das possíveis visualizações que podem ser geradas com os dados recolhidos pelo dispositivo. Neste exemplo, utilizando um mapa em 2D, as barras verticais coloridas apresentam o nível de NO<sub>x</sub> (monóxido de nitrogênio). Como os dados são capturados

e enviados a cada 2 segundos, a visualização apresenta espaços entre cada medição. A imagem no canto superior direito da figura ilustra uma bicicleta adaptada com o dispositivo de *hub* (em vermelho).



**Figura 3.15:** Visualização 3D indicando a concentração de carbono de uma rota coletada pelo Hub [110]

Apesar dos muitos tipos de visualizações que podem ser produzidos com dados provenientes do dispositivo *Copenhagen Wheel*, a importância dessa pesquisa para o presente trabalho é mostrar uma forma simples, relativamente barata e estimulante de coletar dados de tráfego.

Uma outra abordagem para coleta de dados distribuídos que tem se tornado muito popular é o *crowdsourcing*. *Software* e estudos sobre a aplicação deste conceito estão presentes nas mais diversas áreas [202, 91]. Com base no escopo deste trabalho, um bom exemplo é o *crowdsourcing* Waze/Google, o qual é um aplicativo para dispositivos móveis que permite compartilhar informações do tráfego tal como a localização de congestionamento, acidentes, objetos na pista, além de dicas e avisos sobre blitz. Constata-se que o uso do aplicativo possibilita a escolha de melhores rotas [43, 177].

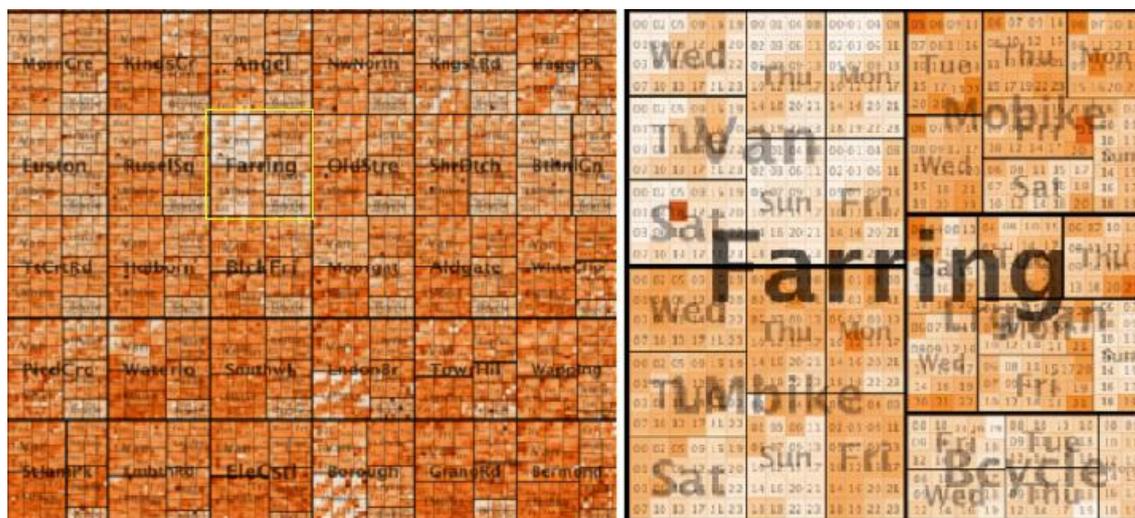
## 3.2 Visualizações Hierárquicas

Wood *et al.* [170] exploram o uso de *treemaps* para a representação do tempo-espaço no tráfego urbano. O estudo centra-se em um conjunto de dados que consiste no posicionamento georreferenciado de 90 milhões de veículos de uma frota de entrega. Os dados foram coletados durante 18 meses e cada local contém sua posição geográfica (dada por GPS), *timestamp*, tipo de veículo (incluindo van, van grande, moto, moto grande e bicicleta) e velocidade de deslocamento. O objetivo deste estudo foi demonstrar que as visualizações do tipo *treemap* podem auxiliar na identificação de padrões de dados e na seleção de informações.

Os pesquisadores apresentam duas abordagens para a visualização do conjunto de dados. Na primeira Figura 3.16, um mapa da cidade é dividido em uma grade de regiões

quadradas (1km). Cada célula da grade é atribuída a um *treemap* que apresenta apenas os dados para essa região. O conjunto de dados também é hierarquicamente organizado como antes. A diferença é que o primeiro nível hierárquico é a região geográfica dada pelas células. O tamanho de todas as células é sempre o mesmo e, portanto, cada *treemap* tem de ser adequadamente construído para se encaixar nas mesmas. Além disso, a intensidade da cor é agora utilizada para descrever o volume ou a velocidade média em cada pequeno quadrado no nível mais baixo da hierarquia (na Figura 3.16, por exemplo, a cor representa a velocidade média). A ferramenta foi desenvolvida para permitir que o usuário utilize níveis de *zoom* e também navegue pelo *treemap* a fim de analisar uma célula em detalhe. Além disso, as duas abordagens podem ser combinadas pelo recurso de *zoom*. A imagem do lado direito da Figura 3.16 mostra um mapa detalhado de uma célula chamada *Farring*.

Na segunda abordagem, (Figura 3.16), os dados são organizados hierarquicamente na seguinte ordem: tipo de veículo, dia da semana (de segunda a domingo) e hora do dia (24 horas no total). No nível mais baixo dessa hierarquia, cada retângulo *treemap* tem uma área proporcional ao volume de veículos (de acordo com o tipo correspondente de veículos, dias da semana e horas) e a intensidade na coloração indica a velocidade média destes veículos.



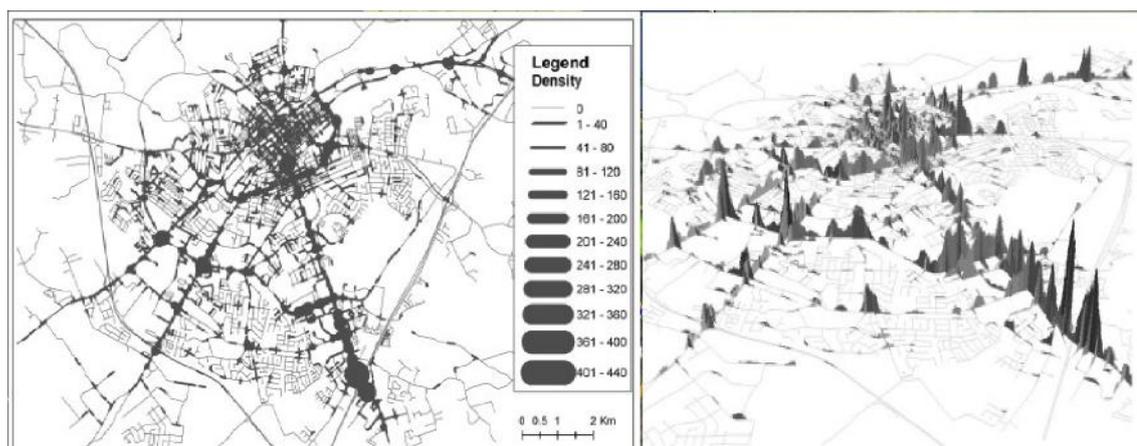
**Figura 3.16:** Uma área de Londres dividida em células quadradas de 1km (esquerda). Em cada célula há um *treemap* ordenado hierarquicamente conforme os dados dos veículos. A imagem da direita é um *zoom* de célula de *Farring*. Cores frias indicam que os veículos viajam abaixo da velocidade média. [170]

De forma isolada, a primeira visualização é útil para uma visão completa dos conjuntos de dados e para uma comparação geral entre os tipos de veículos. A segunda, por outro lado, mostra como o tráfego ocorreu em cada região, permitindo assim uma comparação entre as seções da rede. Segundo os autores, a proposta de uso de *treemaps*

foi efetiva ao resumir grandes conjuntos de dados e também ao auxiliar na identificação de padrões e áreas críticas (com alta densidade de tráfego e baixa velocidade) na rede. Apesar da utilização estar relacionada a uma frota restrita (entrega), suas abordagens podem ser aplicadas a quaisquer outros dados de tráfego de uma maneira simples.

### 3.3 Visualizações por Densidade de Pixel

O trabalho apresentado por Xie e Yan [207] visa a classificar padrões espaciais de acidentes de trânsito nas estradas. Ele traz uma variação da técnica de *Kernel Density Estimation* (KDE), permitindo a suavização de pontos sobre um espaço geográfico 2D. A nova abordagem foi implementada no ambiente ArcGIS da ESRI e testada com dados de acidentes de trânsito obtidos a partir de 2005 em Bowling Green, Estado de Kentucky, EUA, fornecidos pelo Departamento de Polícia do Estado de Kentucky. Os pesquisadores descobriram que o novo KDE foi mais eficaz do que o método padrão para estimar as densidades de acidentes de trânsito.



**Figura 3.17:** Visualizações utilizando a técnica KDE – a imagem à esquerda indica a densidade de acidentes através da espessura das ruas. E a imagem da direita apresenta os dados em 3D, utilizando altura como densidade [207]

A fim de ajudar a compreender os resultados, os autores utilizaram a visualização sobre um mapa, como se mostra na Figura 3.17. A imagem da esquerda destaca a densidade de acidentes variando a espessura das estradas nas posições em que existem muitos acidentes. Através de um processo de suavização, os pontos na rede são expandidos e conectados (cada ponto significa um acidente) e caso uma região possua um aglomerado de pontos, pode-se afirmar que existe um número maior de acidentes que ocorreram na referida área. A imagem da direita, por outro lado, apresenta os mesmos dados, mas utiliza uma perspectiva em 3D para mostrar a densidade dos acidentes de trânsito (quanto

maior a densidade, maior será o pico por uma área). Outras visualizações com variações no KDE podem ser encontradas em [79, 124, 197, 132, 172].

### 3.4 Ferramentas de Simulação de Tráfego Urbano

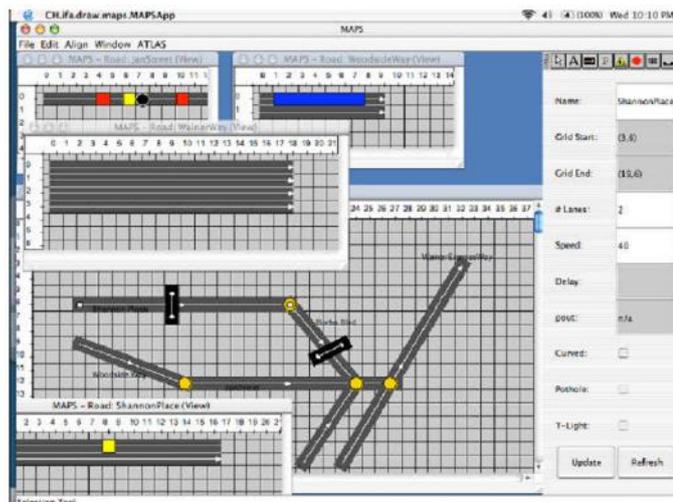
Abaixo, são descritas algumas das ferramentas de *software* mais conhecidas no cenário de simulação de tráfego urbano juntamente com algumas de suas telas.

#### ATLAS

ATLAS (*Advanced Traffic Specifications Language*) é uma linguagem de especificação definida para a simulação do tráfego urbano seguindo o paradigma *Cell-Devs* [195]. Apesar da linguagem ser de alto nível, sua forma de entrada de dados é tediosa, como também sua saída não possui uma interface amigável, por exemplo, desenhos em *ASCII*.

Ainda assim, o trabalho de Borho *et al.* [26] amplia ATLAS nos seguintes pontos: (1) auxiliar a modelagem da rede através de componentes como ruas, semáforos, rotatórias, faixas de modo visual no estilo clique e arraste (como ilustra a Figura 3.18). (2) possibilitar a leitura da simulação (arquivos ATLAS) de forma visual. Para isso, os autores desenvolveram um *front-end* de *software* que permite ao usuário desenhar uma cidade completa em pequenas seções (ruas, interseções, etc.) e transforme a modelagem visual em arquivos ATLAS. Este *front-end* é conhecido como MAPS. Um outro software foi desenvolvido para permitir ao usuário compreender os resultados da simulação em uma interface visual amigável (3D simples), conhecido como VRML GUI.

ATLAS (em seu conceito original) define demandas de veículos por meio de rotas aleatórias. Ou seja, não há o papel de uma matriz OD. As rotas são montadas por meio da escolha aleatória de vias em cada interseção. Entretanto, o trabalho de Borho *et al.* [26] expande esse conceito. A expansão inclui matrizes ODs com diferentes métodos de estimação e parametrização (data, tempo e tipos de veículos). ATLAS não apresenta visualmente a demanda de tráfego.

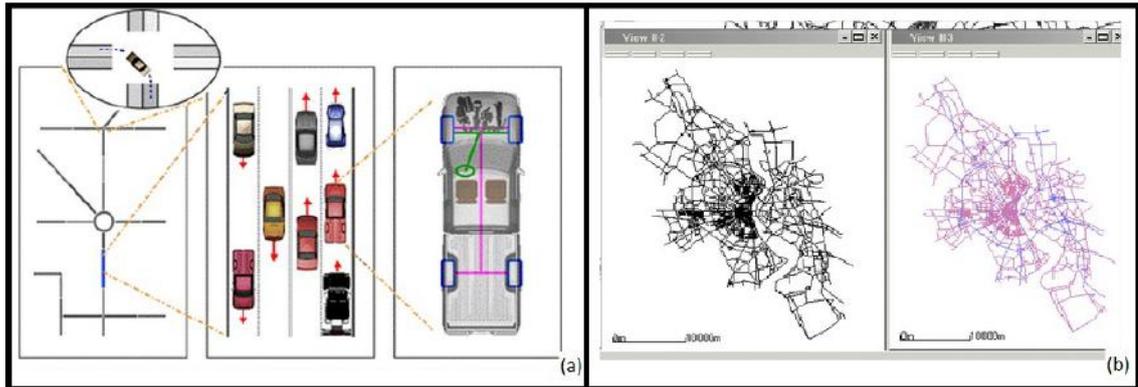


**Figura 3.18:** Software MAPS – no software é possível definir de forma visual ruas com múltiplas direções (retângulos pretos com linhas brancas), cruzamentos (círculos em amarelo), semáforos (quadrados vermelhos), obras na pista (quadrados amarelos), estacionamentos (retângulos em azul), etc, permitindo também a inserção de velocidades e curvatura das rua [26]

### SUMO (Simulation of Urban MObility)

O SUMO (*Simulation of Urban Mobility*) é um software de código-livre de simulação de trânsito [20, 109]. Ele oferece recursos de simulação: macroscópica, microscópica, sub-microscópica e multimodal. Alguns desses recursos são ilustrados na (Figura 3.19). Os tipos de veículos suportados na simulação multimodal são transporte público e metrô, além disso, ele considera pedestres em seus cálculos.

SUMO permite a geração explícita de rotas, bem como a importação de matrizes OD. Para isso, ele utiliza o software *OD2TRIPS* para computar rotas a partir das informações inseridas nas matrizes OD. As informações contidas incluem: características físicas do veículo, pontos de origem e destino. SUMO não possui uma representação visual específica para matrizes OD.



**Figura 3.19:** *Software SUMO - a figura (a) apresenta os diferentes níveis de simulação, sendo o primeiro o modelo mesoscópico (dentro da oval), em seguida o macroscópico (situado abaixo do mesoscópico), microscópico e sub-microscópico. A figura (b) apresenta a simulação da cidade de Cologne [20]*

## VisSim

VisSim [4] é uma linguagem de diagrama em blocos para simulação de sistemas dinâmicos.

Através dos recursos de simulação do VisSim, é possível examinar o impacto do planejamento do tráfego considerando diferentes cenários e otimizando processos ainda na fase inicial do planejamento. Simulações macroscópicas fornecem informações sobre o volume do tráfego e as intervenções sobre a rede de transporte. (Figuras 3.20 e 3.21).

VisSim permite a inserção do número de viagens e a modalidade do veículo entre cada par OD, em um dado intervalo de tempo. O software também não possui uma representação de matrizes OD.



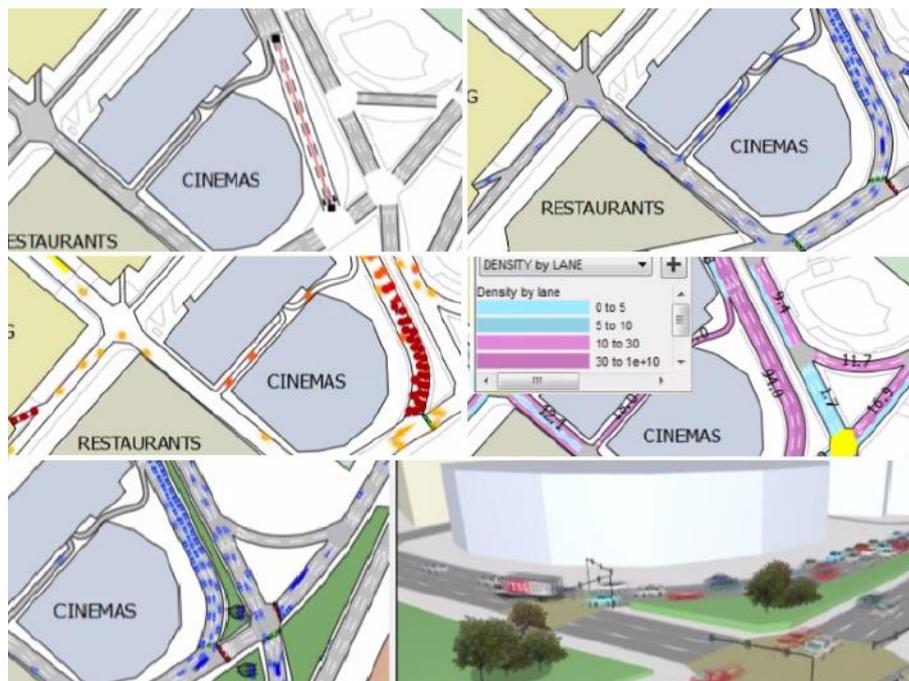
**Figura 3.20:** *VisSim - pode-se observar a simulação com diferentes tipos de veículos, como também o fluxo de pessoas. Os veículos podem trafegar por várias faixas e obedecer certas políticas semafóricas [4]*



**Figura 3.21:** *VisSim - metrô de superfície* [4]

## AIMSUN

Desenvolvido no *Laboratório de Investigación Operativa y Simulación*, o AIMSUN (*Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban e Non-Urban Networks*) [15, 155] é um simulador de tráfego microscópico e mesoscópico capaz de trabalhar com diferentes tipos de tráfego como redes urbanas, estradas, rodovias, rótulas e vias de grande fluxo. O simulador foi projetado e implementado com objetivo de analisar o tráfego e auxiliar engenheiros na concepção e avaliação de sistemas de tráfego [16]. Imagens de telas desse *software* podem ser observados na Figura 3.22.



**Figura 3.22:** *Software AIMSUN – nas imagens acima temos o modelo meso em 2D, e mais abaixo, em 3D, o modelo micro. A primeira imagem demonstra a inserção de uma nova rua, conectando-a a duas ligações. As demais imagens retratam diferentes formas do fluxo de veículos (perceptível apenas em uma impressão ou visualização colorida). Pode-se demonstrar apenas veículos como pontos azuis, ou pode-se representar o fluxo com alteração na coloração caso exista um congestionamento e por fim pode-se expor as ruas através de numeração e coloração conforme sua densidade [16]*

O AIMSUN permite armazenar diferentes tipos de edições e comparações de cenários distintos. Também é possível acomodar vários cenários em uma mesma rede, como: plano de controle, horários de transporte público e ações de gestão de tráfego. Pode-se encontrar no site do AIMSUN um diversificado estudo de caso <sup>15</sup> ao redor do mundo, entre eles um projeto para as Olimpíadas de 2016 no Rio de Janeiro.

As demandas no AIMSUN podem ser definidas, em intervalo de tempo, de duas maneiras: por fluxo em trechos <sup>16</sup> (tipo de veículo e de atributos, classe de veículos, fluxo (demanda) no trecho para cada tipo de veículo, etc.) ou por meio de uma matriz OD (definição de origens e destinos, tipos de veículos e suas classes). AIMSUN não apresenta uma tela específica para exibição de demandas.

<sup>15</sup><http://www.aimsun.com/wp/?cat=3>

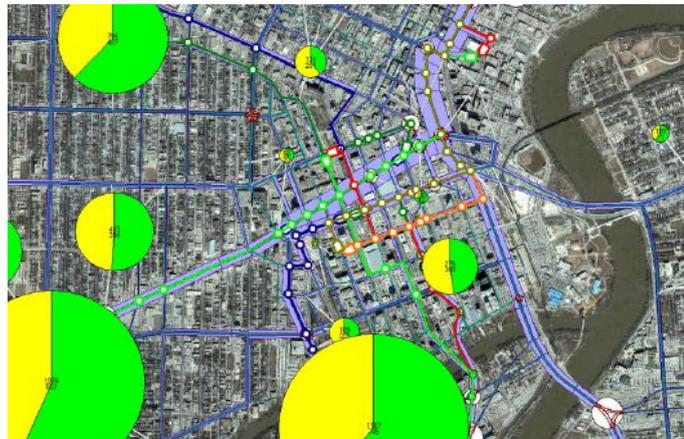
<sup>16</sup>pequenas partes de uma via

### EMME 3

EMME 3 é um software multiplataforma de alocação de demanda de tráfego que possui um ambiente integrado com recursos para o desenvolvimento de modelagem de rede viária, administração, visualização e análise, e de dados e emissão de relatórios. [120, 101].

O *software* permite a realização de consultas (símbolos, texto, nós, segmentos de trânsito e cruzamentos) personalizáveis. Uma de suas funcionalidades é a comparação de diversos cenários, além da seleção de elementos individuais para comparação. Já o seu editor de rede possui precisão geométrica para modelagem de complexas curvas, evitando a utilização de nós intermediários (nós falsos) na modelagem da malha.

Ele oferece também alocações personalizadas, permitindo desde alocações incrementais até estratégias estocásticas de equilíbrio de usuário. O EMME 3 permite a aplicação de restrição de tráfego para bicicletas, caminhões, etc, e a inclusão de privilégios a certas classes de veículos. O software possibilita a gestão do transporte público (atribuição de horários, agendamento, etc.). Imagens das telas do EMME 3 são apresentadas nas Figuras 3.23 e 3.24.



**Figura 3.23:** *Software EMME 3 – exemplo de visualização de gráfico de pizza, definição de volume de trânsito (largura da rua) e também itinerários como as linhas verdes e vermelhas [120]*



**Figura 3.24:** Software EMME 3 - cada segmento da rota mostra a quantidade de passageiros em pé ou sentados. O gráfico de barras de coloração vermelha indica um número além da capacidade normal [120]

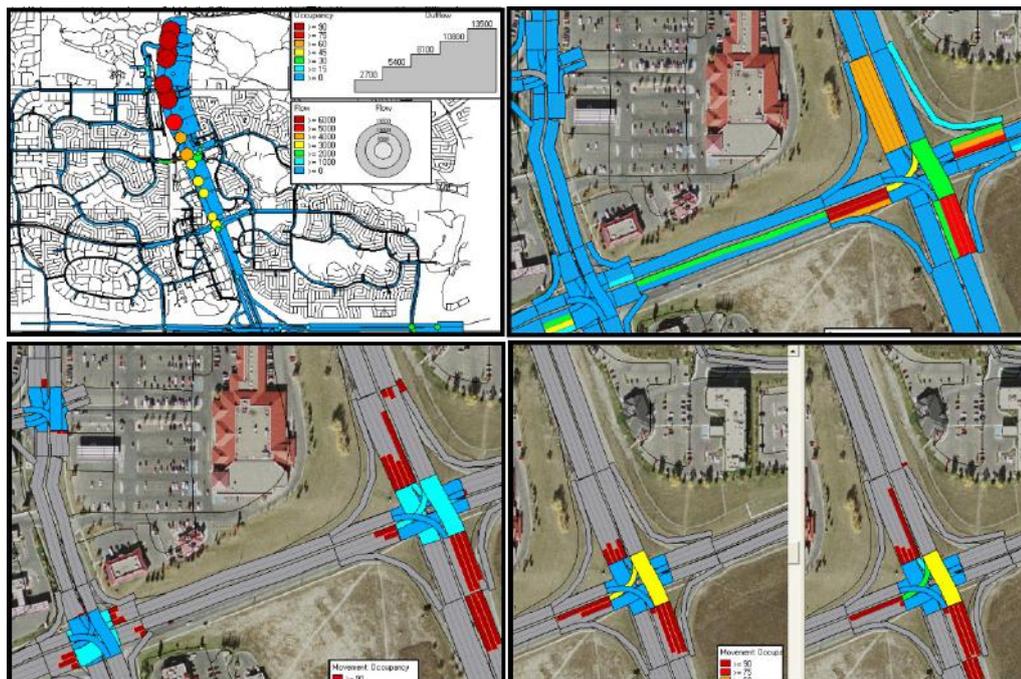
## Dynameq

Dynameq (*Dynamic equilibrium*) [184, 130] é um simulador baseado em um modelo de alocações dinâmicas de tráfego (DTA). Ele possui basicamente dois tipos de componentes: (1) fluxo de tráfego, que simula todos os aspectos de um processo de dirigir, como decisões para aceleração e desaceleração, semáforos, interações com outros veículos, mudança de faixas e manobras; e um (2) modelo de roteamento que reproduz a escolha da rota pelo motorista em uma malha viária a fim de atingir seu objetivo.

O Dynameq implementa um modelo microscópico que representa o tráfego como um fluido e é baseado na hidrodinâmica ou *gas-kinetic*.

As seguintes funcionalidades estão disponíveis no sistema: planejamento e gerenciamento de estradas, rampas, fechamento de faixas para manutenção; estratégias com diferentes classes de veículos, como proibição e reserva de faixas para caminhões; e evacuação ou o roteamento de tráfego, em resposta a um acidente ou construções (que causem interdições nas vias) podem causar.

Dynameq apresenta a demanda de tráfego como uma matriz OD, uma para cada classe de veículos com registro de tempo. Entretanto, o *software* não possui uma representação visual de demandas.



**Figura 3.25:** *Software Dynameq - cores quentes indicam uma grande concentração de veículos, assim como os retângulos próximos aos cruzamentos indicam a existência de filas ou tráfego intenso [184]*

A Figura 3.25 apresenta algumas das possíveis visualizações no Dynameq. A largura das barras e a coloração avermelhada, na parte superior da imagem, representam o aumento de fluxo.

## DRACULA

O DRACULA (*Dynamic Route Assignment Combining User Learning and Microsimulation*) foi desenvolvido pelo Instituto de Estudos em Transportes da Universidade de Leeds - Reino Unido, e sua última atualização ocorreu em julho de 2008 [122, 121, 156].

A abordagem da simulação de tráfego implementada pelo DRACULA é um modelo microscópico, estocástico, discreto no tempo e contínuo no espaço, que representa veículos através de rotas pré-estabelecidas.

O software permite simular a evolução do tráfego, observando períodos com ênfase em escolhas individuais e na movimentação individual de veículos. A evolução dos veículos na rede é estimada através de modelos de *car-following* e *lane-changing*, considerando o comportamento desejado dos motoristas, a sinalização e o controle nas interseções e arcos.

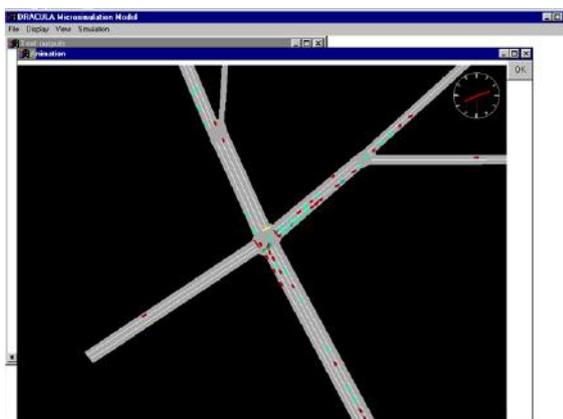
O DRACULA também possui a modelagem de três tipos de interseção: semafórica, prioritária e rotatória. Ele permite ainda a simulação com vários tipos de veículos,

como carro, ônibus, táxi, etc. E cada tipo de veículo possui suas características como tamanho, tempo de reação do motorista, aceleração normal e máxima, e desaceleração normal e máxima.

No que se refere à modelagem da rede viária, o DRACULA permite pistas de mão dupla, pista de único sentido, ruas com duas pistas, conversões proibidas, restrição de acesso, e pista bloqueada parcialmente ou totalmente por espaço de tempo.

Sua plataforma possibilita a troca de dados com o modelo macroscópico SATURN [156] (Figura 3.26).

DRACULA também não possui uma representação visual de matrizes de tráfego.



**Figura 3.26:** DRACULA – exemplo de simulação do tráfego, onde os traços são veículos [122]

## SATURN

SATURN (*Simulation and Assignment of Traffic to Urban Road Networks*) é um *software* de alocação de tráfego que incorpora uma estrutura de simulações de interseções viárias. O modelo foi criado no Instituto de Estudos em Transportes da Universidade de Leeds, no Reino Unido. E é composto, basicamente, por módulos: um de simulação, que modela o comportamento dos cruzamentos do sistema, e o outro de alocação de tráfego, que escolhe as rotas a serem utilizadas [192, 93].

Segundo Liu et al.[123], o SATURN permite a construção de um modelo de simulação macroscópica, mas pode assumir o comportamento de um modelo mesoscópico. Alguns artigos [27, 17, 191] apresentam as etapas para construção de modelos no SATURN e apresentam cinco passos: (1) concepção do modelo, (2) codificação e coleta de dados, (3) calibração, (4) validação e (5) modelagem.

Os dados da rede viária têm como base conversões (fluxo de saturação, faixas disponíveis e prioridade entre fluxos opostos), arcos (comprimento, velocidade e o número de faixas) e interseção ou faixas (o tipo de interseção que pode ser: prioridade, semafórica, rotatória e as coordenadas cartesianas).

O SATURN oferece uma série de recursos como:

- alterações no *layout* de cruzamentos – introdução de rotatórias e canalização de fluxos;
- mudanças nos tempos da programação e otimização semafórica;
- criação de novas vias como também a alteração do sentido das mesmas;
- construção de vias elevadas e túneis;
- análise de impactos no tráfego devido à implantação de novos polos geradores de viagens (escolas, indústrias, etc.); e
- atualização e estimação de matrizes a partir de contagens volumétricas.

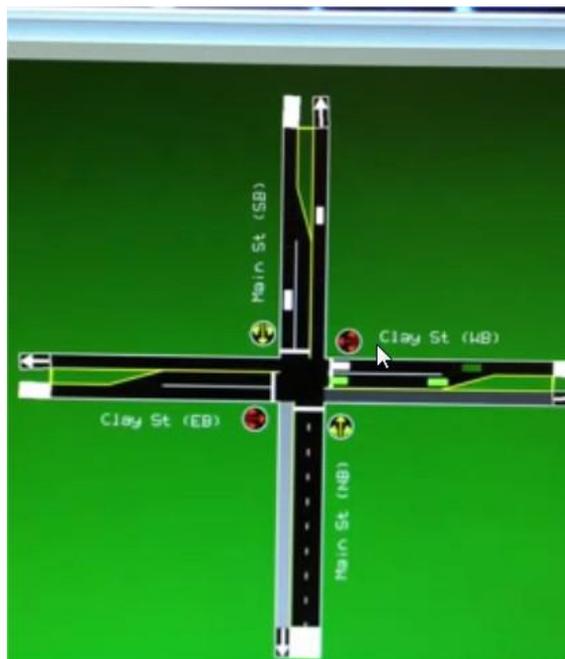
O SATURN oferece a alocação de tráfego segundo alguns princípios, como "tudo-ou-nada", equilíbrio de Wardrop, alocação de tráfego para múltiplas classes de usuário, alocação puramente estocástica e equilíbrio do usuário (SUE – Stochastic User Equilibrium). O princípio de escolha de rotas (padrão) é baseado no Princípio do Equilíbrio de Wardrop [162]. O algoritmo de composição de rota é o algoritmo de Frank-Wolfe [114, 68].

O modelo exige dois conjuntos de dados do período modelado: a descrição da rede viária e a quantificação da demanda na forma de matriz origem-destino. A demanda de tráfego no SATURN é expressa na forma de matriz origem-destino. O *software* não apresenta uma interface visual para a demanda de veículos.

## CORSIM

O CORSIM (CORridor SIMulation) foi desenvolvido pelo FHWA (Federal Highway Administration) no final da década de 70 [80]. Ele é responsável pela simulação microscópica dos modelos da família TRAF (conjunto de ferramentas de simulação sobre o tráfego), sendo basicamente composto pelos programas FRESIM (vias expressas) e NETSIM (redes urbanas) [77].

O CORSIM possui como objetivo combinar os dois modelos citados sob um programa simples de controle [113]. Algumas funções internas do modelo CORSIM permitem a avaliação de importantes parâmetros de tráfego, tais como o atraso, o tempo de viagem e o comprimento de fila, entre outros. (Figura 3.27).



**Figura 3.27:** Simulação de um cruzamento com CORSIM [80]

O FRESIM e o NETSIM podem ser codificados e conseqüentemente simulados a partir de simples dados de entrada. Esses dois modelos são os principais suportes do programa TSIS (Traffic Software Integrated System). É importante observar a existência do modelo TRAFVU, que realiza a interação gráfica do programa TSIS, tendo como objetivo exibir uma animação da rede viária e conseqüentemente analisar os resultados das simulações de uma forma mais rica em termos de detalhes [113, 25].

O volume de tráfego é registrado por matrizes OD em um delimitado espaço de tempo. Para cada registro, pode-se indicar o tipo de veículo. Todavia, o software não representa visualmente essa informação.

## **PETGYN**

O software PETGYN (Problema de Equilíbrio de Tráfego em Goiânia) [99, 100] possibilita a modelagem e simulação do tráfego urbano. O sistema foi desenvolvido pelo departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Goiás. O PETGYN permite a tomada de decisão de possíveis alterações na malha viária. Tais alterações incluem, mas não limitadas a estas: criar ou remover vias, alterar sentido de fluxo, adicionar ou remover faixas, limitar velocidades, ponderar a temporização de semáforos, etc. Atualmente, o PETGYN recebeu inúmeras melhorias, como exemplo, novos métodos de estimação de matrizes OD (inclusive multimodal), novos modelos matemáticos de simulação e otimização de algoritmos para alocação de tráfego. O software PETGYN irá incorporar as principais visualizações geradas por este trabalho.

---

## Proposta de Classificação para Visualizações do Tráfego Urbano

---

Percebe-se que grande parte dos trabalhos que apresentam visualizações do tráfego urbano, analisados no capítulo anterior, são fortemente centrados em abordagens de projeção geométrica. Porém, suas visualizações podem, em geral, até serem reclassificadas de forma diferente pela mesma taxonomia adotada. A reclassificação é possível porque uma visualização nem sempre apresenta somente uma técnica, mas sim um agrupamento delas; ou seja, as visualizações podem ser híbridas, ocupando várias classes ao mesmo tempo, dificultando assim a sua classificação. De acordo com Tory *et al.* [187], há uma lacuna entre as atuais classificações de VI, visto que, em sua maioria, são genéricas e não conseguem atender todas as necessidades de algumas áreas. Os autores assim defendem a necessidade de se criar taxonomias específicas para áreas que apresentem regras e características muito exclusivas.

Como o tráfego urbano apresenta diversas particularidades, decidiu-se criar uma classificação alternativa para visualizações voltadas a este cenário. A abordagem utilizada segue a linha das classificações de alto-nível e, com isso, espera-se facilitar a comparação entre as VI, bem como identificar possibilidades de pesquisa ainda pouco exploradas<sup>1</sup>.

A classificação proposta originou-se dos trabalhos levantados no Capítulo 3, de conversas oriundas dos *stakeholders* (definidos no Capítulo 5) bem como das perguntas que as visualizações propostas deveriam responder (também no Capítulo 5). Tais contribuições forneceram informações necessárias para identificar como elementos principais de uma classificação as origens dos dados, os tipos de dados necessários e as principais operações/tarefas realizadas em sistemas computacionais voltados ao cenário do tráfego urbano. Basicamente, propõem-se três elementos (também ilustrados na Figura 4.1) para:

- **Origem dos dados.** Uma representação visual pode conter inúmeros dados. Entretanto, tais informações podem ser oriundas de diversas fontes e isso reduzir a

---

<sup>1</sup>Uma versão inicial desta classificação e sua aplicação para comparar artigos na área aparecem também no trabalho [76].

<b>Origem dos Dados</b>	<i>Crowdsourcing</i>
	Medições Públicas
	Estimativas
<b>Tipo de Dados</b>	Matriz OD
	Infraestrutura de rede
	Flexibilidade de elementos da rede
	Fluxo
	Alto nível de significância dos dados
<b>Tarefas Alvo</b>	Apresentação dos dados
	Entrada de dados
	Simulação e exploração

**Figura 4.1:** Classificação em alto-nível para visualizações sobre o tráfego urbano.

confiança e a exatidão das informações apresentadas [8]. Por tanto, foram definidos três diferentes tipos de origem de dados:

- ***Crowdsourcing***: a informação de cada indivíduo é captada e armazenada juntamente com os dados de outros usuários. Este conjunto de dados, se bem explorado, pode identificar padrões, tendências e diversos outros tipos de informações. Por exemplo, o aplicativo Waze visa contribuir para uma melhor vazão do fluxo de veículos, utilizando-se de informações dos próprios usuários enquanto trafegam pelas vias. Essa estratégia de origem de dados é sem dúvida a mais barata e consegue atingir inúmeras pessoas e locais em um curto espaço de tempo. Atualmente, esse campo ainda é pouco explorado, mas parece ser promissor uma vez que *hardware* e *software* estão a cada dia mais acessíveis.
- **Medições públicas**: os dados podem ser oriundos de sensores, câmeras ou até de estudos de campo (entrevistas, contagens volumétricas, etc.). Esta abordagem é a mais comum dentre as diversas formas de se abstrair informações sobre o tráfego. Apesar disso, ela também é a mais cara, pois implica em

gasto com instalações, mão de obra especializada e manutenção (sensores e câmeras, etc.). Seu outro grande problema é a área de cobertura, já que são observadas somente regiões de interesse ou que possuam um grande número de tráfego. Há de se considerar que as informações geradas nessa abordagem são mais confiáveis. A confiança aqui citada é em relação ao rigor do método aplicado de coleta e compilação dos dados, o que garante maior coerência a perenidade das informações. Em contra posição, no *crowdsourcing*, se um usuário reportar um engarrafamento e nenhum outro usuário (do mesmo *software*) passar em seguida na mesma localidade, esta informação será inútil, pois terá pouca velocidade ou ficará rapidamente desatualizada (não é possível saber o estado real do trânsito).

- **Estimativas:** a origem dos dados pode variar conforme os itens listados anteriormente, mas o seu diferencial está na quantidade e qualidade de informações consideradas. Essa opção é bem vinda quando se dispõe de poucas informações como, por exemplo, da medição de fluxo em algumas avenidas principais e em alguns horários do dia. Por meio de estatísticas, pode-se chegar a valores aproximados da real condição do tráfego em outras localidades e/ou horários.
- **Tipo de dados:** as visualizações são agrupadas de acordo com o principal tipo de dados sobre tráfego que elas apresentam. Estes tipos incluem, mas não estão limitados aos seguintes: matrizes OD (representação de demandas modais ou multimodais e variação temporal), infraestrutura fixa de rede (estrutura que necessite de intervenção física, por exemplo: ruas, estradas, pontes e cruzamentos), elementos flexíveis de rede (que podem ser mudados com pouca ou nenhuma intervenção de infraestrutura, tais como a direção da pista, limites máximos de velocidade, configurações de sinal de trânsito, restrições de conversão, autorização ou proibição de estacionamento ao longo da via, pedágios, etc.), as medições de fluxo ou estimação do fluxo, e dados de alto nível significativo (tais como, informações sobre acidentes de carro e buracos na via, entre outros eventos). Pode-se ver que esses dados podem ser naturalmente organizados em níveis de uma forma de múltiplas camadas hierárquicas, como é feito geralmente em sistemas de informação geográfica. Portanto, pode-se classificar ainda uma visualização de tráfego de acordo com o fato de ter sido concebida para apresentar uma determinada camada de dados ou uma combinação das mesmas.
- **Tarefa alvo:** neste caso, as visualizações são classificadas de acordo com o tipo de tarefa que se destinam a apoiar. Tais tarefas são operações que os usuários podem realizar sobre as visualizações. Elas podem variar desde a exibição dos dados, interações até o uso de simulações (pode envolver o uso de vários cenários). Para isso, definiu-se três tipos de tarefas. A primeira é simplesmente apresentar

os dados de tráfego para a compreensão global e para a identificação de padrões. Trata-se de mostrar os dados e, possivelmente, permitir a interação de controle nos atributos da visualização ou a aplicação de filtros. O segundo tipo de tarefa é a entrada de dados. Embora os componentes de interface do usuário, como caixas de diálogo, tabelas e campos de texto, sejam usados para entrada de dados em um sistema de tráfego, cogita-se uma maneira mais intuitiva e visualmente orientada de entrada de informações por meio da manipulação direta dos elementos de uma visualização. O terceiro tipo de tarefa é simular e explorar o comportamento (micro, meso ou macroscópico) do tráfego através da exploração de múltiplos cenários das condições da rede viária e do trânsito. A simulação é muito comum em sistemas de apoio à decisão para a engenharia de tráfego, sendo frequentemente combinada com a possibilidade do usuário explorar mudanças alternativas na malha viária e nos demais elementos do tráfego a fim de obter melhores resultados. Pode-se dizer que trata-se de uma agregação das duas tarefas anteriores a fim de permitir que o usuário atinja um objetivo mais complexo. Da mesma forma que o primeiro e o segundo critérios de classificação, este terceiro não é mutuamente exclusivo em suas opções. É permitida a presença de duas ou todas as três tarefas alvo simultaneamente.

As visualizações foram divididas conforme a classificação proposta e o resultado se encontra na Tabela 4.1. De acordo com esta informação, pode-se ver que existe a necessidade de novas investigações de métodos de visualização interativa para determinadas tarefas e tipos de dados de tráfego. Além disso, uma série de técnicas emergentes em IHC não têm sido geralmente utilizadas por pesquisadores que trabalham neste domínio. Foram identificadas também várias limitações das atuais abordagens: sobreposições visuais, manipulação de grande volume de dados, processos dinâmicos (tempo e modos de transporte) e tomada de decisão.

É importante notar que, para muitas tarefas e tipos de dados do tráfego urbano, as técnicas de visualização que foram estudadas se revelaram ineficazes ou ineficientes. Por exemplo, uma forma tradicional de se exibir a orientação do fluxo nas ruas e de conversões permitidas ou proibidas em cruzamentos é por meio de desenho de setas. No entanto, quando a rede é grande, torna-se praticamente impossível visualizar esses detalhes em um mapa cartográfico. Um *zoom* interativo pode atenuar tal problema, mas às custas de comprometer a percepção da rede completa. Além disso, ele não permite a visualização simultânea de forma eficaz de múltiplas regiões em detalhe na rede. Entretanto, existem pesquisas inovadoras como a de Sewall *et al.* [164] que utiliza a realidade aumentada ao longo de um mapa 2D para apresentar animações de veículos em movimento. Isto possibilita uma melhor percepção da direção do fluxo enquanto preserva um nível de *zoom* geral. Por outro lado, a abordagem de Sewall *et al.* exige alto poder de processamento, não exibe as características da rede em regiões onde há ausência de fluxo, e não fornece

uma boa visualização da orientação do fluxo em interseções com muitos cruzamentos e conversões permitidas.

A abordagem Flowstrates [29], como outro exemplo, melhora a compreensão das matrizes de origem-destino, mas tem várias limitações. Ocorrem muitas sobreposições visuais quando o número de pares OD são selecionados. Ela também não mostra como as demandas OD são traduzidas em fluxo de tráfego real, especialmente quando se considera uma rede de tráfego urbano com muitos caminhos de fluxo possíveis.

Em geral, as visualizações existentes sofrem dois problemas principais: a sobreposição visual na medida em que o tamanho do conjunto de dados aumenta, e uma incapacidade de apresentar diferentes tipos de dados de forma integrada (estruturas de rede, matrizes OD, rotas e volume de fluxo de tráfego, etc.). É também difícil desenvolver uma visualização robusta que produza resultados visuais aceitáveis para todos os cenários do tráfego, uma vez que estão sendo considerados sistemas dinâmicos, nos quais pequenas mudanças de estrutura de rede podem resultar em comportamentos de fluxo de veículos totalmente diferentes.

Por fim, a maioria das propostas de Visualização de Informações do tráfego urbano desenvolvidas até o momento supõem uma plataforma convencional de interação humano-computador, formada por *mouse*, teclado, monitor e, eventualmente, um *tablet* ou tela sensível ao toque. Pouquíssimos pesquisadores têm investigado o uso de novas abordagens de IHC para essa área como, por exemplo, o uso da realidade aumentada, computação móvel e ubíqua. Exemplos raros, nesse caso, incluem os trabalhos realizados no projeto *Copenhagen Wheel*.

Alguns exemplos interessantes estão surgindo nos processos de coleta de dados de tráfego. Por exemplo, o projeto *Copenhagen Wheel*<sup>2</sup> que consiste em uma roda elétrica (chamada "hub") que transforma qualquer bicicleta comum em uma *e-bike* híbrida com um motor, baterias, GPRS, e sensores de umidade, dióxido de carbono, temperatura e ruído. Enquanto um ciclista segue a rota, os sensores coletam informações e as enviam para um dispositivo a cada dois segundos via *Bluetooth*.

Assim, há também um amplo espaço para inovação na coleta e na visualização interativa de dados do tráfego urbano usando interfaces não convencionais. Este aspecto, contudo, não é explorado no presente trabalho ficando assim como sugestão para pesquisas futuras.

---

<sup>2</sup><http://senseable.mit.edu/copenhagenwheel/>

**Tabela 4.1:** Proposta de classificação para visualizações voltadas para o tráfego urbano

Artigos com visualizações	Origens			Tipos de Dados				Tarefas Alvo			Ano	
	Crowdsourcing	Medições Públicas	Estimativas	Matriz OD	Infraestrutura de Rede	Elementos Flexíveis de Rede	Fluxo	Alto nível de significância dos dados	Apresentação dos Dados	Entrada de Dados		Simulação e Exploração
[118]	x			x					x			2015
[117]	x			x			x	x	x			2015
[134]	x			x			x		x			2015
[172]	x			x				x	x			2014
[210]	x			x			x	x	x		x	2013
[124]	x			x			x		x			2012
[132]	x			x	x		x		x		x	2012
[163]	x			x			x		x		x	2011
[164]	x			x	x		x		x		x	2011
[107]	x			x			x	x	x		x	2011
[29]	x			x			x		x			2011
[79]	x			x			x	x	x			2011
[61]	x			x			x	x	x		x	2010
[205]	x			x	x		x		x			2010
[105]	x				x		x	x	x		x	2009
[197]	x			x			x		x	x	x	2009
[188]	x			x			x	x	x			2009
[170]	x						x		x			2008
[207]	x			x			x	x	x		x	2008
[41]	x			x	x				x			2008
[196]	x			x				x	x		x	2008
[129]	x			x			x	x	x		x	2007
[178]	x			x			x	x	x	x	x	2007
[125]	x						x	x	x			2006

---

[47]	x		x	x			2005	
[199]	x		x	x	x	x	x	2005
[60]	x	x		x	x	x		2004
[26]	x		x	x	x	x	x	2003
[30]	x		x		x	x		2003
[50]	x		x	x	x	x	x	2000
[104]	x	x			x		x	1998

---

## Visualizações Propostas para Matrizes Origem-Destino

---

Matrizes, em geral, têm sido representadas visualmente por diversas técnicas, dentre as quais pode-se destacar: *Scatterplot Matrix* [62, 194], *Proseccion Matrix* [37], *HyberSlice* [37], *Hyberbox* [37], *Table Lens* [148], entre outros.

Apesar dessas técnicas serem interessantes, elas não atendem todas as demandas de uma visualização de matriz OD, pois, de maneira geral, não possuem informações de posicionamento geográfico. Além disso, os deslocamentos de veículos (ou de pessoas) em um par OD não são diretamente ligados de um ponto a outro na rede viária, como uma linha de voo. Eles seguem por caminhos ou rotas que geram efeitos no tráfego. Logo, é importante observar a relação entre a matriz e o seu efeito no trânsito.

Por outro lado, no estudo de revisão bibliográfica da área, apresentado no Capítulo 3, através da Tabela 4.1 e sumarizado no Apêndice F foi verificado que existem poucos trabalhos de visualização aplicados ao tráfego urbano, inclusive para matrizes OD. Grande parte dessas visualizações também não se preocupam com aspectos dinâmicos (temporais) e multimodais, nem com a densidade de dados. Apesar de haver contribuições nesses trabalhos, ainda persistem as mesmas dificuldades [38, 39, 98, 97, 183] de se criarem novas visualizações, descritas no Capítulo 3. Em nenhum trabalho anterior, houve uma proposta que auxiliasse outros pesquisadores na construção de novas visualizações para o tráfego urbano, em especial para matrizes ODs.

Inicialmente, com o objetivo de auxiliar outros pesquisadores na construção de novas visualizações de matrizes OD, definiu-se a elaboração de perguntas, às quais as visualizações poderiam responder ou conter algumas das características desejadas. As perguntas levantadas foram obtidas por meio de duas etapas. A primeira etapa consistiu da leitura de trabalhos relacionados à área (discutidos em capítulos anteriores). Ou seja, identificou-se os principais problemas e características descritos em cada trabalho. A segunda etapa envolveu o levantamento dos requisitos essenciais para a análise de matrizes OD por meio de diversos especialistas da engenharia de tráfego urbano da região de Goiânia, tais como: da Companhia Metropolitana de Transportes Coletivos (CMTC), da Secre-

taria Municipal de Trânsito (SMT), do Núcleo de Pesquisa em Transportes (NPT-UFG), do Curso de Engenharia de Transportes da Faculdade de Ciências e Tecnologia da UFG, além de colegas pesquisadores pertencentes ao grupo de trabalho do projeto PET-Gyn (Problema de Equilíbrio do Tráfego – Goiânia). Tal levantamento de informações contou com um total de sete *stakeholders*. Como resultado desse trabalho, foram identificadas então 13 perguntas principais que poderiam guiar o desenvolvimento de novas visualizações voltadas ao entendimento das condições do tráfego urbano e de sua associação com as matrizes Origem-Destino. Essas perguntas são apresentadas abaixo:

- P01 – É possível observar o volume do fluxo de veículos?
- P02 – É possível observar o posicionamento geográfico dos pares OD?
- P03 – A visualização possui escala temporal?
- P04 – É possível verificar o modo de transporte/veículo na representação?
- P05 – É possível identificar se a matriz é esparsa ou densa?
- P06 – É possível observar as rotas de tráfego geradas entre os pares OD?
- P07 – A visualização apresenta recursos de interação, como filtros, que auxiliem na seleção de pares OD de interesse?
- P08 – É possível filtrar a exibição de informações de acordo com o estado do trânsito (congestionamento, maior fluxo e menor fluxo)?
- P09 – A metáfora utilizada é de fácil compreensão?
- P10 – A visualização apresenta mais de uma representação visual?
- P11 – A representação suporta uma grande quantidade de dados?
- P12 – O mapa possui informações suficientes para que o usuário possa identificar a região de interesse?
- P13 – A visualização oferece algum recurso que ajude o observador na identificação e na realização de tarefas (como textos ou ícones ou formas alternativas de acionar um menu suspenso contextualizado)?

Com essas perguntas em mente, foram então elaboradas diversas propostas de visualizações para matrizes OD. A seguir, são apresentadas as visualizações propostas com uma breve descrição.

## 5.1 Visualizações Propostas

As visualizações descritas a seguir combinam técnicas de VI já existentes com diferentes mapeamentos visuais a fim de facilitar a adição de novas informações<sup>1</sup>. As VIs propostas contemplam a percepção dos seguintes itens: pontos de origem e respectivos

---

<sup>1</sup>De acordo com os trabalhos publicados [76, 74, 75]

destinos, tipos de transporte envolvidos, horários e dias da semana, volume da demanda de veículos e áreas com congestionamento.

Uma sequência de círculos numerados foi introduzida nas visualizações para permitir a referência no texto a componentes visuais específicos. Outro ponto a se observar é que algumas das visualizações, descritas a seguir, não possuem mapas. Eles foram suprimidos para facilitar a explicação/representação da visualização. O termo “agregado” será usado para lembrar ao leitor que a representação visual é apenas um recurso de interação de um mapa geográfico.

Antes de iniciar a apresentação de cada visualização, pode-se adotar as seguintes definições para as representações de Matriz OD e para o Fluxo. Logo, espera-se que, ao se referenciar esses termos, tenha-se em mente os seus respectivos atributos.

- **Matriz OD**

- Atributos: origens, destinos, relação de par OD, volume de produção de viagens (para cada origem), volume de término de viagens (para cada destino), volume da demanda de deslocamento (para cada par OD), sentido do deslocamento (da zona A para zona B), tipo modal ou de veículo, dias e horários aos quais a matriz se refere.

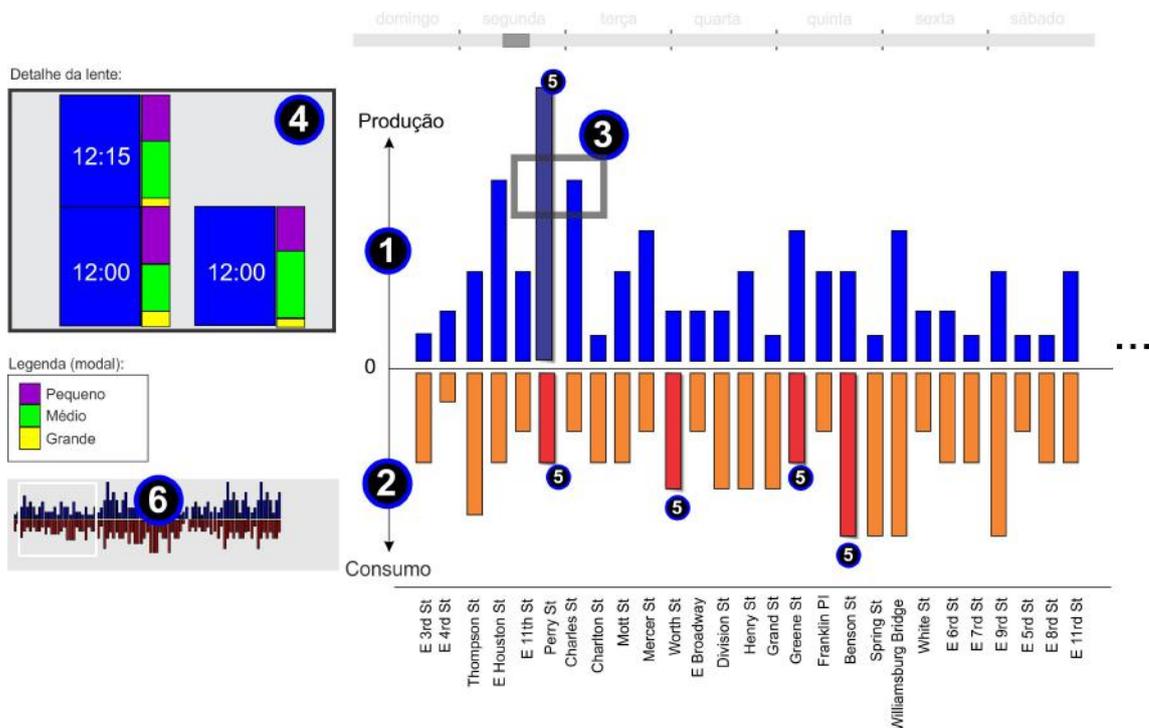
- **Fluxo** – deslocamento dos veículos na malha viária.

- Atributos: rota ou caminho do fluxo (sequência com uma ou mais ruas/avenidas que o fluxo percorre), pares OD relacionados, volume total de veículos trafegando na rota ou por par OD e/ou por modalidade ou tipo de veículo, sentido do fluxo, etc.

Um resumo do mapeamento visual e do funcionamento de cada visualização é apresentado a seguir. Ao final, serão apresentadas algumas tabelas indicando, respectivamente, uma síntese das principais características e as perguntas que cada visualizações foi capaz de responder/atender.

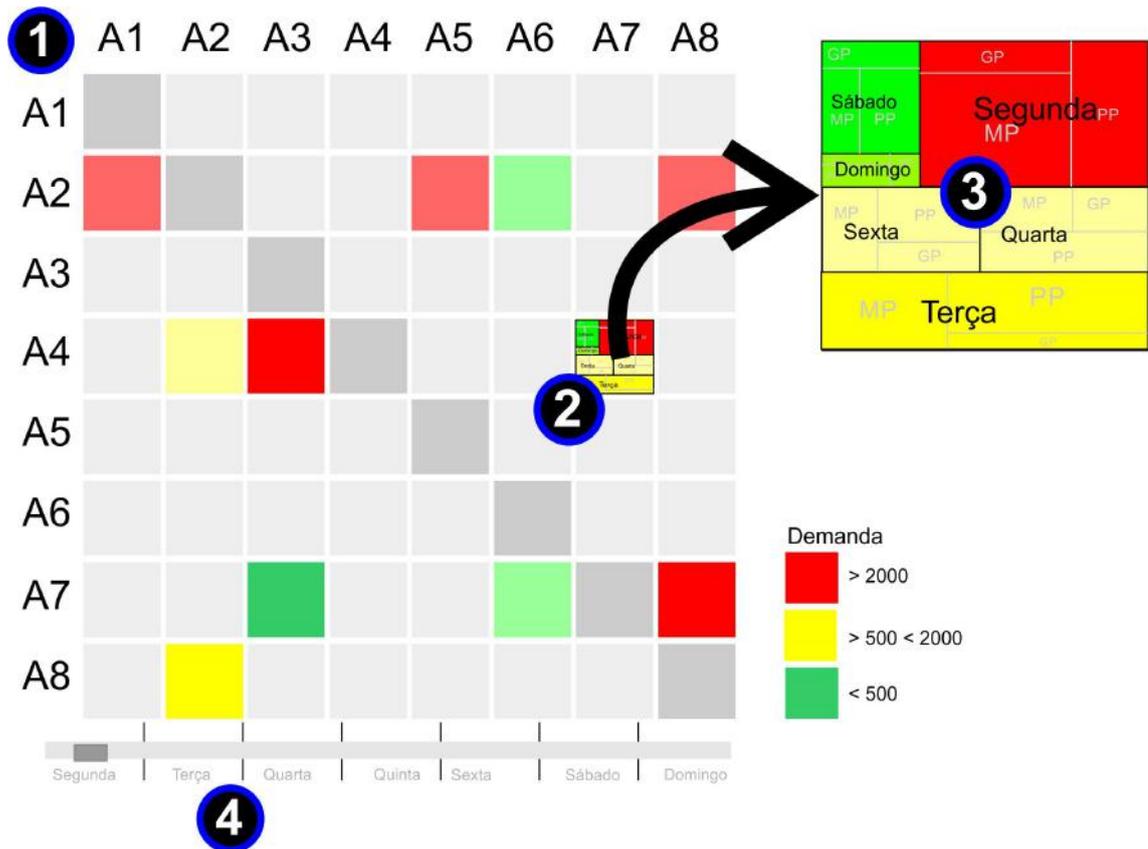
A visualização mostrada na Figura 5.1 é agregada e utiliza um gráfico de barras espelhado a fim de refletir os volumes de deslocamento totais de origem (produção - item 1) e de destino (atração - item 2) para cada zona da malha viária em um determinado intervalo de tempo (barra de tempo na parte superior da imagem). A modalidade de veículos pode ser vista através da ampliação do gráfico de barras, conforme exemplo (item 3 e 4). Note que, uma estreita barra segmentada (item 4) é posicionada logo à direita da barra em seleção. A coloração da barra indica os diferentes modos de transporte que trafegam entre os pares ODs. É possível observar também uma representação compactada do gráfico de barras *Overview* mostrado no item 6. Tal técnica pode auxiliar o usuário a explorar uma grande quantidade de dados. Os recursos de interação, disponíveis na

visualização, envolvem desde a seleção de origens, o que destaca seus respectivos destinos ou vice-versa (itens 5) até a navegação temporal, pelos dias da semana e horários do dia (item 4), por meio da barra de tempo localizada na parte superior da visualização. Zonas com nenhum deslocamento de origem e destino podem ser omitidos.



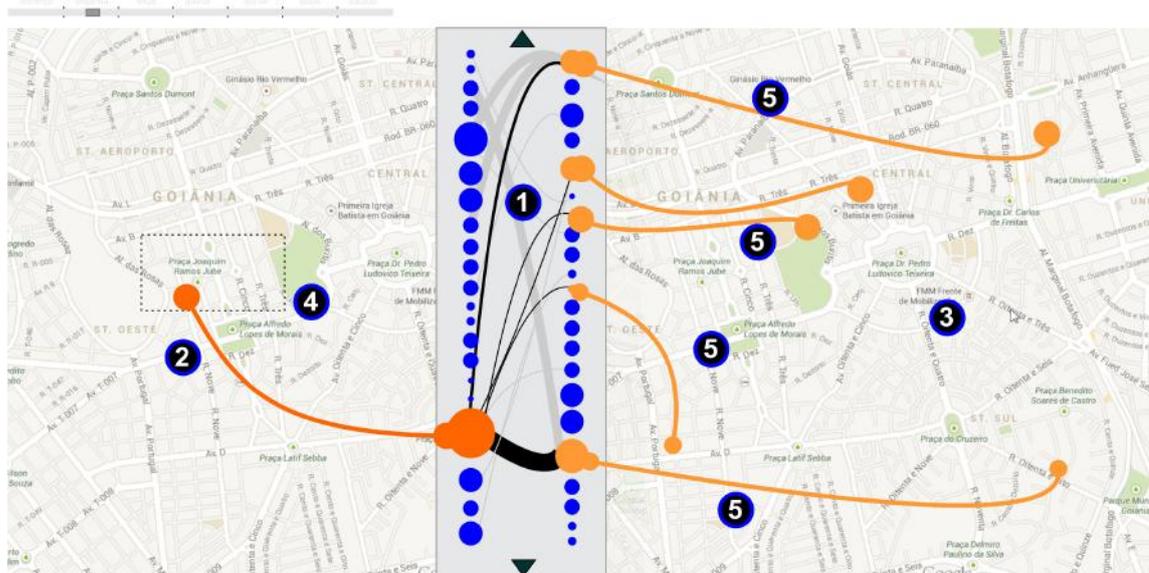
**Figura 5.1:** Visualização proposta (a)

A Figura 5.2 mostra uma representação (agregada) clássica de matriz OD (item 1). Porém, ao invés de números, cada célula (item 2) da matriz possui uma miniatura de um *treemap*, indicando a demanda e a modalidade de veículos para cada dia da semana. Ao se selecionar uma célula, um *treemap* (item 3) apresenta os dados sobre o volume de deslocamento de veículos entre o respectivo par OD. O *treemap* exibe os volumes através de uma hierarquia que começa com o dia da semana e depois termina com o fluxo por classe de veículos. Em particular, foi usada, na Figura 5.2 uma classificação simplista de veículos de grande porte (GP), Médio Porte (MP) e Pequeno Porte (PP), mas outra divisão poderia ter sido empregada. Uma coloração foi associada a cada faixa de demandas, conforme mostra a legenda de cores (situada a direita na parte inferior da imagem). A tonalidade das cores podem variar conforme o intervalo das faixas, por exemplo: a cor amarela pode variar de 500 a 2000, onde o valor mínimo tende a ser um amarelo claro, enquanto que o valor máximo da faixa tende a ser mais escura.



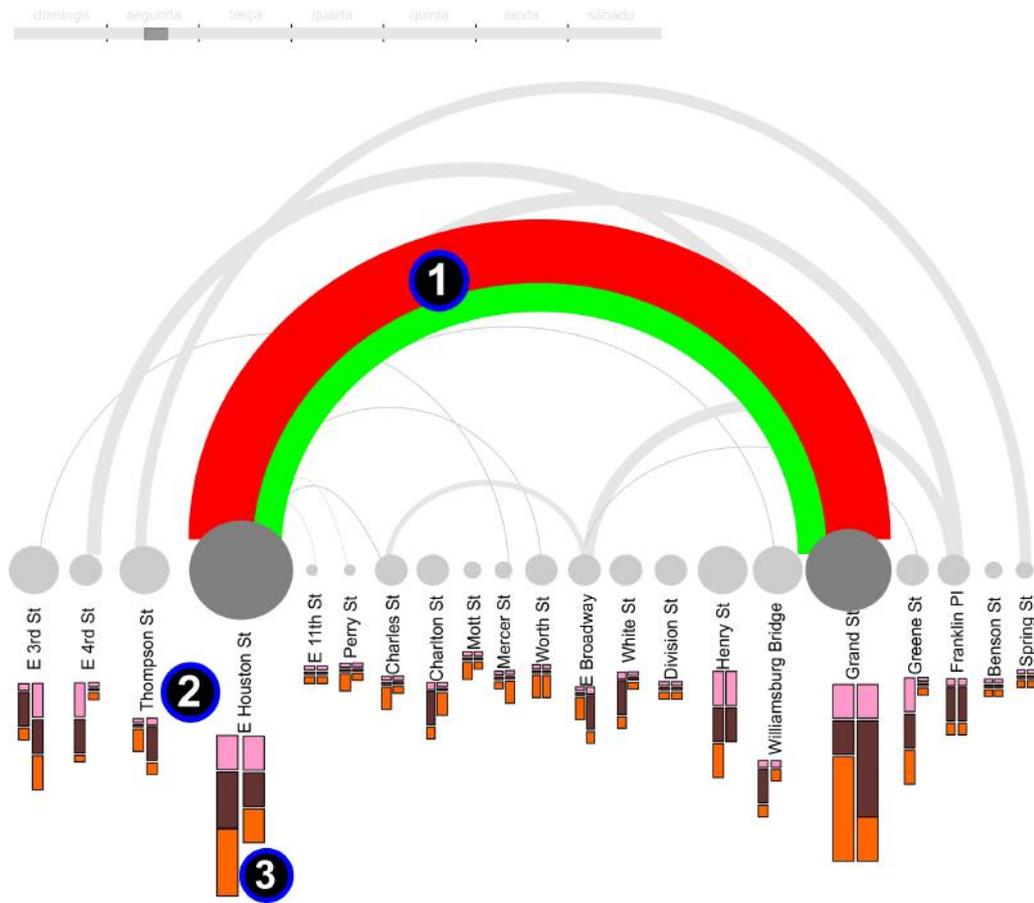
**Figura 5.2:** Visualização proposta (b)

A Figura 5.3 é uma variação da abordagem de Boyandin *et al.* [29] (ver Capítulo 3), no qual dois mapas são empregados para visualizar separadamente as origens (esquerda) e destino (direita), reduzindo assim a quantidade de cruzamentos entre linhas (nos mapas). Sua diferença principal está na utilização de um grafo bipartido, ao centro, indicando as ligações entre os pares OD (item 1), enquanto que na abordagem original utiliza-se um *heatmap*. Ao se selecionar uma região de interesse (item 4) o ponto de origem (item 2) e os respectivos destinos (itens 5) são realçados. Tanto a espessura das linhas internas e quanto as áreas dos círculos (item 1) indicam o volume da demanda. A técnica de *Edges bundles* pode ser utilizada para compactar o volume de linhas quando as matrizes ODs são muito densas. Acredita-se que a presente abordagem é mais natural, ao seguir o par OD através do grafo do que utilizando um *heatmap*.



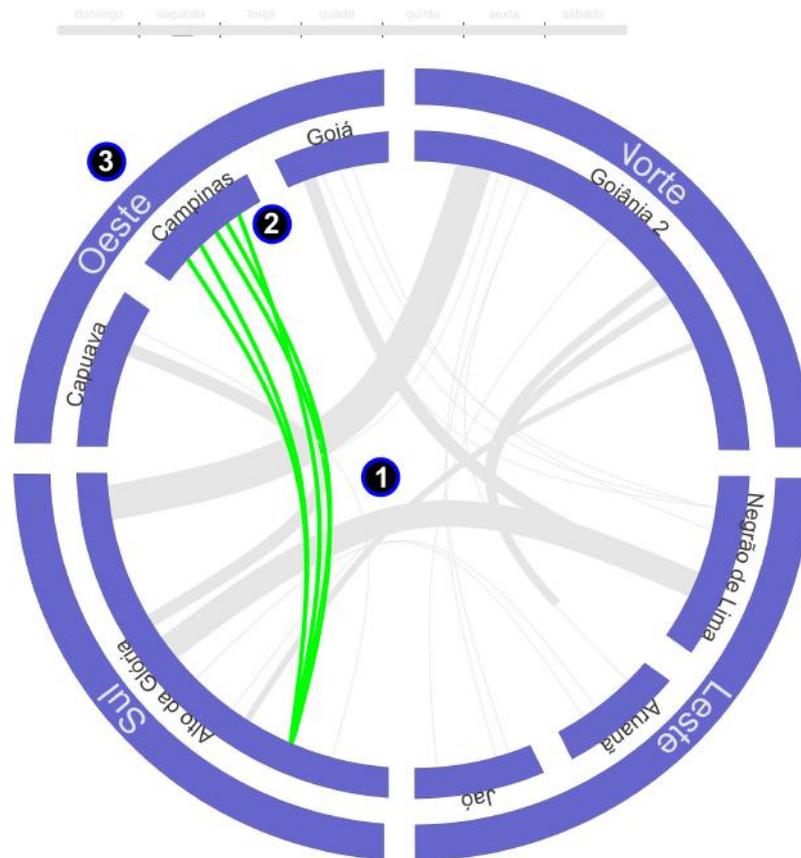
**Figura 5.3:** *Visualização proposta (c)*

A Figura 5.4 adota um diagrama de arcos (agregado) para apresentar as demandas entre os pares ODs (item 1). Na visualização, cada zona de origem e/ou destino é representada por um círculo (item 2). Tais círculos são ordenados pela proximidade geográfica de cada zona. A atração e a produção de demandas podem ser observadas em um mesmo arco (item 1), a parte superior indica origem, enquanto que a inferior destino. A coloração dos arcos está diretamente relacionada ao grau de congestionamento da via. Abaixo de cada círculo, há um rótulo (item 2) que descreve o nome da zona e mais abaixo tem-se duas barras segmentadas (uma para a origem e outra para o destino, respectivamente) (item 3), representando a contribuição modal de veículos para o par OD (rosa – pequeno, marrom – médio e laranja – grande porte).



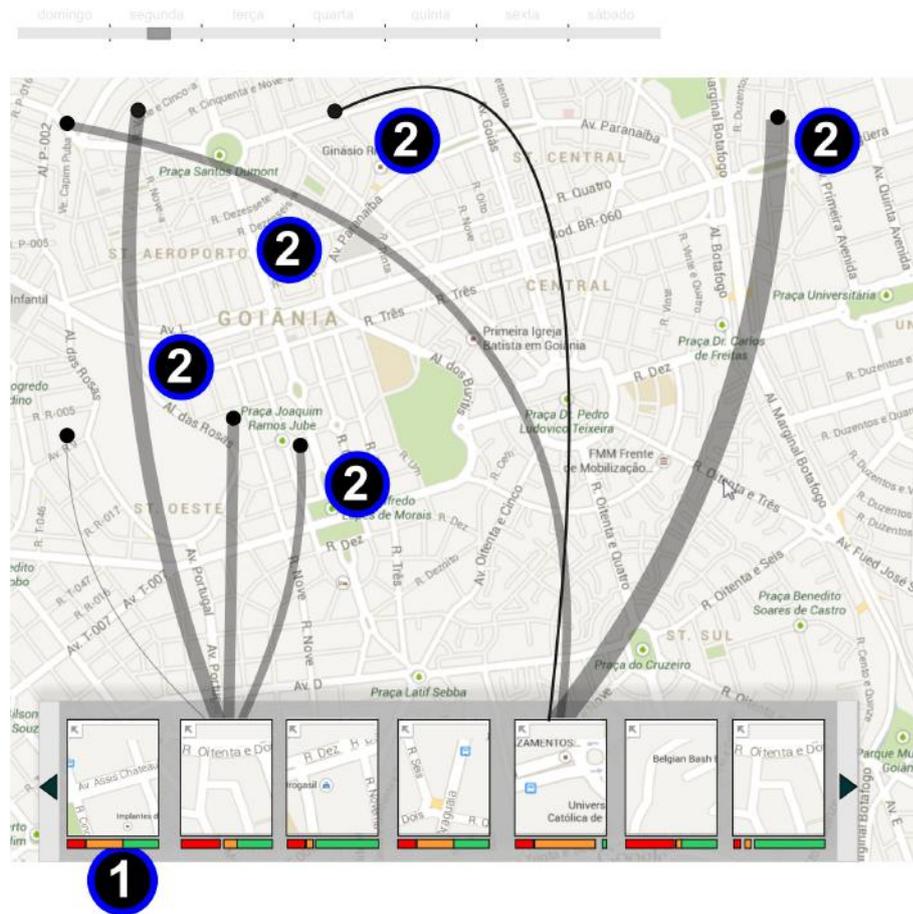
**Figura 5.4:** Visualização proposta (d)

A Figura 5.5 exibe um *Radial Table* (agregado) com o uso da técnica *Edge Bundling* (item 1) para concentrar os relacionamentos entre os pares OD (item 2). Nesta representação, há o uso de hierarquia geográfica (itens 2 e 3). A hierarquia pode variar desde grandes regiões (item 3) até pequenos trechos de uma via (circunferências mais internas). A espessura das linhas está relacionada à quantidade de veículos trafegando entre os pares OD em um dado momento. Todavia, a técnica *Edge Bundling* pode agrupar tais linhas e criar uma que melhor as represente. Já a coloração das linhas indica a predominância do nível de congestionamento entre os pares OD (verde–leve, amarelo–moderado e vermelho–intenso). Os recursos de interação possíveis para a visualização são: a seleção dos pares OD sobre a hierarquia desejada (conforme o exemplo do item 2) ou por seleção dos pares OD de forma livre, escolhendo linha por linha.



**Figura 5.5:** Visualização proposta (e)

A Figura 5.6 é composta basicamente por mapas. As origens de tráfego podem ser indicadas na parte inferior da imagem (item 1), em pequenos quadrantes, enquanto os destinos são distribuídos em pequenos círculos no mapa maior (itens 2). A linha representa o par OD que liga os quadrantes aos pequenos círculos, que são os destinos. A espessura dessas linhas indica a demanda de veículos, ao passo que as barras coloridas segmentadas, posicionadas abaixo dos pequenos quadrantes (item 1), representam os diversos meios de transporte. Como no caso anterior, é possível empregar a técnica *Edge bundles* para manter a visualização ainda legível quando o volume de pares OD se tornar consideravelmente maior.

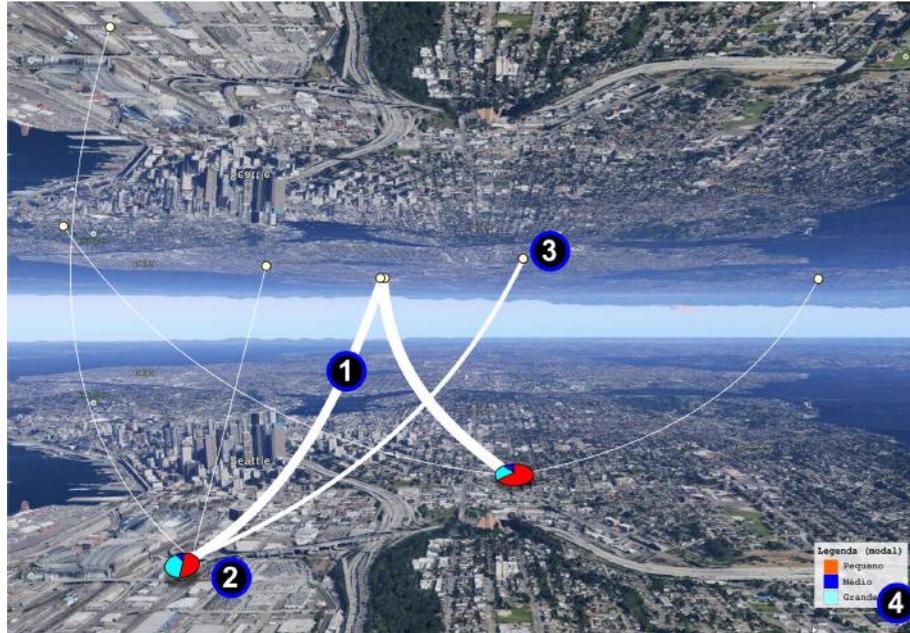


**Figura 5.6:** Visualização proposta (f)

Já a Figura 5.7 apresenta as relações origem-destino através de dois mapas geográficos posicionados em 2.5D<sup>2</sup>, sendo um o reflexo do outro (a ideia foi inspirada no filme *Another Earth*<sup>3</sup>). A origem é retratada no mapa inferior, enquanto o destino se posiciona na parte superior do mapa. A espessura das linhas (item 1) está relacionada à demanda de veículos que trafegam pelos pares OD (itens 2 e 3). Por outro lado, um gráfico de pizza (item 2) posicionado nas origens, indica a demanda dos diferentes tipos de transportes. Cada modalidade de transporte é descrita pela legenda à direita do mapa (item 4). Essa abordagem visual também foi criada com o intuito de minimizar a sobreposição de linhas à medida que os pares OD aumentam.

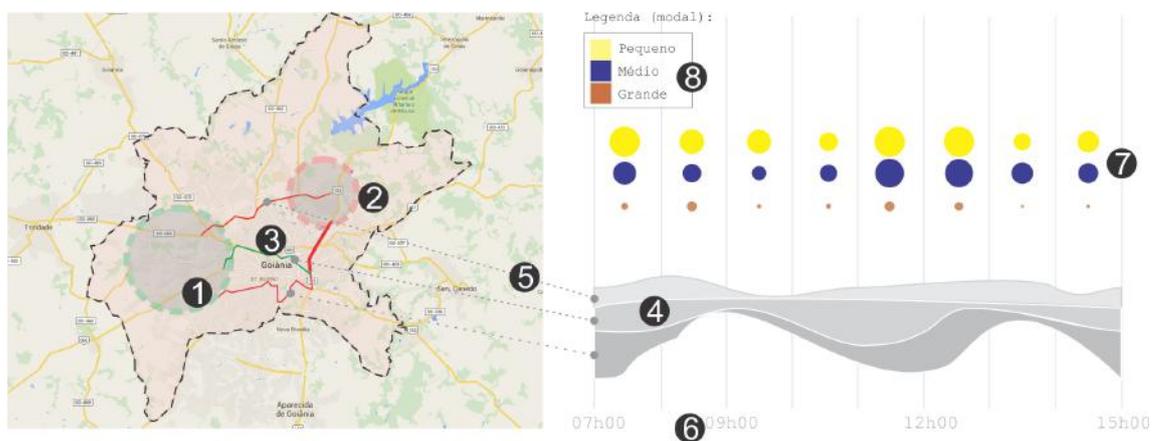
<sup>2</sup>O termo 2.5D indica a utilização de ambiente 3D representando em um plano

<sup>3</sup><http://www.imdb.com/title/tt1549572/>



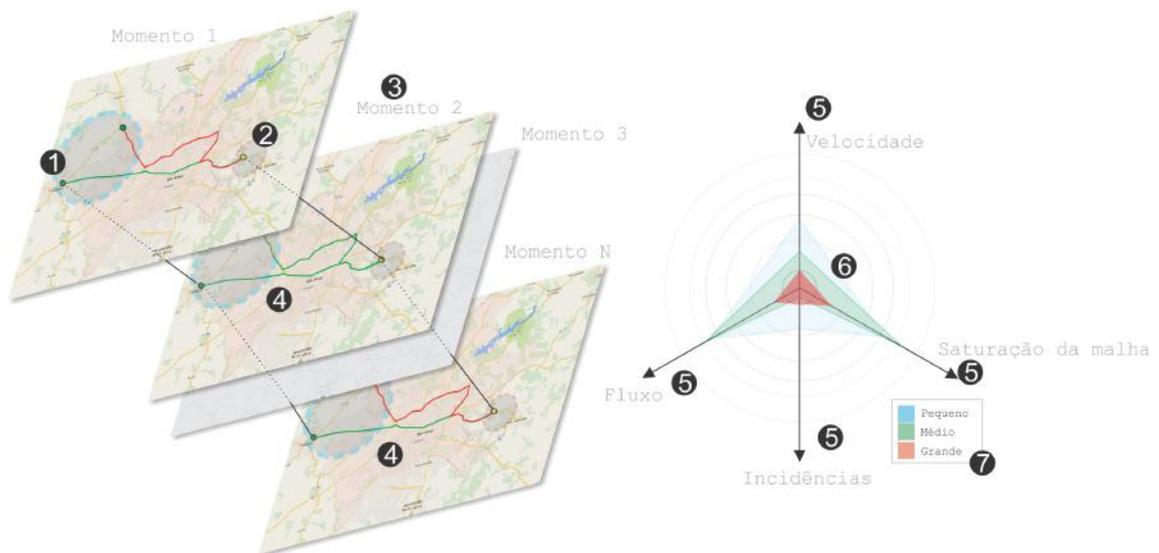
**Figura 5.7:** Visualização proposta (g)

A Figura 5.8 mostra um mapa com a visualização clássica de fluxo de veículos (semelhante à camada de tráfego do GoogleMaps). Na imagem, o volume de veículos e a velocidade de deslocamento são destacadas, respectivamente, por intermédio da espessura e da coloração das ruas. Para uma melhor interação com o mapa, foram adicionados círculos (verde representa origem – item 1, enquanto vermelho, o destino – item 2) de seleção de pares OD (item 3). Ao selecionar uma dada região no mapa (combinação dos itens 1 e 2), um *Stream Graph* apresenta a demanda de veículos (item 4) dos respectivos pares OD selecionados (item 5) em um determinado intervalo de tempo (item 6). O tipo de transporte também é representado no item 7, onde o diâmetro dos círculos representa a média da quantidade de deslocamento referente ao tipo de transporte (item 8) para um dado momento. A principal vantagem da visualização é permitir que o usuário analise a demanda de veículos por intervalo de tempo.



**Figura 5.8:** Visualização proposta (h)

A Figura 5.9 apresenta um empilhamento de mapas que apontam para uma mesma região de interesse. Porém, seu objetivo é mostrar a evolução do tráfego em diferentes momentos do dia (item 3) de acordo com os pares OD selecionados (itens 1 e 2). Por intermédio da visualização, é possível notar que ao longo do tempo o tráfego pode sofrer mudanças em seu comportamento (coloração e espessura das linhas – itens 4). Logo, para que o usuário perceba tais mudanças, foi adicionada uma animação de transição entre os mapas, semelhante à troca de janelas de um sistemas operacional, pressionando as teclas Alt + Tab. Por outro lado, a fim de agregar mais valor à visualização, foi introduzida a técnica *Radar chart*, como detalhamento do mapa em destaque. Através da visualização, é possível identificar quatro eixos (itens 5): fluxo de veículos, média de velocidade atual, saturação da malha viária (congestionamento) e a quantidade de incidências de eventos no tráfego, que podem alterar o seu comportamento (acidentes, bloqueio de pista, inundações, etc). As regiões poligonais coloridas (item 6) mostram a área dos diferentes tipos de veículos (pequeno, médio e grande porte) usando a coloração definida no item 7.



**Figura 5.9:** Visualização proposta (i)

Por fim, a Figura 5.10 mostra o uso de mapas com as mesmas definições e funcionalidades do mapa da visualização (h) (Figura 5.8). Porém, foi adicionada a técnica (*Radar chart*) para representar a demanda de veículos em uma escala temporal. De acordo com a seleção de pares OD (itens 1, 2 e 3), é possível observar os diferentes tipos modais por intermédio da coloração das figuras geométricas (itens 4 e 5). Tais figuras podem variar de forma ao longo do tempo, neste caso expressa em horas (semelhante a representação das horas em um relógio – item 6). A interface permite visualizar os diferentes dias da semana por intermédio da seleção dos anéis (item 7). Por exemplo, o item 7 mostra a seleção do registro das demandas de terça-feira. Perceba que o anel

selecionado apresenta-se em destaque em relação aos demais. A proposta permite a comparação da demanda dos diferentes tipos modais ao longo de uma escala temporal.

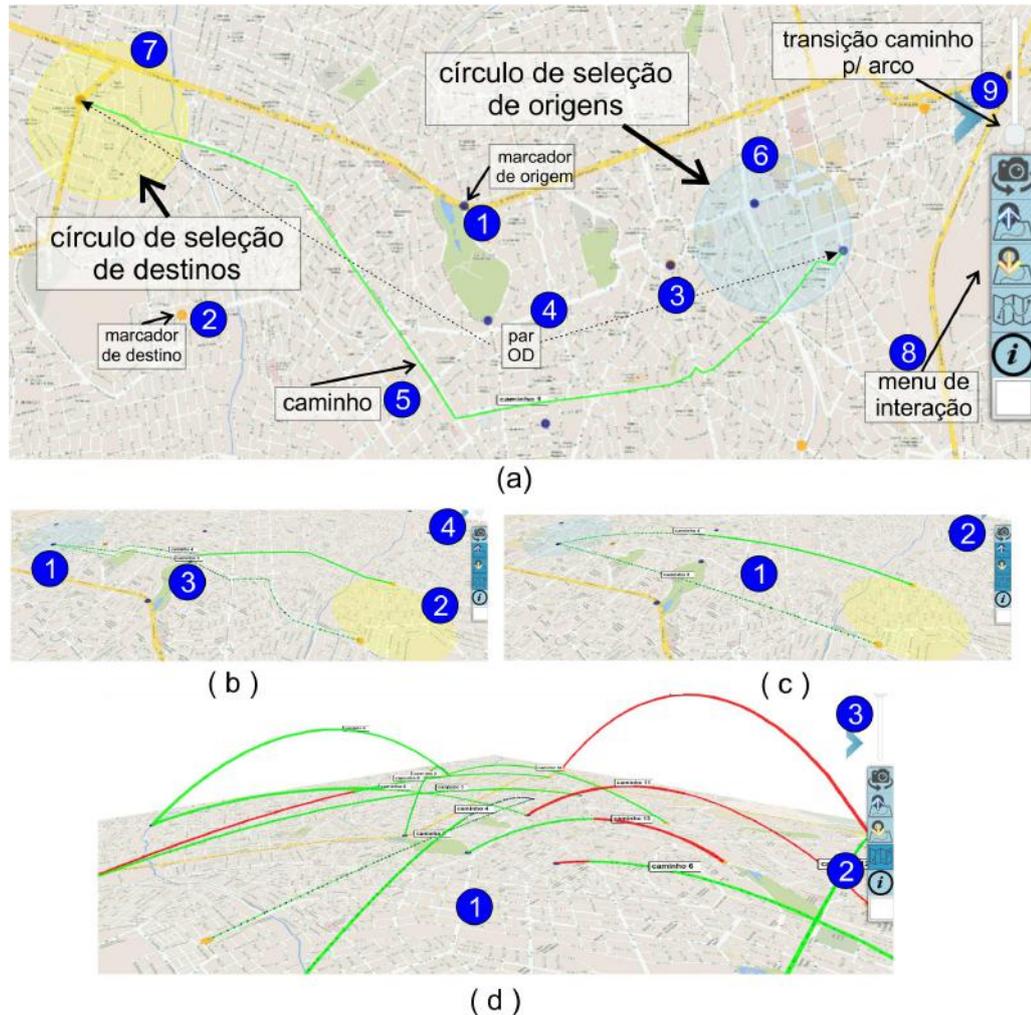


**Figura 5.10:** Visualização proposta (j)

A seguir, são apresentadas outras quatro novas visualizações. Elas são explicadas com um maior nível de detalhes já que são utilizadas nas avaliações descritas nos capítulos seguintes. A escolha das mesmas está relacionada ao momento da aplicação das avaliações de usabilidade. Ou seja, as visualizações foram selecionadas de acordo com o seu grau de maturidade e de desenvolvimento.

### 5.1.1 ArcFlow

A primeira visualização, denominada ArcFlow, pode ser vista na Figura 5.11 e consiste basicamente de um mapa geográfico com linhas indicando o fluxo entre pares ODs. O *ArcFlow* possibilita ver como as demandas de viagem se decompõem em fluxo de tráfego na malha viária. Na primeira visualização, há apenas um mapa geográfico com pares ODs e suas respectivas rotas sobre a malha viária (Figura 5.11 (a)). Na segunda visualização, há o mesmo mapa, mas com os pares OD sendo mostrados como arcos em 2.5D (Figura 5.11 (d)). A relação entre pares ODs não é necessariamente de um ponto para outro, uma vez que uma demanda de deslocamento de fluxo pode ser atendida por várias rotas diferentes simultaneamente. O *ArcFlow* permite que o usuário possa transitar suavemente de uma representação com rotas sobre um mapa (Figura 5.11 (b)) para uma representação 2.5D (Figura 5.11 (d)), através de arcos. Logo abaixo, tem-se uma descrição detalhada dos itens principais da visualização.



**Figura 5.11:** Visualização ArcFlow  
Principais funcionalidades.

Pequenos marcadores, em formato de círculos, são utilizados para descrever os pontos OD. A coloração azul (item 1), laranja (item 2) e azul e laranja (item 3) (da Figura 5.11 (a)) indicam, respectivamente, pontos de somente origem, somente de destino e de origem e destino simultaneamente. Caso haja um par OD na malha viária com demanda de deslocamento (item 4), este é descrito pelas suas rotas conectando os respectivos marcadores (item 5). Os segmentos que compõem os caminhos são coloridos, de acordo com a velocidade de deslocamento da via. Se a velocidade trânsito na via é maior que a metade da velocidade máxima permitida, a coloração será verde, caso contrário, vermelha. A espessura da linha está relacionada à capacidade ou volume de veículos que realmente estão em trânsito na via. No lado direito da visualização, há um menu (item 8) de interação por meio do qual o usuário tem a possibilidade de ativar uma rotação automática do mapa, habilitar ou desabilitar um recurso para selecionar manualmente um subconjunto de origens ou destinos, e exibir informações sobre as principais ações que podem ser feitas na visualização.

Outros recursos de interações possíveis são:

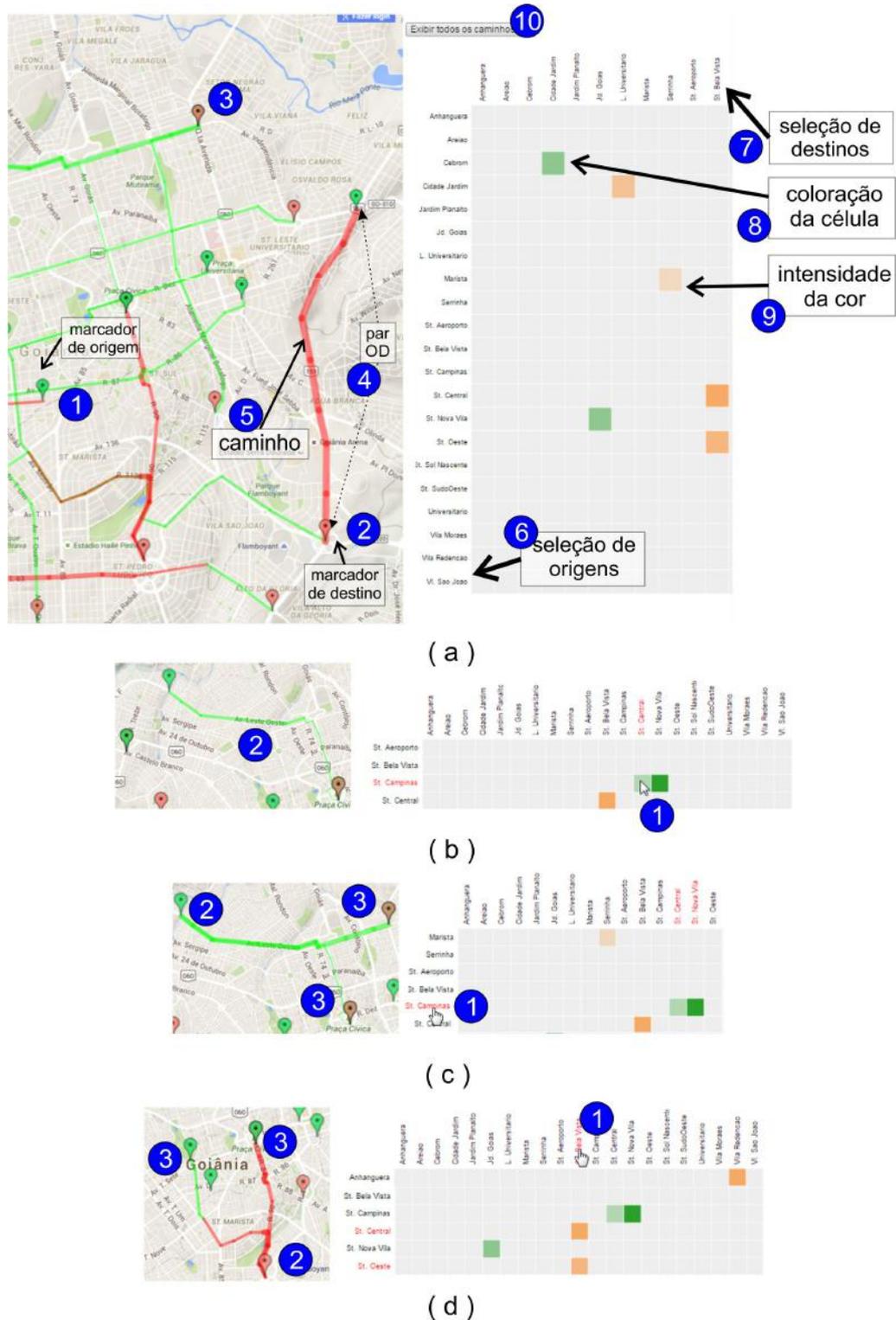
- **Filtrar pares Origem-Destino** – os círculos grandes coloridos (verde e vermelho) (itens 6 e 7 – Figura 5.11 (a)) representam, respectivamente, seleção de origem e seleção de destino, de forma que, ao selecionar estes círculos, o usuário pode arrastá-los sobre o mapa e, caso os círculos de seleção tenham contato com seus respectivos pares OD (item 4), isto é, os círculos menores, o caminho será destacado (item 5). Por exemplo, na seleção da Figura 5.11 (b), o usuário posicionou o círculo de seleção de origem (item 1) e seu destino (item 2) em locais específicos do mapa que permitiram o destaque de dois caminhos (item 3);
- **Alternar da visão de caminhos para a de arcos** – através de um menu deslizante (Figura 5.11 (a)) (item 9), o usuário pode transitar suavemente entre as rotas posicionadas ao solo até as demandas expressas por arcos, em 2.5D, conforme as Figuras 5.11 (b e d). Essa transição permite observar o caminho traçado entre os pares. Caso exista a necessidade de somente observar a conexão direta entre os pontos OD, pode-se elevar os caminhos até atingirem o formato de arco. Quanto maior for a altura do arco, mais veículos estão transitando na via no dado momento;
- **Manipular a câmera** – através de um recurso de interação direcional <sup>4</sup> pode-se rotacionar a câmera e obter uma visão panorâmica do mapa, bem como utilizar-se dos recursos de *zoom-in* e *zoom-out*;
- **Aumentar diâmetro dos círculos de seleção** – pode-se aumentar o diâmetro dos círculos de seleção (itens 6 e 7 – Figura 5.11 (a)) pressionando a tecla *shift* do teclado mais o recurso de interação direcional no sentido vertical para cima. Caso contrário, pressionando a tecla *shift* do teclado mais o recurso de interação direcional no sentido vertical para baixo;
- **Desabilitar ou habilitar o círculo de seleção de origem ou destino** – o usuário pode remover ou inserir o círculo de seleção de origens/destinos na visualização. Entretanto, caso sejam desabilitados todas as rotas de demandas de deslocamento, conforme ilustra a Figura 5.11 (d).
- **Habilitar fluxos** – ao habilitar esse recurso uma animação em formato de pontos é exibida nas linhas de fluxo ou de demandas ODs, conforme a Figura 5.11 (b)(item 3). Tal animação tem como objetivo apresentar o sentido dos fluxos nos arcos envolvidos.

---

<sup>4</sup>Este termo está relacionado a qualquer meio de interação direcional, por exemplo: *mouse*, telas sensíveis a toque, *joystick*, etc.

### 5.1.2 ODFlow

A segunda visualização é chamada de *ODFlow* e emprega a utilização de duas técnicas conforme ilustra a Figura 5.12. No lado esquerdo, há um mapa 2D contendo os pares ODs e suas respectivas rotas, enquanto que, do outro lado, ver-se a representação clássica de uma matriz OD, mas com cores nas células ao invés de números.



**Figura 5.12:** Visualização ODFlow  
Principais características.

A Figura 5.12 (a) apresenta no mapa as seguintes colorações para os marcadores: verde (item 1), vermelho (item 2) e marrom (item 3). Estes representam, respectivamente, origem, destino e origem e destino. Caso os marcadores de origem e de destino formem um par (item 4), há o desenho de uma rota conectando-os. Essa rota representa o fluxo

de veículos (item 5). A coloração do caminho está diretamente relacionada à velocidade da via. O verde indica que a velocidade de uso do tráfego é maior ou igual à metade da velocidade permitida. Já a cor vermelha indica o contrário. Por outro lado, a espessura das linhas indica a proporção entre a quantidade de deslocamento de veículos que trafegam em um dado instante. Quanto mais espessa for a linha, maior será o número de veículos. A representação da matriz na Figura 5.12 (a), lado direito, mostra as origens dispostas em linhas (item 6), enquanto que os destinos estão dispostos em colunas (item 7). O nome da zona é expressa por meio de um rótulo no início de cada linha e coluna. A coloração (item 8) das células está diretamente relacionada à velocidade predominante entre os pares OD, conforme a regra de coloração dos caminhos registrada anteriormente. Por fim, a intensidade da célula (item 9) representa a quantidade de veículos que trafegam no dado momento.

O *ODFlow* proporciona diferentes recursos de interações. Ao selecionar uma célula (item 1) na matriz (Figura 5.12 (b)), os nomes das zonas são destacadas em vermelho, enquanto que o seu respectivo par OD é destacado no mapa (item 2). Ao selecionar o rótulo de uma linha (item 1) na Figura 5.12 (c), a origem (item 2) e os seus respectivos destinos (itens 3) são destacados no mapa. Por fim, ao selecionar o rótulo de uma coluna (item 1) na Figura 5.12 (d), o destino (item 2) e suas respectivas origens (itens 3) são ressaltados no mapa. Por fim, é possível posicionar sobre os marcadores no mapa e obter o nome das zonas, da mesma forma que ao posicionar sobre a célula na matriz é exibida a quantidade de demanda em formato numérico.

Uma animação (semelhante a um pulo do marcador) é exibida a cada interação de seleção sobre as células, linhas ou colunas da matriz. Seu objetivo é facilitar a visualização dos caminhos de interesse.

A dimensão das células irá depender do tamanho da entrada. Quanto maior for a quantidade de zonas, menores serão as células. Isso ocorre com a intenção de compactar a matriz. Caso o tamanho da matriz ultrapasse o valor limite determinado na tela, as barras de rolagem e os botões de *zoom in* ou *zoom out* serão dispostos.

### 5.1.3 ODGraph

A terceira visualização é chamada de *ODGraph* e, como a anterior, utiliza duas técnicas em sua composição são elas: grafos e mapas. A Figura 5.13 apresenta essa visualização. Do lado esquerdo da figura, há a exibição de um mapa cartesiano com pontos OD e suas respectivas demandas. Do outro lado, há um grafo não direcionado representando, em redundância, os pontos OD e as demandas. De acordo com a Figura 5.13 (item 1), há a exibição dos pares ODs através de um marcador no mapa, sendo que a origem é representada pela coloração verde (item 1) e o destino está em vermelho (item 2). A visualização

não exige o real caminho traçado das origens até os destinos, mas conecta os pares OD através de uma reta (item 3). A coloração das retas, no mapa, representa a real velocidade do tráfego das vias no momento. Caso a velocidade atual seja menor que a metade da velocidade máxima permitida na via, a coloração será vermelha, caso contrário, será verde.

No grafo, os nós (Figura 5.13 (item 4)) representam tanto a origem como o destino e, para cada nó existente, há um rótulo associado a ele (como nome da localização do ponto OD). As arestas indicam conectividade entre pontos OD e a espessura das mesmas indica quantidade de demanda de deslocamento entre os nós. Por fim, o *ODGraph* também permite a visualização do modo de transporte por meio da coloração das arestas, sendo que as cores azul (grande), amarelo (médio) e cinza (pequeno porte) representam a predominância de certo modo de transporte em um determinado período de tempo entre os pares OD.

A visualização permite explorar diferentes interações. Os nós poderão ser diferenciados como origem ou destino. Por exemplo, ao se selecionar um nó, mostra-se os dados de produção/origem. Porém, ao selecionar o mesmo nó, pressionando a tecla *shift*, este nó apresentará o consumo/destino. A Figura 5.13 (item 5) ilustra a seleção do nó “Campinas”. Neste caso, ele é considerado uma origem, enquanto que seus respectivos destinos são apresentados (Marista, St. Nova Vila e St. Central). Caso contrário, ao se pressionar a tecla *shift* sobre o mesmo nó, ele seria destacado como um destino de algum outro nó que representasse origem. O grafo deve ser dinâmico em seu redesenho. Ou seja, ao escolher um nó e arrastá-lo, o grafo deve-se reajustar automaticamente para a nova posição, obedecendo à sua estrutura (distância teórica entre os nós).

Quando há a seleção de algum ponto OD, somente os dados relevantes são destacados. Por exemplo, na Figura 5.13 (item 5), os nós selecionados são destacados, enquanto que o restante do grafo perde sua coloração. Esta ação também é refletida no mapa, onde somente o par OD é destacado com uma pequena animação de salto dos nós de origem(s) e destino(s).



Figura 5.13: Visualização ODGraph

### 5.1.4 ODParallel

A seguinte visualização é denominada de *ODParallel*, pois é basicamente composta por um mapa e a técnica de coordenadas paralelas.

O mapa apresenta os mesmos elementos e funcionalidades definidas na visualização anterior (Figura 5.14 itens 1, 2 e 3). Já a técnica de coordenadas paralelas, representada do lado direito da Figura 5.14, é composta pelas seguintes dimensões (item 4): modalidade de transporte, nome das regiões de origem e destino, velocidade permitida, velocidade atual e volume de demanda'. As três primeiras dimensões são representadas com o domínio textual, enquanto que as demais são representadas em formato numérico. Os textos descritos na dimensão modalidade são: pequeno (PEQ), de médio (MED) e de grande (GRA) porte. Todavia, os valores definidos para as dimensões de origem e destino são os nomes dos pontos OD (localidade), também retratados no mapa por meio de marcadores. Por fim, há uma diferenciação de cores (item 6) nas linhas entre as coordenadas paralelas. Essa coloração está relacionada a média da velocidade atual das vias que compõem o par OD pela média das velocidades máximas permitidas. Caso a velocidade resultante do par OD seja inferior à metade da média das velocidades permitidas, ela é definida com uma cor vermelha, caso contrário, com uma cor azul.

As interações possíveis com as coordenadas paralelas durante a visualização são: reconfigurar o espaçamento entre as coordenadas (item 4), adicionar ou remover coordenadas e realizar múltiplas seleções (item 5). A primeira interação, mencionada, permite que o usuário aumente ou diminua o espaço entre as dimensões. Esse recurso facilita a visualização porque permite que o usuário dê um melhor destaque à dimensão desejada. Já a segunda, possibilita que o usuário inclua uma combinação adequada das diversas dimensões. A terceira forma de interação são os filtros de seleção de dados comuns nessa técnica.

A visualização também se preocupa em apresentar somente as informações relevantes. A ação de filtragem por coordenadas paralelas permite que as informações pouco relevantes ganhem transparência. Esta mesma funcionalidade é aplicada ao mapa. Ou seja, todos os marcadores OD que não fazem parte da seleção recebem transparência.

As visualizações foram implementada utilizando *Three.js*, *D3.js*, *JavaScript*, e *Google Maps API* com *Json*.

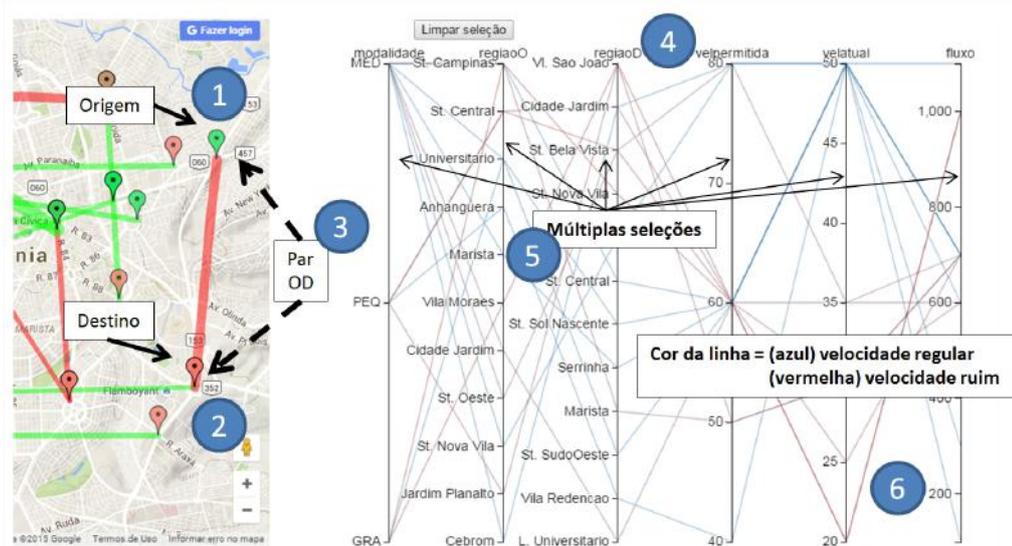


Figura 5.14: Visualização ODParallel

Um resumo dos mapeamentos usados nas visualizações descritas neste capítulo é apresentado na Tabela 5.1. Para cada visualização proposta, destacaram-se os seguintes itens: recursos/técnicas de visualização empregados, representação temporal (hora, dia e semana), representação de modos de transporte e, por fim, a forma de mostrar o volume de deslocamento de veículos.

**Tabela 5.1:** *Resumo das visualizações apresentadas.*

Vis.	Recursos Usados	Temporal	Tipo de Veículo	Volume de Deslocamento
(a)	<i>Table lens</i>	barra de rolagem	coloração em barras agregadas	altura da barra
(b)	<i>Treemap</i> e matriz	<i>treemap</i>	<i>treemap</i>	coloração
(c)	Mapas e grafos	barra de rolagem		espessura de linhas/círculos
(d)	<i>Arc Graph</i>	barra de rolagem	coloração em barras agregadas	espessura de linhas/círculos
(e)	<i>Radial Table</i> e <i>Edge bundles</i>	barra de rolagem	coloração em área selecionada	espessura de linhas/arcs
(f)	Mapa e grafos e <i>Edge bundles</i>	barra de rolagem	coloração em barras agregadas	espessura de linhas
(g)	Mapas e grafos com projeção 2.5D	barra de rolagem	coloração do gráfico de <i>pizza</i>	espessura de linhas
(h)	Mapas e <i>Stream graph</i>	por meio do <i>Stream graph</i>	círculos coloridos contidos no <i>Stream graph</i>	amplitude das ondas no <i>Stream graph</i>
(i)	Variação do <i>Slice Map</i> para mapas e <i>Radar chart</i>	fatias do mapa	coloração das regiões poligonais no <i>Radar chart</i>	diâmetro das regiões poligonais no <i>Radar chart</i>
(j)	Mapas e <i>Radar chart</i>	por meio das circunferências do <i>Radar chart</i>	por meio das figuras geométricas internas ao <i>Radar chart</i> (anéis)	diâmetro das regiões poligonais internas ao <i>Radar chart</i>
ArcFlow	Mapas 2D e 2.5D	-	-	espessura das linhas/altura dos arcos/coloração das linhas
ODFlow	Mapas 2D e tabela	-	-	espessura das linhas/coloração das linhas
ODParallel	Mapas 2D e coordenadas paralelas	-	dimensão da coordenada paralela	espessura das linhas/coloração das linhas
ODGraph	Mapas 2D e grafo	-	coloração das arestas	espessura das linhas/coloração das linhas no mapa

A Tabela 5.2 mostra a relação das perguntas respondidas, definidas no início deste capítulo, para cada visualização proposta. A letra (x) será usada na tabela a fim de indicar a capacidade de respondê-la.

**Tabela 5.2:** *Resumo dos perguntas respondidas para cada visualização.*

Vis.	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13
(a)	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x		
(b)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	
(c)	x	x	x		x		x	x	x	x	x	x	
(d)	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x		
(e)	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x		
(f)	x	x	x	x	x		x	x	x			x	
(g)	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	
(h)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
(i)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
(j)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
ArcFlow	x	x			x	x	x	x	x		x	x	x
ODFlow	x	x			x	x	x	x	x	x		x	x
ODGraph	x	x		x	x		x	x	x	x	x	x	x
ODParallel	x	x		x	x		x	x	x	x	x	x	x

Como pode ser visto, cada proposta de visualização tem suas vantagens e desvantagens decorrentes do fato de focarem em algum tipo ou atributo de dados em detrimento de outros. No entanto, por combinarem diferentes técnicas de visualização (mapas, grafos, etc.) e mapeamentos visuais específicos (para representar individualmente demandas de deslocamento, variação temporal, etc.), elas apresentam um potencial maior de serem expressivas para a exploração e o entendimento de padrões do que visualizações com tais características separadas.

## **Abordagem de Avaliação de Usabilidade de Visualizações de Matriz OD**

---

Interfaces que possuem como base a Visualização de Informações permitem uma melhor clareza em sua organização, logo proporcionam uma melhor representação dos dados e de seus relacionamentos. Tal benefício concede uma visão geral, permitindo ao usuário uma adequada interpretação das informações. O ideal em várias ferramentas de exploração de dados baseada em Visualização de Informações é que a VI ocupe a maior parte da tela, até porque é preciso um espaço significativo para apresentar visualmente os dados. O interesse por VIs interativas é também grande e tem-se buscado formas de interação que sejam mais naturais e diretas sobre a própria visualização, com o usuário interagindo com elementos dentro das mesmas, mais do que usando painéis de controle externos. Isso tem feito com que as visualizações se mesquem aos sistemas subjacentes e se tornem as próprias interfaces gráficas. Além disso, várias abordagens de avaliação de VIs usam os mesmos métodos e testam os mesmos parâmetros de interesse dos testes de usabilidade clássicos como, por exemplo, o tempo para o usuário realizar uma determinada ação, a facilidade de aprendizado e de memorização dos elementos da interface e a taxa de erros cometidos pelo usuários na execução de tarefas, como descrita na Seção 2.3. Assim, para a finalidade da presente tese e para a discussão neste capítulo, considera-se que as visualizações de matrizes OD e de dados correlatos do tráfego urbano são as próprias interfaces gráficas, com os métodos de avaliação de usabilidades discutidos previamente válidos para avaliar também as mesmas.

Este capítulo apresenta, portanto, uma abordagem alternativa de avaliação de visualizações voltadas ao cenário do tráfego urbano, em especial para matrizes origem-destino, que combina técnicas de avaliação de usabilidade bem conhecidas em uma sequência adaptada de etapas. A seguir, será discutida a abordagem de avaliação e os detalhes de cada uma de suas etapas. A abordagem proposta tem como intuito não apenas ajudar na avaliação de visualizações mas também fornecer orientações que auxiliem na criação de visualizações mais efetivas e interativas de matrizes OD no cenário do tráfego urbano. A aplicação da abordagem é ilustrada ainda neste capítulo, para a avaliação e

a comparação de algumas das visualizações descritas no Capítulo 5. Por fim, alguns aspectos gerais da proposta de avaliação são sumarizados em uma seção de discussão.

## 6.1 Descrição da abordagem

Construir visualizações que apresentem um maior grau de usabilidade depende de vários fatores, tais como técnicas de avaliação, participação do usuário, conhecimento técnico, metodologias, entre outros [88, 55, 165].

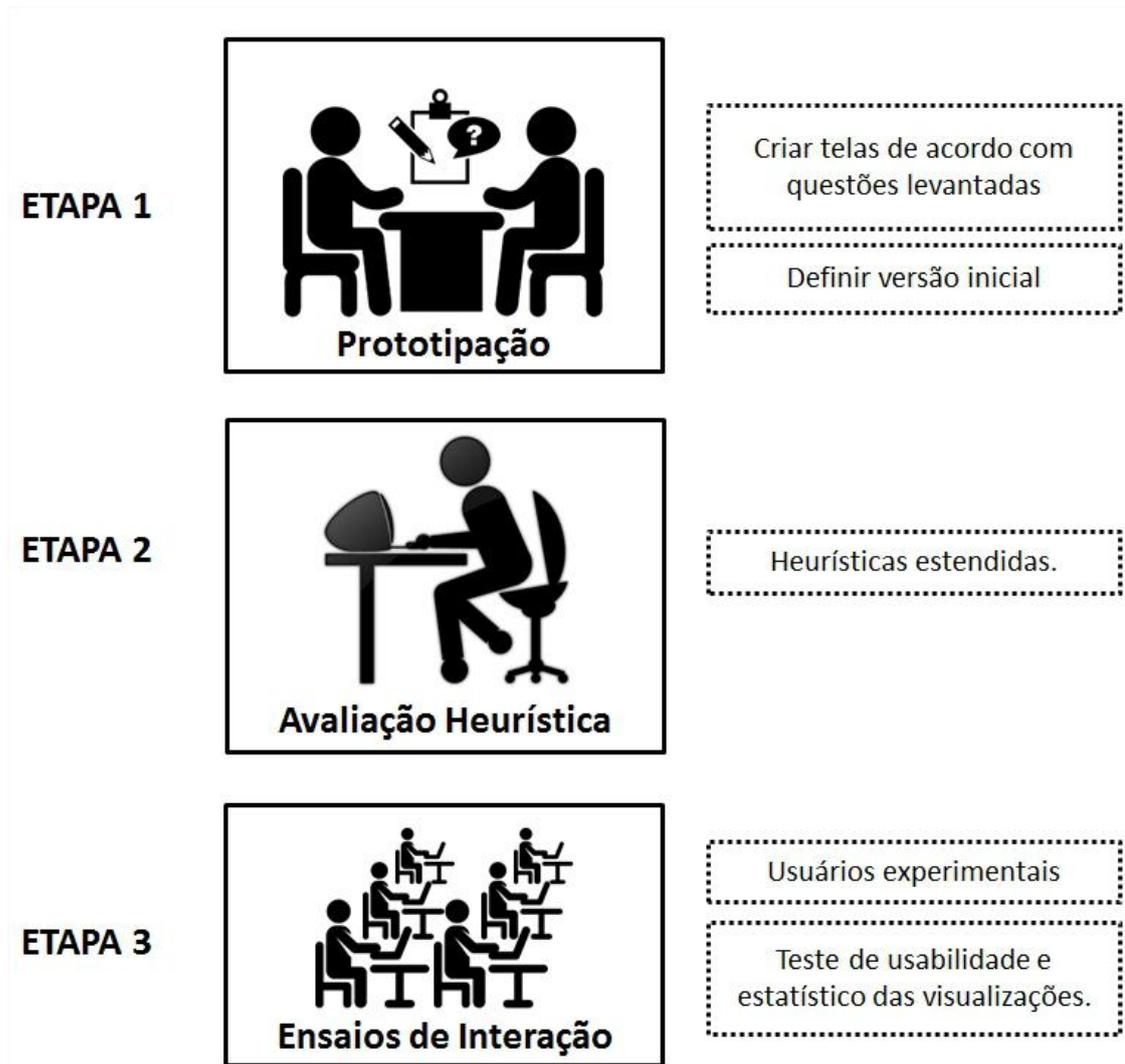
Conforme discutido na seção 2.3, utilizar somente uma técnica de avaliação de usabilidade não necessariamente garante resultados satisfatórios e confiáveis [52], pois cada técnica demonstra ser mais adequada ou inadequada para um tipo de problema, de necessidade e de característica das interfaces [151]. Logo, para se obter uma efetiva avaliação, deve-se combinar diferentes métodos e técnicas. Nesse sentido, propõe-se aqui a integração de três técnicas de avaliação de usabilidade – a prototipação em papel, a avaliação heurística e o ensaio de interação – em uma sequência de etapas adequadamente modificadas para atender a demanda por um processo de avaliação de visualizações de matrizes OD e de outros dados associados, no cenário do tráfego urbano. A abordagem proposta é ilustrada na Figura 6.1. Escolheu-se essas três técnicas de avaliação, dentre outras, pelos seguintes motivos:

- são encontradas na literatura em diversas áreas [165];
- são compostas por testes relativamente baratos;
- são compatíveis com o problema apresentado;
- permitem validar requisitos no início do projeto (na prototipação);
- possibilitam identificar problemas de usabilidade antes da construção do sistema (na prototipação);
- permitem a criação e a utilização de heurísticas específicas <sup>1</sup> para uma melhor compreensão do domínio do problema;
- demandam poucos especialistas em interface.

Cada etapa do processo de avaliação é iterativa e incremental, com algumas melhorias na visualização e em seus requisitos podendo ser realizadas antes mesmo de se avançar para as próximas etapas. Para isso, o primeiro passo visa compreender o problema no início da codificação. A prototipação em papel fornece meios pelos quais o desenvolvedor/*design* avalie as informações elicitadas. Todavia, sabe-se que a prototipação, neste momento, é restrita a um conjunto inicial de requisitos. Tais requisitos

---

<sup>1</sup>O termo “heurística específica” está relacionado a critérios típicos da natureza do problema. Ou seja, ela não necessariamente se aplica a outras situações.



**Figura 6.1:** Abordagem proposta para avaliação de visualizações de Matrizes OD e de dados do tráfego associados.

tendem a evoluir e conseqüentemente se tornar novas funcionalidades. A segunda etapa está relacionada à utilização de heurísticas, elaboradas a partir de problemas enfrentados em diferentes trabalhos da área (Capítulos 3 e 5). Nesta etapa, uma avaliação heurística permite analisar a visualização frente aos requisitos e as orientações específicas para a apresentação visual de matrizes OD e os demais dados do tráfego para a construção de boas interfaces gráficas. Por fim, há os ensaios de interação. Esta técnica possibilita a avaliação de aspectos específicos de uma ou mais visualizações, inclusive permitindo uma comparação entre as mesmas, através do envolvimento de usuários experimentais em um conjunto de tarefas simulando situações reais de uso do sistema.

Cada etapa da abordagem é descrita a seguir. Antes da execução da primeira etapa, contudo, o desenvolvedor deve dialogar com os usuários e conhecer a natureza do problema, levantando os possíveis requisitos e discutir diferentes formas de interação. O

número de encontros pode variar de acordo com nível de detalhamento das funcionalidades. Para esse processo, pode-se utilizar diferentes técnicas de Elicitação de Requisitos. Neste caso, sugere-se aqui o uso de entrevistas e de *brainstorming*.

### 6.1.1 Prototipação em Papel

A execução da prototipação em papel segue o modelo discutido na seção 2.3.1. Abaixo, tem-se algumas considerações para cada passo.

- **Preparação** – ao se levantar os requisitos, deve-se escolher as funcionalidades que apresentem uma maior maturidade e que sejam livres de conflitos. O motivo é que, ao longo do tempo, os envolvidos conheçam mais sobre o problema e assim esclareçam requisitos pouco compreendidos. Ao selecionar os requisitos, o desenvolvedor deve criar os protótipos em papel. Uma boa dica, neste passo, é realizar a impressão de itens que possuam uma maior complexidade de se desenhar (por exemplo, mapas), logo em seguida inserir a personalização. Neste momento, deve-se listar possíveis interações do usuário com a interface, por exemplo: selecionar itens, usar filtros, trazer dados, etc. Outro ponto importante a se observar é na escolha do local para a aplicação do teste. É de suma importância que o usuário esteja em um ambiente controlado e que não sofra nenhuma intervenção externa. Por fim, deve-se registrar a interação, pois servirá de consulta futura. Tal registro pode ser realizado através de vídeo e/ou áudio.
- **Coleta dos dados e Interpretação** – tal passo é o momento pelo qual o usuário interage com a visualização. É aconselhável que dois desenvolvedores trabalhem nesse momento. Um atuará como um “computador”, simulando a execução das telas e as interações com o usuário, enquanto o outro, identifica os problemas ocorridos. Pequenas melhorias podem ser adicionadas diretamente ao papel.
- **Consolidação dos resultados** – uma vez encontrado um problema, deve-se identificar o seu grau de severidade (pequena, média e grande) e definir uma possível solução.
- **Relato dos resultados** – deve ser elaborada uma lista de problemas encontrados juntamente com suas sugestões de correção.

### 6.1.2 Avaliação Heurística

O processo de avaliação heurística é o mesmo definido por Nielsen *et al.* [127], que se encontra na Seção 2.3.1. Abaixo, tem-se detalhes sobre cada atividade.

- **Preparação:** preliminarmente, deve-se reunir as boas práticas a respeito de visualizações sobre o tráfego urbano. Para isso, é recomendado que haja uma análise dos

requisitos gerados pelos *stakeholders* do sistema e de possíveis trabalhos relacionados na área.

Entretanto, deve-se ressaltar, ao leitor, que as heurísticas aqui propostas estendem a sua definição original (no conceito de Usabilidade). Dentre os critérios contidos nas heurísticas, há a existência de requisitos funcionais desejáveis para as visualizações voltadas ao cenário do tráfego urbano. Tal extensão é causada pelo compartilhamento de critérios desejáveis para ambas as áreas. A eficiência de uma visualização e os aspectos de usabilidade de interfaces partilham, em muitas das vezes, os mesmos fundamentos. Por exemplo, exigir um menor tempo no aprendizado, demandar um menor esforço para executar ações, reduzir a chance de se causar erros, etc. Porém, a decisão de se estender o conceito original das heurísticas se dá pelos seguintes motivos:

- **simplificar a avaliação:** sabe-se que dentro da Engenharia de *Software* há um processo específico para verificação e validação de requisitos. Neste contexto, resumidamente, espera-se que o *software* atenda a sua especificação e as necessidades do cliente. Porém, sabe-se que a execução deste processo é por si só bastante complexa, pois exige a aplicação de testes (por exemplo, no modelo V - Engenharia de *Software*), bem como de inspeções. Pensando nisto, a heurística proposta agrega um conjunto de requisitos básicos (conforme o Capítulo 5) em sua composição a fim de reduzir a complexidade de verificar possíveis requisitos. Com a adição desse passo, fica a cargo do avaliador validar tais requisitos. Ou seja, o próprio avaliador inspecionará a visualização analisando não só as regras comuns a interfaces, mas também aos seus requisitos básicos. É certo que tal iniciativa não cobriria por completo todo o processo de verificação e validação dos requisitos, mas ao menos haveria a possibilidade do avaliador conhecer os principais requisitos desejados e as boas práticas de usabilidade em um só local.
- **centralizar conceitos:** poderia-se criar duas listas, uma contendo a heurística definida na Usabilidade, bem como uma outra lista contendo somente os requisitos essenciais para a construção de visualizações de matrizes ODs. Todavia, a avaliação de cada lista deveria seguir os critérios definidos em cada área (Engenharia de *Software*/Usabilidade). Ou seja, haveria um acréscimo na complexidade de se avaliar/verificar a visualização, inviabilizando a aplicação da mesma. Logo, incorporar tais conceitos, distintos, em uma única lista poderia atenuar tal problema.
- **incorporar recursos das heurísticas à validação de requisitos:** a própria Engenharia de *Software* prega que a verificação e validação de requisitos são basicamente compostas por testes e pela inspeção. Esta última está em con-

sonância a técnica de avaliação heurística, pois ambas apresentam processos semelhantes.

Uma vez definida as boas práticas, deve-se escolher o número de especialistas para a aplicação da inspeção. De acordo com Nielsen *et al.* [127], é exigido de três a cinco avaliadores.

- **Coleta de dados:** por meio de ferramentas *web*, tais como *GoogleDocs*, *Hangout*, *Skype*, *Camtasia*, etc. É possível registrar as interações de cada avaliador com as visualizações. Tal procedimento permite observar as interações e ponderações do próprio avaliador e, assim, posteriormente, analisar os dados registrados, bem como verificar se o avaliador possui ou não conhecimentos necessários para avaliar.
- **Interpretação:** Previamente, deve-se informar ao avaliador o que ele terá que verificar e como funciona a visualização. Logo, a partir desta premissa, o avaliador deve percorrer a visualização e verificar as violações das heurísticas e registrar os problemas identificados, exigindo os seguintes dados – local onde ocorre o problema (indicar o nome da visualização e a ação executada), a descrição (o que ocorreu), diretriz(es) violada(s), por meio da numeração do item (qual diretriz tal problema violou), gravidade do problema e recomendações de solução. A ponderação de gravidade é definida por Nielsen *et al.* e a mesma está registrada na seção 2.3.1.
- **Consolidação dos resultados:** reavaliar a lista de problemas, conforme registra o item anterior, com o objetivo de validar sua relevância e gravidade.
- **Relato dos resultados:** gerar um conjunto de relatórios, neste caso, uma tabela contendo o resumo de cada avaliador por visualização.

A heurística específica desenvolvida possui 45 itens de avaliação e é composta hierarquicamente por 11 critérios. Logo abaixo, têm-se o detalhamento da mesma juntamente com uma breve descrição. Além disso, após a descrição de cada heurística, tem-se o conjunto de perguntas (identificadas no Capítulo 5) associadas.

## 1 COMPLEXIDADE COGNITIVA

### 1.1 Auto explicação:

#### 1.1.1 A visualização deve possuir ícones, animações ou descrições que facilitem o entendimento dos comandos, das entradas e das ações.

**Descrição:** *A visualização deve ser intuitiva como um todo, sempre que possível. Os ícones ou as animações devem refletir exatamente o que as ações representam. Todos os campos podem conter exemplos de como se espera a entrada de dados, por exemplo: hh:mm:ss, nome da cidade, intervalo de valores, etc. Em sistemas mais complexos, deve-se guiar o usuário através de destaque em botões e campos a fim de*

*identificar o próximo passo esperado para a realização de uma tarefa. Pode-se incluir um quadro resumo indicando as principais operações e comandos, caso necessário. Para usuários avançados familiarizados com o sistema, poderá ser permitido pular a apresentação da visualização, caso utilize animações ou vídeos.*

**Perguntas associadas:** P09 e P13.

#### 1.1.2 O entendimento da VI deve ser adequado para o usuário alvo.

**Descrição:** *A visualização deve ser desenvolvida de acordo com o usuário esperado.*

**Perguntas associadas:** P13.

### 1.2 Complexidade, Disposição e Ordem

#### 1.2.1 A visualização deve utilizar convenções do mundo real e exibir informações seguindo uma lógica natural. Quanto mais palpável e próximo do mundo real, mais fácil será sua compreensão. Todos os itens que possuem algum tipo relacionamento (associação, hierarquia, conjunto de dados semelhantes, etc.) devem ser mantidos próximos.

**Descrição:** *Quanto mais próximo ao mundo real for a visualização, menor será a complexidade de explicá-la ou documentá-la. Sempre que possível, agrupe os itens de acordo com um critério de relacionamento.*

**Perguntas associadas:** P09, P12 e P13.

Exemplos de convenção do mundo real: colônia de formigas, fluxo sanguíneo, dinâmica do movimento de fluidos, etc.

#### 1.2.2 A metáfora utilizada não deve exigir uma carga de trabalho excessiva.

**Descrição:** *Deve-se reduzir a carga de trabalho do usuário minimizando o número de ações e a qualidade de entradas para a realização de uma tarefa. Se possível, o sistema deve dar sugestões de preenchimento ou saltos nas etapas de acordo com dados inseridos anteriormente ou com base em algum padrão de dados previamente definido.*

**Perguntas associadas:** P09.

#### 1.2.3 Os tipos de dados devem obedecer os critérios (posição e ordem) definidos por Card e Mackinlay (nominais, cardinais e ordinais). Esta regra auxilia o usuário a identificar qual é o melhor mapeamento visual a se utilizar de acordo com o tipo de dado. (Seção 2.2)

**Descrição:** *Os atributos dos dados devem ser associados aos atributos dos marcos visuais em uma ordem que satisfaça a percepção humana. Os critérios definidos por Card e Mackinlay auxiliam na identificação dos limites da percepção do usuário quanto ao uso dos diversos recursos na visualização. Deve-se também posicionar esses atributos de forma*

*adequada de acordo com o grau de importância do dado, pois quanto mais importante for o dado, maior deve ser o destaque do mesmo.*

**Perguntas associadas:** P09.

**1.2.4 A visualização deve permitir a pesquisa de informações visuais essenciais a fim de facilitar a compreensão e a identificação de padrões.**

**Descrição:** *Para facilitar a identificação de itens em um conjunto numeroso de informações deve-se permitir a realização de buscas e filtros entre os dados disponíveis.*

Por exemplo: Caso exista a exibição de inúmeras ruas com congestionamento, pode-se selecioná-las através de uma pesquisa por nome ou algum outro critério específico, como um intervalo de valores ou categorias de densidade volumétrica de congestionamento.

**Perguntas associadas:** P07, P09 e P13.

**1.2.5 A visualização deve permitir a ordenação de informações visuais essenciais a fim de facilitar a compreensão e a identificação de padrões.**

**Descrição:** *Sempre que possível, a visualização deverá permitir a ordenação de informações.*

Por exemplo: em uma representação tabular, o usuário poderá ordenar os valores de forma crescente ou decrescente.

**Perguntas associadas:** P09.

**1.3 Densidade de Informações**

**\* Oclusão de objetos**

**1.3.1 O número de objetos sobrepostos deve ser minimizado com o auxílio de filtros ou zoom de acordo com seu escopo.**

**Descrição:** *A oclusão de objetos é um dos principais problemas em uma visualização. Para isso, deve-se permitir que o usuário identifique as regiões de oclusão e minimize-as com o auxílio de filtros ou rotação da imagem.*

Por exemplo, em uma visualização 3D, o usuário pode rotacionar a imagem ou manipular o nível de *zoom* para obter uma melhor perspectiva. Por outro lado, com o uso de filtros, o usuário poderá reduzir o número de informações exibidas na tela.

**Perguntas associadas:** P09 e P13.

**1.3.2 A visualização deve informar ao usuário o número de objetos sobrepostos. Esta informação assegura que o usuário não estará interpretando dados de forma equivocada.**

**Descrição:** *Caso não seja possível minimizar o número de objetos sobrepostos, conforme o item anterior, deve-se ao menos informar*

*de maneira aproximada a quantidade de sobreposições. Uma outra alternativa é dar destaque aos itens que se encontram aglomerados. O destaque indica que naquela região o usuário não está observando apenas um item, mas sim vários itens na mesma posição.*

Por exemplo: seja uma região no mapa onde exista diversos itens em uma mesma posição. Para evitar uma má interpretação, pode-se dar destaque (aumentar, colorir e intensificar) a este ponto a fim de diferenciá-lo dos outros que possuam apenas um registro.

**Perguntas associadas:** P09 e P13.

**1.3.3 O número de informações a serem mostradas não deve ser demasiadamente grande. Caso seja realmente necessária a inclusão de inúmeras dimensões de dados, deve-se criar visualizações agregadas.**

*Descrição: Quanto maior o número de informações em uma mesma visualização, maior será sua complexidade de desenvolvimento e menor será sua compreensão. Logo, visualizações agregadas podem reduzir a complexidade de uma visualização principal, ou seja, distribui-se a complexidade para as demais visualizações.*

**Perguntas associadas:** P09, P11 e P13.

**\* Destacar informações relevantes**

**1.3.4 A visualização deve, por padrão, esconder informações irrelevantes, dando maior destaque a informações alvo.**

*Descrição: O destaque deverá ser feito de acordo com o interesse do usuário. Por exemplo: se o usuário deseja selecionar ruas que possuam congestionamentos, de nada adianta exibir ruas que não possuem tráfego pesado. Para isso, pode-se utilizar a transparência ou a eliminação de tais informações.*

**Perguntas associadas:** P09 e P13.

**1.4 Multi-representação Visual**

**\* Transição entre as múltiplas representações visuais**

**1.4.1 No uso de múltiplas representações visuais agregadas, deve-se haver uma transição suave, sem grandes perdas de informações ou que não exija uma memorização significativa por parte do usuário de uma visualização para outra.**

*Descrição: Caso exista a figura de uma visualização agregada, deve haver uma transição suave para a visualização principal e vice-versa. O termo suave está se referindo à capacidade de se interagir sem perda de dados ou informações visuais na troca de visualizações. Por exemplo, ao se transitar de um mapa para outro, deve haver uma*

transição que não seja muito lenta ou muito rápida, pois o cérebro humano somente consegue perceber uma mudança dentro de uma faixa limitada de tempo e de intensidade/quantidade. Caso contrário, é impossível se notar tal mudança.

**Perguntas associadas:** P09 e P10.

**1.4.2 A visualização deverá permitir interação unidirecional ou bidirecional entre as representações agregadas.**

**Descrição:** *A interação poderá ser unidirecional ou bidirecional. Caso seja unidirecional, somente existirá a interação na visualização principal, enquanto as agregadas apenas refletirão a alteração feita. Já na interação bidirecional, o usuário poderá interagir com todas as visualizações e seu efeito será em cascata.*

**Perguntas associadas:** P09 e P10.

**\* Relacionamento Lógico**

**1.4.3 A metáfora utilizada para complementar uma visualização principal já existente deverá seguir uma linha lógica simples. Representações visuais complementares, isto é, agregadas a uma visualização principal, devem sempre possuir um grau de complexidade menor que o da principal.**

**Descrição:** *O objetivo das visualizações agregadas é reduzir a complexidade da representação principal. Cada visualização deveria ter sua própria responsabilidade, ou seja, ao aumentar o número de informações em uma visualização, novas representações podem ser criadas.*

**Perguntas associadas:** P09 e P10.

## **2 Exibição de Pares OD**

**2.1 A visualização deve exibir, de forma diferente, os marcadores dos respectivos pares OD.**

**Descrição:** *Deve-se diferenciar os marcadores de origem, destino e origem/destino. Eles podem ser distinguidos por meio de símbolos ou cores diferentes. Entretanto, a interface deve oferecer recursos, como uma legenda, para facilitar a identificação. As zonas de origem e destino podem variar desde pequenos pontos no mapa até bairros inteiros.*

**Perguntas associadas:** P02.

**2.2 Quando não houver a exibição do caminho (rota) alocado entre os pares OD, deve-se ao menos indicar a sua relação.**

**Descrição:** *às vezes, o caminho (rota) traçado entre os pontos OD não é*

*importante para uma determinada visualização, mas pelo menos, deve-se conectar tais pontos por meio de uma reta ou destacar os mesmos a fim de facilitar a identificação dos pares ODs.*

**Perguntas associadas:** P02 e P06.

- 2.3 **Deve ser possível selecionar pontos de interesse de acordo com sua classificação, por exemplo, escolas e hospitais.**

**Descrição:** *A visualização deve possuir filtros de pontos de interesse. Esta seleção facilita a identificação de padrões de acordo com a classificação, como, por exemplo, visualizar congestionamentos próximos de escolas.*

**Perguntas associadas:** P02 e P07.

- 2.4 **A representação deve permitir a exibição de múltiplos caminhos entre os pares OD.**

**Descrição:** *Uma origem pode estar associada a apenas um destino ou a vários destinos. Esta regra também é recíproca para os destinos.*

**Perguntas associadas:** P06 e P07.

- 2.5 **A visualização deve permitir que haja a possibilidade de associar os pares OD a motivos de viagem.**

**Descrição:** *Os pares OD são definidos por algum motivo (razão de deslocar-se). Tal informação pode ser útil na observação de padrões. Por exemplo, em um determinado horário há predominância de deslocamentos entre casa e academia, etc.*

### 3 Exibição de fluxos

- 3.1 **A visualização deve permitir que o fluxo de veículos seja exibido, podendo este ser orientado ou não orientado e com suporte unimodal ou multimodal de transporte.**

**Descrição:** *É interessante visualizar o sentido do fluxo por intermédio de uma animação, vídeo ou via gradação e intensidade de cor no caminho. A distinção de quais meios de transporte existem no fluxo é fundamental. Caso o fluxo seja unimodal não há a necessidade de informar o tipo de veículo, mas quando a visualização der suporte a multimodalidade os tipos de veículos devem ser representados. Pode-se também representar a modalidade de forma simplificada, através do tipo de transporte predominante no fluxo ou caminho em questão.*

**Perguntas associadas:** P01, P02, P04, P05, P06, P08, P09 e P12.

- 3.2 **Deve ser possível identificar quais pares OD contribuem e em que proporção para o fluxo em determinada via de tráfego.**

**Descrição:** *A visualização deve permitir identificar quais pares OD contribuem na formação de um fluxo ou caminho. Por exemplo: ao selecionar um*

*determinado fluxo ou caminho os pares OD que colaborem em sua formação devem ser destacados juntamente com a respectiva porcentagem de contribuição ou outro tipo de informação equivalente. Este recurso facilita visualizar quais pares OD são responsáveis pela formação de um congestionamento.*

**Perguntas associadas:** P01, P02, P04, P05, P06, P08 e P12.

\* **Zonas de estrangulamento**

**3.3 A visualização deve destacar zonas ou vias de estrangulamento do tráfego (engarrafamento). Isso pode ser feito com o auxílio de filtros de áreas/zonas, de acordo com uma escala de tráfego, através da qual pode ser possível selecionar valores de congestionamento mínimo e máximo.**

**Descrição:** *A visualização deve, apresentar com um destaque zonas de estrangulamento (congestionamento) e permitir a seleção ou filtragem por região ou zona e por grau de intensidade do congestionamento. Uma métrica para se identificar se há ou não um estrangulamento seria a comparação da velocidade. Caso a velocidade do tráfego atual seja inferior à metade da máxima permitida há uma grande probabilidade de ocorrer um congestionamento.*

**Perguntas associadas:** P01, P02, P04, P05, P06 e P08.

\* **Volume de veículos**

**3.4 A representação visual deve permitir a contabilização do número de veículos por agrupamentos como zonas, caminhos ou arcos. Descrição:**

*O número de veículos também deve ser representado na visualização, podendo ser por intermédio de espessura, coloração, altura, intensidade, etc. Deve ser possível também aplicar filtros em regiões pela quantidade de veículos.*

**Perguntas associadas:** P01, P02, P06, P07 e P08.

\* **Modelo de tráfego**

**3.5 A visualização deve possuir suporte a pelo menos um destes modelos de tráfego: micro, meso e macroscópico. Para cada modelo, a visualização deverá ter um comportamento diferente, pois, em um momento, deve se concentrar no condensamento e, em outro, com o espalhamento dos dados.**

**Descrição:** *A visualização deve deixar claro qual modelo está representando no momento proporcionalmente caso utilize mais de um.*

**Perguntas associadas:** P01 e P08.

**3.6 Caso a visualização dê suporte a mais de um modelo de tráfego, deve ser criada uma animação de transição entre os modelos.**

**Descrição:** às vezes, é necessário comparar as informações entre os modelos de tráfego. Para isso, deve-se criar uma transição que exija o mínimo de memorização do usuário e seja de fácil compreensão.

**Perguntas associadas:** P01 e P08.

#### 4 Organização Modal

- 4.1 A representação deve permitir a visualização e a quantificação dos diferentes tipos de transporte em regiões, áreas e zonas.

**Descrição:** A exibição de diferentes tipos de transporte é importante quando a modelagem é multimodal. Uma área de interesse pode conter informações distintas para os diferentes tipos de transporte. Por este motivo a visualização deve permitir a seleção de áreas e regiões de acordo com o tipo de transporte e o número de veículos.

**Perguntas associadas:** P01, P02 e P04.

- 4.2 A visualização deve permitir a filtragem, inclusão e exclusão dos diferentes modos de viagem.

**Descrição:** O usuário pode selecionar quais são os tipos de transporte vão compor a visualização. Para isso, é importante que o usuário consiga configurar as modalidades de transporte desejadas.

**Perguntas associadas:** P01, P02, P04 e P07.

#### 5 Organização geo-espacial

##### \* Localização Geoespacial

- 5.1 Os marcadores (pontos OD) devem ser fixados de acordo com a posição geográfica e o mapa deve conter detalhes suficientes para que o usuário identifique a localidade em questão. A visualização deve apresentar as informações sem perda de contexto geoespacial.

**Descrição:** É de suma importância que os pontos ou marcadores OD sejam realmente representados geograficamente (quando se utilizar mapas). Este mapa também deve permitir interações como zoom e panorama de regiões de interesse. Quanto mais detalhes o mapa contiver, mais fácil será identificar a região de estudo, por exemplo: cidades, bairros, ruas, etc. Caso o mapa seja uma imagem, deve-se mapear as coordenadas geográficas para as coordenadas do plano "x,y" e vice-versa.

**Perguntas associadas:** P02, P05 e P12.

#### 6 Organização temporal

##### \* Comparação

- 6.1 A visualização deve possibilitar a percepção e a comparação da varia-

**ção dos dados ao longo do dia e em dias de semana diferentes (segunda a sexta, finais de semana, feriados, etc.)**

**Descrição:** *O trânsito é dinâmico e, por este motivo, deve-se possibilitar observar os dados (como demandas de deslocamento e fluxos nas vias.) ao longo do dia e dos dias da semana. Esse tipo de ação possibilita observar padrões ao longo de um período e facilita a comparação dos mesmos.*

**Perguntas associadas:** P01, P02 e P03.

\* **Definição da escala temporal**

**6.2 A visualização deve definir uma escala temporal (minutos, horas, dias, etc.) dos dados apresentados.**

**Descrição:** *É importante deixar claro qual escala de tempo está se utilizando no momento e informar de que data e hora os dados foram obtidos.*

**Perguntas associadas:** P01, P02 e P03.

## **7 Exploração de alternativas de melhoria do tráfego**

\* **Suporte a *feedback* sobre problema do tráfego**

**7.1 A visualização deve permitir comparações entre a situação do tráfego atual com a anterior.**

**Descrição:** *A visualização deve permitir que o usuário realize comparações da situação atual com alguma outra visualização gerada anteriormente ou armazenada no histórico, na qual houve variação na demanda de deslocamento ou na estrutura da malha viária.*

**Perguntas associadas:** P01, P02, P03, P04, P06 e P07.

\* **Geração de relatórios e exportação de dados**

**7.2 A visualização deve permitir a geração de relatórios ou a exportação de dados.**

**Descrição:** *Os dados podem ser exportados por algum padrão (por exemplo, JSON, XML, TXT, CSV, etc.) e deve-se possibilitar a geração de relatórios e gráficos para exibição. Tal ação pode permitir a comunicação entre os diferentes tipos de sistemas.*

**Perguntas associadas:** P13.

\* **Inserção de comentários e suporte a multiusuários**

**7.3 É desejável que a visualização permita que os usuários realizem comentários na própria ferramenta e possibilite o compartilhamento por projetos e grupos.**

**Descrição:** *É bastante comum que várias pessoas trabalhem na melhoria do trânsito, por isso a visualização deve ter suporte a multiusuários (compartilhamento de projetos e de comentários).*

**Perguntas associadas:** P07 e P13.

\* **Suporte à estatística**

7.4 **A visualização deve permitir a sumarização de dados como médias e somatórios.**

**Descrição:** *Sempre que possível, a visualização deve sumarizar os dados em alguma parte da tela com o número de pares OD observados, número de pares OD selecionados, quantidade total de veículos em observação, modos de viagem e suas porcentagens na composição do tráfego, horário do dia, etc.* **Perguntas associadas:** P13.

## 8 Interação

8.1 **A visualização deve possuir, de acordo com a necessidade, interações que permitam a seleção, a filtragem, a ampliação ou redução e o detalhamento entre outras ações. A interação também pode ser disponibilizada por diferentes dispositivos de entrada, como telas sensíveis ao toque e dispositivos de reconhecimento corporal.**

**Descrição:** *A interação é de grande importância em uma visualização, por isso a representação visual deverá facilitar ao máximo as operações do usuário. Shneiderman (seção 2.4) definiu uma taxonomia indicando as principais tarefas que o usuário pode realizar sobre uma visualização.*

**Perguntas associadas:** P07 e P13.

## 9 Ações e comandos

\* **Feedback imediato**

9.1 **Todas as ações adotadas em uma visualização devem resultar em uma resposta imediata.**

**Descrição:** *Deve haver preocupação com a velocidade e a qualidade das respostas. Ao executar determinada ação, o sistema deverá informar imediatamente que a mesma foi detectada, juntamente com o resultado de seu processamento.*

**Perguntas associadas:** P07 e P13.

9.2 **Os usuários deverão ser informados sobre o progresso do sistema em tempo razoável.** **Descrição:** *Para ações que exijam um tempo maior de resposta, deve-se informar, em estimativa, o tempo para o fim ou pelo menos a etapa em que se encontra.*

**Perguntas associadas:** P07 e P13.

\* **Histórico**

9.3 **A visualização deve guardar as ações dos usuários e as informações sem a necessidade de um novo preenchimento ou seleção.**

**Descrição:** às vezes, algumas tarefas exigem o preenchimento de inúmeros campos e uma série de passos. Para evitar um re-preenchimento dos dados anteriores, deve-se preservá-los em memória. Esse recurso é necessário, por exemplo, quando utilizando uma visualização de matriz OD para cadastrar vários pares origem-destino. Outra necessidade de um histórico é permitir acompanhar a evolução de uma visualização ou retroagir para uma configuração anterior dos parâmetros de representação visual e/ou dos dados cadastrados.

**Perguntas associadas:** P07 e P13.

9.4 **Através da ferramenta, pode ser criado um macro que automatize tarefas repetitivas.**

**Descrição:** O usuário pode executar tarefas repetitivas por várias vezes. É desejável que exista uma opção de macro que automatize essas tarefas. Ou seja, o usuário pode gravar a execução da tarefa uma única vez e executá-la sempre que necessário.

**Perguntas associadas:** P07 e P13.

\* **Controle das ações**

9.5 **Os usuários deverão ter o total controle sobre todas as ações da visualização.**

**Descrição:** às vezes, o usuário não deseja continuar uma ação solicitada. Para isso, deve ser possível ao usuário cancelar ou paralisar ações previamente acionadas.

**Perguntas associadas:** P07 e P13.

\* **Tratamento de erros e mensagens**

9.6 **Erros por entrada de dados devem ser verificados.**

**Descrição:** ao tratar os erros na entrada dos dados, reduz-se consideravelmente erros no processamento. Esta verificação deve ser inserida em campos e arquivos de entrada.

**Perguntas associadas:** P07 e P13.

9.7 **As mensagens de erros devem ser de fácil entendimento.**

**Descrição:** Ao ocorrer algum tipo de erro, uma mensagem amigável e de fácil entendimento deve ser exibida. Esta mensagem deve auxiliar o usuário a reparar ou informar o erro cometido. Por exemplo,

*quando há a inserção do ano com apenas dois dígitos.*

**Perguntas associadas:** P07 e P13.

\* **Atalhos**

9.8 **A aplicação deve permitir a utilização de atalhos para usuários avançados.**

**Descrição:** *A visualização deve permitir que usuários avançados maximizem suas tarefas e gastem menos tempo. Atalhos são uma ótima opção para isso.*

**Perguntas associadas:** P07 e P13.

## 10 Padronização

\* **Significado**

10.1 **Ações ou representações de objetos devem possuir o mesmo significado em toda visualização.**

**Descrição:** *A visualização deve seguir um padrão para representar todos os dados. Por exemplo, se a coloração vermelha representa fluxo intenso, em outro local da visualização o mesmo padrão é esperado.*

**Perguntas associadas:** P07 e P13.

## 11 Documentação

\* **Ajuda**

11.1 **A visualização deve possuir alguma ajuda sobre os principais comandos e ações.** **Descrição:** a ajuda deve ser de fácil entendimento e de rápido acesso, fornecendo orientações sobre as principais funcionalidades existentes e perguntas frequentes.

**Perguntas associadas:** P07 e P13.

11.2 **Devem ser providas informações ou recursos para permitir contatar os responsáveis da visualização.**

**Descrição:** *Um serviço de atendimento ao usuário deve ser disponibilizado, com pelo menos um contato de e-mail e telefone e o responsável daquele módulo ou sistema.*

**Perguntas associadas:** P07 e P13.

### 6.1.3 Ensaios de Interação

Antes de realizar este procedimento, deve-se ter a autorização do Conselho de Ética da universidade ou outra instituição da qual o pesquisador faz parte. E para isso, é

necessário entrar no site do Plataforma Brasil <sup>2</sup> e preencher uma série de informações. Tal procedimento é obrigatório, pois se trata da execução de testes envolvendo seres humanos. Basicamente, haverá o preenchimento do escopo do teste, bem como da quantidade de participantes, custos e prazos. Uma vez submetido, a aprovação pode demorar de 3 a 6 meses.

Em sequência, o planejamento do teste de usabilidade baseia-se nos estudos de Rubin *et al.* [157]. E, para isso, deve-se saber responder ao menos as seguintes perguntas:

- qual é o público alvo? (deve-se escolher os participantes que compreendam IHC e se possível a natureza do problema.)
- o que deve ser avaliado? (quais são as características/funcionalidades da visualização que se deseja conhecer.)
- como será avaliado? (conforme o item anterior, pode-se utilizar de diferentes meios de se avaliar. Por exemplo, uso de questões dissertativas, verdadeiro ou falso, escala de *Likert*, dentre outros.)
- e o que fazer com os resultados? (identificar algum método que o auxilie a avaliar a visualização, por exemplo, cálculos estatísticos.)

Logo após a execução dos pré-requisitos, citados acima, aplica-se os seguintes passos:

- **pré-teste** – deve-se, neste momento, colher a assinatura dos envolvidos a fim de garantir a não divulgação e a autorização do uso das informações (Os documentos envolvidos neste processo devem ser impressos em duas vias.). Pode-se também, selecionar os participantes a fim de criar um público mais homogêneo ou dividi-los em grupos, caso ocorra a avaliação de várias visualizações. Não há necessariamente uma regra para definir a quantidade de participantes.
- **introdução à sessão** – explica-se aos participantes a sua importância, assim como o papel de cada um envolvido no teste.
- **apresentação das visualizações** – exige-se que os participantes tenham um conhecimento prévio a respeito das visualizações e dos termos técnicos. Para isso, deve elaborar uma apresentação contendo as principais funcionalidades e interações de cada visualização.
- **execução de lista de tarefas** – pode-se montar uma lista de ações que remeta as principais funcionalidades da visualização. Tal ação permite que os participantes se familiarizem com a visualização e execute suas tarefas. Uma boa dica é distribuir um quadro resumo com tais informações, pois o participante pode esquecer facilmente

---

<sup>2</sup><http://aplicacao.saude.gov.br/plataformabrasil/login.jsf>

do que foi dito na apresentação. As tarefas executadas devem, principalmente, auxiliar o participante a responder questões mais elaboradas na próxima etapa.

- **execução da avaliação** – executa-se a avaliação das visualizações e ao final de cada experimento, há o recolhimento de dados as taxas de erro e de acerto no uso da visualização, assim como as indicações sobre sua satisfação e eficiência.

Para a avaliação de usabilidade, sugere-se na presente tese o modelo de Lima *et al.* [119]. Esse é um teste formal que considera que a usabilidade está relacionada à média da eficácia, eficiência e satisfação. Abaixo, serão descritos os cálculos definidos por Lima *et al.*

- **Eficácia:** para avaliar a eficácia, utiliza-se de duas categorias: tarefas concluídas e tarefas não concluídas. O cálculo da taxa de eficácia é realizado através da divisão do número de usuários que concluíram a tarefa com êxito e o número total de usuários.

$$T_e = \frac{\sum TAR_c}{\sum TAR_n}$$

Onde,

$T_e$  é a taxa de eficácia;

$TAR_c$  é a quantidade de tarefas que foram concluídas com êxito (corretas);

$TAR_n$  é a quantidade de tarefas realizadas no teste.

- **Eficiência:** a unidade de tempo, expressa em segundos, é utilizada para avaliar o grau de eficiência com o intervalo das categorias (eficiência péssima, satisfatória, neutra, boa e ótima). Tais categorias são determinadas pelos tempos mínimo e máximo encontrados na realização das tarefas. Seu cálculo é descrito pelas seguintes fórmulas:

$$t_{md} = \sum t / \sum TAR$$

Onde,

$t_{md}$  é o tempo médio por tarefa realizada;

$t$  é o tempo gasto na execução de uma tarefa;

$TAR$  é a quantidade de tarefas concluídas no teste.

Logo,

$$T_f = 1 - \frac{t_{md}}{t_{mx} - t_{mn}}$$

Onde,

$T_f$  é a taxa de eficiência;

$t_{md}$  é a média de tempo;

$t_{mn}$  é o menor tempo gasto na execução das tarefas de todos os usuários;

$t_{mx}$  é o maior tempo gasto na execução das tarefas de todos os usuários.

- **Satisfação:** as categorias "péssima", "satisfatória", "neutra", "boa" e "ótima" são utilizadas para conhecer o nível de satisfação dos usuários. Para isso, considera-se a taxa resultante entre o somatório da taxa de satisfação do usuário pela quantidade de usuários participantes, utilizando como suporte a escala de *Likert*.

$$T_{su} = S_u / S_{mx}$$

Onde,

$T_{su}$  é a taxa de satisfação do usuário;

$S_u$  é a quantidade de satisfação de um usuário;

$S_{mx}$  é a satisfação máxima possível.

Logo, a taxa de satisfação é:

$$T_s = \frac{\sum T_{su}}{U}$$

Onde,

$T_s$  é a taxa de satisfação em relação a interface;

$T_{su}$  é a taxa de satisfação do usuário;

$U$  é a quantidade de usuários participantes do teste.

- **Usabilidade:** definida com base na média das três taxas das variáveis listadas. O nível de usabilidade terá valores entre 0 e 1, sendo definidos como:
  - Nível péssimo quando  $0 < \text{Usabilidade} \leq 0,25$ ;
  - Nível satisfatório quando  $0,25 < \text{Usabilidade} \leq 0,5$ ;
  - Nível bom quando  $0,5 < \text{Usabilidade} \leq 0,75$ ; e

– Nível ótimo quando  $0,75 < \text{Usabilidade} < 1$ .

$$T_{Us} = \frac{(T_e + T_f + T_s)}{3}$$

Onde,

$T_e$  é a taxa de efetividade;

$T_f$  é a taxa de eficiência;

$T_s$  é a taxa de satisfação.

Para finalizar a avaliação das visualizações, propõe-se o uso de testes estatísticos sobre a efetividade, eficiência e satisfação de cada visualização. Contudo, para uma escolha adequada de qual método estatístico utilizar, deve-se primeiramente observar os dados que estão em análise, tais como [138, 13, 67, 112]: tipos de dados (nominal, ordinal, quantitativo, discreto/contínuo), quantidade e distribuição estatística. Deve-se realizar também um tratamento dos dados (brutos) para a aplicação dos testes (Ensaio de Interação I e II), o que é detalhado a seguir.

Sobre a eficiência, aplica-se um cálculo de normalização de acordo com o tempo gasto de cada participante em relação ao contexto geral de cada visualização. O cálculo utilizado para gerar o novo valor de eficiência para cada questão é o seguinte:

$$T_{nor} = 1 - \frac{T_{gq}}{T_{maxt}}$$

Onde,

$T_{nor}$  é o tempo normalizado;

$T_{gq}$  é o tempo gasto na questão;

$T_{maxt}$  é o maior tempo gasto na avaliação por todos os participantes.

Por exemplo: o avaliador 2 levou 60 segundos para analisar a questão  $Q_2$  (conforme apresenta a Tabela 6.1). Porém, sabe-se que o maior tempo gasto na visualização é igual a 90 segundos (destaque em vermelho). Logo, aplicando-se a fórmula, tem-se:

$$T_{Q'2} = 1 - \frac{60}{90} = 0,333333$$

O valor de eficiência' de cada visualização será composto pelo somatório dos tempos normalizados de cada participante (conforme mostra a última coluna da Tabela 6.1 para eficiência').

**Tabela 6.1:** *Exemplo da composição de eficiência'*

Avaliador	Questões em segundos				Questões normalizadas				Eficiência'
	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	...	Q <sub>n</sub>	Q' <sub>1</sub>	Q' <sub>2</sub>	...	Q' <sub>3</sub>	
ava <sub>1</sub>	30	25	...	15	0,66667	0,72222	...	0,83333	2,22222
ava <sub>2</sub>	90	60	...	20	0	0,33333	...	0,77777	1,11111
ava <sub>3</sub>	45	15	...	30	0,5	0,83333	...	0,66667	2

Já a eficácia é obtida com base no somatório das questões respondidas com êxito (C–correta ou E–errada) por cada participante. Um exemplo é mostrado na Tabela 6.2, onde o avaliador 3 acertou somente uma alternativa.

**Tabela 6.2:** *Exemplo da composição da eficácia'*

Avaliador	Questões				
	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	...	Q <sub>n</sub>	Eficácia'
ava <sub>1</sub>	C	C	...	C	3
ava <sub>2</sub>	E	C	...	C	2
ava <sub>3</sub>	C	E	...	E	1

Por fim, para exemplificar a composição do cálculo de satisfação' é mostrada a Tabela 6.3 com alguns exemplos de avaliação, contendo itens em consonância com a escala de *Likert*, onde os valores podem variar de 1 a 5.

**Tabela 6.3:** *Exemplo de valores definidos pela escala de Likert.*

Avaliador	Questões			
	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	...	Q <sub>n</sub>
ava <sub>1</sub>	1	5	...	3
ava <sub>2</sub>	2	4	...	5
ava <sub>3</sub>	4	5	...	2

De acordo com o exemplo da Tabela 6.3, os dados de satisfação são obtidos pelo somatório de ocorrências de cada faixa da escala de *Likert*. Por exemplo, a faixa 5 da escala de *Likert* foi encontrada em três respostas (conforme o exemplo da Tabela 6.3). A composição da satisfação' está relatada na Tabela 6.4.

**Tabela 6.4:** *Exemplo da composição da satisfação'*

Escala Likert	Satisfação'
1	1
2	2
3	1
4	2
5	3

Com o objetivo de auxiliar na aplicação dos testes, pode-se utilizar algum *software*. No caso das avaliações nesta tese, adotou-se o *software* "R"<sup>3</sup> [112].

## 6.2 Exemplo de Uso da Abordagem de Avaliação da Usabilidade Proposta

A presente seção tem como objetivo demonstrar a aplicação da proposta de avaliação de usabilidade, descrita nas seções anteriores, e os resultados alcançados. A apresentação desta seção segue a ordem das etapas definidas na proposta.

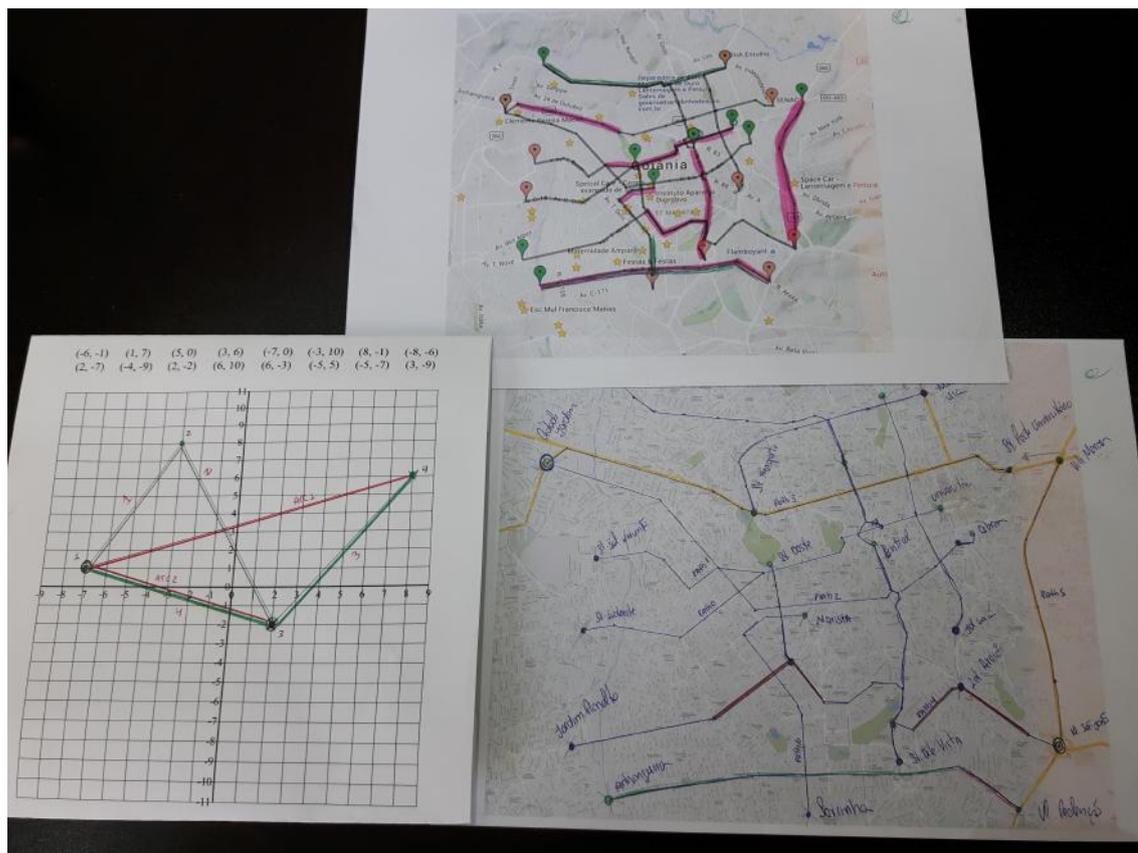
### 6.2.1 Prototipação em Papel

Conforme discutido nos Capítulos 3 e 5, os requisitos e as questões levantadas ajudaram na criação de diversas visualizações. Entretanto, as visualizações descritas a seguir serão restringidas apenas às últimas quatro visualizações propostas no Capítulo 5 para a análise da usabilidade. O motivo de se criar as visualizações para o teste está relacionado a liberdade de se avaliar, podendo os avaliadores tecerem opiniões críticas sobre as mesmas sem nenhum atrito com autores de outros trabalhos. Um outro fator a ser considerado é que nem sempre as visualizações, de outros autores, estão disponíveis para a manipulação.

No entanto, as avaliações propostas ocorreram em tempos espaçados e o pessoal envolvido na avaliação dessas visualizações está contido no grupo de pesquisadores do *PetGyn* e engenheiros de tráfego urbano. A seguir é apresentada uma breve descrição da primeira versão (Figura 6.2) de cada visualização. Logo após, um resumo dos resultados das críticas e sugestões de cada uma dessas visualizações será expresso em tabelas.

---

<sup>3</sup><https://www.r-project.org/>



**Figura 6.2:** Alguns exemplos dos protótipos criados em papel.

A primeira visualização a receber uma avaliação por prototipação em papel foi o *ArcFlow* – Capítulo 5.1.1. A princípio, ela deveria possuir pontos OD em um mapa e representar uma interação de transitividade entre o desenho de uma rota, semelhante aos caminhos traçados em um GPS, até a formação de um arco. Porém, foram identificados alguns problemas e algumas mudanças. As anotações estão resumidas na Tabela 6.5.

**Tabela 6.5:** *Prototipação - ArcFlow*

<b>Problemas/Mudanças</b>	<b>Complexidade</b>
Não foi possível identificar os diferentes pares OD (mesma coloração).	baixa
As rotas não estavam seguindo de forma harmoniosa o traçado do mapa. Por exemplo, existem várias linhas retas sobre as curvas e rotatórias no mapa.	baixa
A altura dos arcos deveria ser definida de acordo com o fluxo e não de acordo com a proximidade.	baixa
Foi sugerido inserir alguma animação nos caminhos para indicar a direção de fluxo.	média
Foi sugerido que houvesse uma transição suave entre a rota e o arco.	baixa
Foi sugerida a inclusão de um menu para facilitar a seleção das funcionalidades.	baixa
Foi sugerida a inserção de algum método de seleção dos pares OD.	média

A segunda visualização a ser avaliada foi a *ODFlow* – Capítulo 5.1.2. Basicamente, a interface deveria possuir um mapa do lado esquerdo com uma tabela do lado direito. Uma possível interação de seleção seria clicar sobre as linhas, colunas e células. Contudo, algumas mudanças foram sugeridas e elas foram transcritas para a Tabela 6.6.

**Tabela 6.6:** *Prototipação - ODFlow*

<b>Problemas/Mudanças</b>	<b>Complexidade</b>
Foi sugerido que somente as rotas selecionadas fossem exibidas no mapa.	média
Foi sugerido que os rótulos das linhas e colunas recebessem alguma coloração (destaque) no momento do clique/movimento.	baixa
Foi sugerido que ao passar o mouse sobre a célula, a mesma apresentasse de alguma forma o valor da demanda.	baixa

A terceira visualização a ser avaliada foi a *ODGraph* – Capítulo 5.1.3. A partir deste momento, a inclusão de um mapa, no canto esquerdo, passou a ser um item presente em todas as interfaces. A VI deve usar um grafo para representar uma relação entre os diversos pares OD. Para isso, uma aresta deve conectar os nós a partir do momento em que ambos formassem um par OD. O resultado da avaliação é descrita na Tabela 6.7.

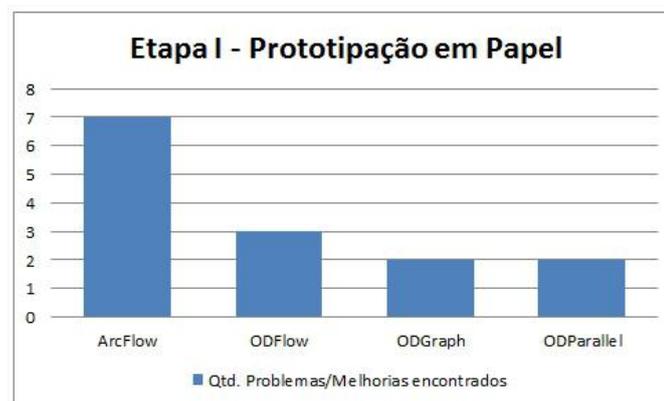
**Tabela 6.7:** Prototipação - ODGraph

Problemas/Mudanças	Complexidade
Foi sugerido que, de alguma forma, houvesse a representação separada para os pares OD. Por exemplo, ao clicar sobre um nó, o mesmo deveria destacar os outros nós relacionados, observando que um nó pode ser origem, destino ou origem/destino.	média
Foi sugerido que somente os itens selecionados fossem destacados.	baixa

Por fim, a quarta visualização a ser avaliada foi a *ODParallel* – Capítulo 5.1.4. A ideia inicial é que a interface possibilitasse a seleção de pares OD por meio de dimensões da coordenada paralela. O resultado da avaliação se encontra na Tabela 6.8.

**Tabela 6.8:** Prototipação - ODParallel

Problemas/Mudanças	Complexidade
Foi sugerido que houvesse um espaçamento maior entre as dimensões.	baixa
Foi sugerido que houvesse a inclusão de um botão que limpasse todas as seleções das $n$ dimensões.	média
Foi sugerido que as coordenadas paralelas levassem em consideração os operadores lógicos "ou/e" na seleção.	média

**Figura 6.3:** Etapa I - Número de Problemas/Melhorias encontradas.

Ao término desta avaliação foram encontrados 15 problemas ou sugestões, conforme ilustra a Figura 6.3. Esse é um número considerável, pois neste momento a visualização está no início do projeto. Ao se olhar sobre a Figura 6.3, pode-se perceber que a visualização *ArcFlow* apresentou um número maior de sugestões. Todavia, este número de problemas ou sugestões pode também estar relacionado ao detalhamento dos requisitos de cada visualização. Quanto mais informações existirem sobre os problemas

que a visualização deve responder, melhor será a avaliação pela prototipação. Uma boa sugestão é relacionar o máximo possível de informações que as interfaces vão responder e, só depois, identificar as técnicas que vão facilitar as interações e representações. Porém, sabe-se que elicitar todos os requisitos é uma tarefa muito complexa, pois o *design* irá depender dos usuários para responder a estas questões e eles nem sempre sabem realmente o que desejam.

Um outro fator importante relatado nessa avaliação foi que todas as sugestões possuíam um grau de complexidade baixa e média.

Todas as informações sugeridas pela prototipação, aplicadas no início do *design*, foram atendidas e implementadas. Esta abordagem auxiliou no refinamento da construção das visualizações. O teste de prototipação foi realizado uma única vez, durante todo o processo de desenvolvimento, mas pode-se aplicá-las em diferentes momentos na construção.

### 6.2.2 Avaliação Heurística

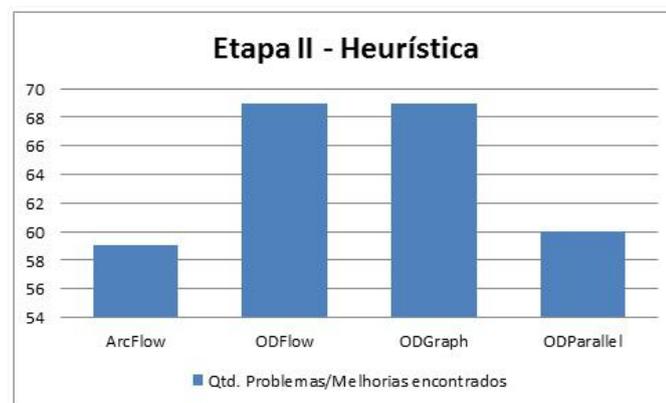
O teste exigiu a participação de três especialistas em interface com domínio nas áreas de desenvolvimento e teste de *software*. O processo utilizado seguiu a definição de Nielsen *et al.* [127]. A seguir será apresentado um breve relato de cada etapa:

- **preparação:** houve uma apresentação das visualizações, para cada especialista, mostrando o que deveria ser avaliado, não sendo ela limitada, mas com base nas tarefas alvo dos questionários (Apêndices A e B). Além disso, foram esclarecidos termos técnicos contidos nas heurísticas e nas visualizações. Esta atividade durou 40 minutos;
- **coleta de dados:** os participantes, de forma independente, registraram suas opiniões em uma planilha do *Google Docs*;
- **interpretação:** foram percorridas as visualizações anotando-se os dados sobre a diretriz violada, a descrição do problema, as possíveis sugestões e sua gravidade. A média de tempo gasto para o preenchimento total de todas as visualizações (4 no total) foi de uma hora e quarenta minutos. Todos os dados coletados nesta etapa estão disponíveis no Apêndice E;
- **consolidação dos resultados:** foi verificado se as heurísticas violadas, de acordo com o *design* da visualização, realmente são relevantes e possuem a gravidade correta.

A Tabela 6.9 apresenta uma versão resumida da aplicação da heurística às quatro visualizações. A primeira coluna da tabela representa a identificação da heurística violada (seção 6.1.2), enquanto que os números contidos entre parênteses indicam os

diferentes avaliadores. Por fim, a última coluna informa a quantidade de vezes que a heurística foi violada para as quatro visualizações. É possível perceber que pode haver mais de um registro de um avaliador para o mesmo item. Ou seja, para o avaliador houve três violações do mesmo item.

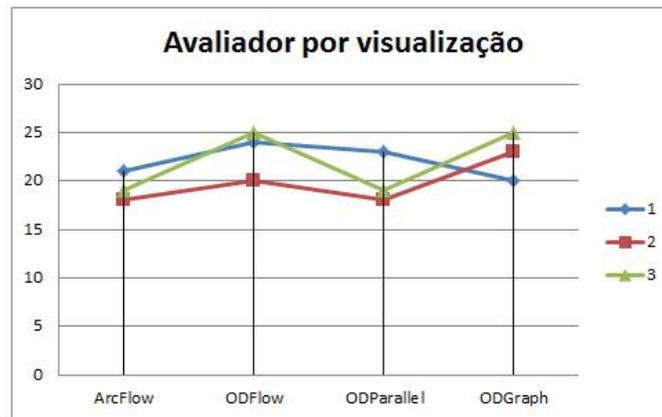
A Figura 6.4 apresenta a quantidade de violações encontradas para cada visualização. Este elevado número de violações é esperado, pois houve a aplicação de toda as heurísticas nas mesmas. Por exemplo, a visualização *ODFlow* não representa a multimodalidade. A princípio, ela foi desenvolvida para ser apenas modal. Como consequência disso, as heurísticas identificaram que a mesma não possui suporte à multimodalidade e feriu todas as regras relativas ao item. Fica a cargo do *design* da interface aceitar ou não as sugestões. A aceitação ou não está vinculada ao objetivo da interface.



**Figura 6.4:** *Etapa II - Número de Problemas/Melhorias encontradas.*

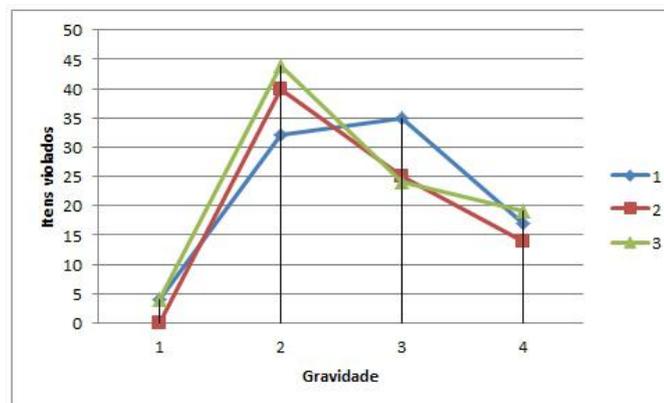
Os avaliadores fizeram uma série de considerações para cada visualização. Todavia, mesmo que um par de visualizações possua a exibição dos mesmos dados, elas foram avaliadas diferentemente, conforme ilustra a Figura 6.5. Pode-se perceber também, pela figura, que os avaliadores possuem perfis diferentes. Eles compreenderam satisfatoriamente as heurísticas, apesar de nem todos possuírem conhecimentos sobre visualizações sobre o tráfego urbano. O termo satisfatório está relacionado ao *feedback* relatado pelos avaliadores (apêndice E). Tais relatos possuem uma descrição do problema, assim como possíveis soluções.

Foi possível notar que os avaliadores foram bastante críticos, como demonstram os resultados da Figura 6.5. Dentre os 45 itens definidos na heurística, a média de violação encontrada foi em torno de 21 itens para cada visualização. As linhas na Figura 6.5 representam os diferentes avaliadores.



**Figura 6.5:** Etapa II - Número de Problemas/Melhorias encontradas por avaliador.

Um outro fator interessante da avaliação heurística é a classificação dos itens violados pela gravidade, ou seja, a demonstração do quão importante é a modificação de falha/sugestão. Na Figura 6.6 são encontrados os níveis de gravidade (1-4) para cada avaliador, representados pelas linhas coloridas. Observa-se que os avaliadores 1 e 3 possuem praticamente a mesma definição de gravidade, enquanto que o avaliador 2 é o que mais se difere dos outros avaliadores.



**Figura 6.6:** Etapa II - Número de Problemas/Melhorias categorizadas por gravidade.

**Tabela 6.9: Resumo das Heurísticas Violadas.**

A numeração entre colchetes indica a identificação do avaliador.

Heurística Violada	<i>ArcFlow</i>	<i>ODFlow</i>	<i>ODParallel</i>	<i>ODGraph</i>	Qd. Violações
1.1.1	(1)	(1)(3)	(1)(1)(1)	(2)(3)	8
1.1.2					-
1.2.1					-
1.2.2	(1)(3)	(3)			3
1.2.3					
1.2.4	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	12
1.2.5	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	12
1.3.1			(1)(2)(3)		3
1.3.2	(1)(2)(3)		(1)(2)(3)		6
1.3.3					-
1.3.4	(3)	(1)(3)			3
1.4.1					-
1.4.2		(1)(3)	(1)	(3)	4
1.4.3					-
2.1	(1)(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	(1)(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	14
2.2	(2)			(2)	2
2.3	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	12
2.4					-
2.5	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	12
3.1				(3)	1
3.2	(2)	(1)(3)	(3)	(1)(2)(3)	7
3.3	(3)	(2)		(2)(3)	4
3.4	(1)(3)	(2)(3)	(1)	(1)(2)(3)	8
3.5					-
3.6					-
4.1	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)		(2)(3)	8
4.2	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	12
5.1	(1)				1
6.1	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	12
6.2	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	12
7.1	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	12
7.2	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	12
7.3	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	12
7.4	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	(2)(3)	(1)(2)(3)	11
8.1		(1)(2)		(1)(2)(3)(3)	6
9.1					-
9.2					-
9.3		(1)(3)		(1)(3)	4
9.4	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	12
9.5					-
9.6					-
9.7					-
9.8		(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	6
10.1		(1)(3)			2
11.1		(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	9
11.2	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	(1)(2)(3)	12

### 6.2.3 Ensaios de Interação

Os usuários utilizados para esta etapa são chamados de usuários representativos. Este termo indica que as pessoas escolhidas não são de fato os usuários reais do sistema (conhecedores do domínio) [151]. O motivo de se utilizar este grupo de pessoas está diretamente relacionado à dificuldade em garantir usuários de domínio (especialistas) para a participação dos testes.

No experimento proposto, os usuários envolvidos receberam duas visualizações, em momentos diferentes, para avaliar. Tais usuários foram divididos aleatoriamente em dois grupos de tamanhos iguais. No primeiro momento (contato inicial do participante com a visualização), um grupo avaliou uma visualização, enquanto o outro grupo, a

segunda. Ao término do prazo, os usuários passaram a avaliar a outra visualização restante (segundo momento).

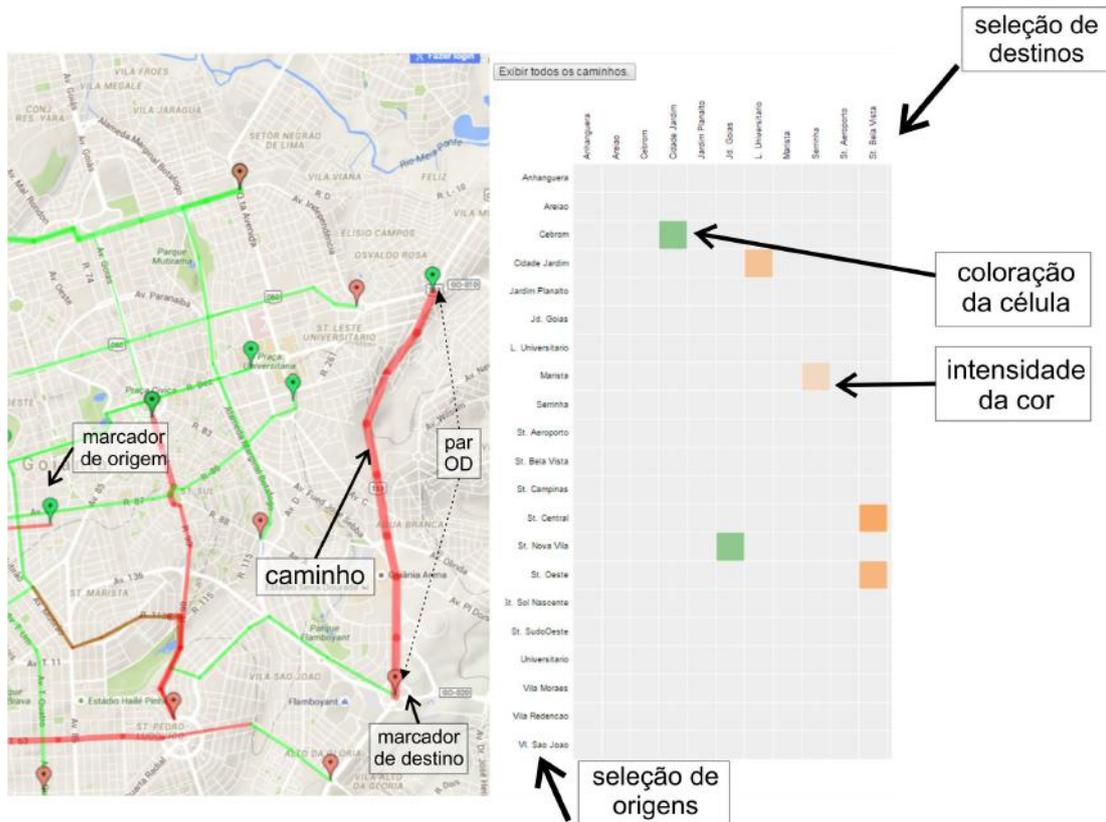
No presente trabalho foram executados dois ensaios de interação. Um para estudantes de usabilidade da UFG e o outro para alunos da disciplina de usabilidade da PUC-GO. Para definir as diretrizes do ensaio de interação, definiu-se um conjunto de questões iniciais (Capítulo 5). Já nos Apêndices A e B, são apresentados os conjuntos de questões finais utilizadas para a realização do ensaio de interação I e II.

### **Primeiro Ensaio de Interação - (ArcFlow x ODFlow)**

A sessão de teste (Rubin *et al.* [157]) durou, aproximadamente, 1h e 45 min e foi dividida nas seguintes etapas: pré-teste (5 min), introdução à sessão (5 min), apresentação das visualizações (20 min), execução da lista de tarefas (15 min) e, por fim, o preenchimento do questionário (60 min) que continha questões objetivas e dissertativas. A seguir será apresentada uma descrição sobre cada etapa da sessão:

- (i) **Pré-teste (5 min)** - cada participante assinou o termo de não divulgação e autorização e houve a distribuição dos participantes em dois grupos de forma aleatória, no qual um grupo recebeu a visualização *ArcFlow*, enquanto que o outro recebeu a visualização *ODFlow*;
- (ii) **Introdução à sessão (5 min)** - foi discutida a importância do participante no estudo, o papel do moderador, a configuração da sala e os observadores, etc;
- (iii) **Apresentação das visualizações *ArcFlow* e *ODFlow* (20 min)** - foi introduzido o funcionamento básico das visualizações, como também houve a explicação dos termos técnicos utilizados no questionário;
- (iv) **Lista de tarefas para *ArcFlow* e *ODFlow* (15 min)** - os participantes tiveram um tempo para manipular as visualizações com base na explicação e em um quadro de resumo fornecido (Figuras 6.7 e 6.8). Este procedimento teve como objetivo criar uma maior familiaridade com a visualização e serviu de *background* para o preenchimento do questionário;
- (v) **Questões (60 min)** (Apêndice A) - cada questionário entregue foi dividido em duas partes, sendo uma com questões utilizando a escala de *Likert* e a outra com questões dissertativas. Os dados coletados na avaliação (Apêndice C) serviram para medir a usabilidade das visualizações propostas com base na eficiência, eficácia e satisfação. Os participantes envolvidos neste experimento cursam a disciplina Interface Homem-Máquina e não possuem nenhuma experiência com visualizações em tráfego urbano. Eles estão distribuídos nos cursos de Ciência da Computação, Engenharia de *Software* e Sistemas de Informação da Universidade Federal de Goiás. Participaram do primeiro teste um total de 22 alunos. Porém, eles foram

divididos em dois grupos. Um grupo avaliou, no primeiro momento, a visualização *ArcFlow*, enquanto que o outro grupo avaliou a visualização *ODFlow*. Quando as avaliações nesse primeiro momento foram concluídas, passou-se para um segundo momento, no qual o aluno que avaliou o *ArcFlow* no primeiro momento passou a avaliar o *ODFlow*. A execução dos testes foram em *hardware* e *software* com configurações idênticas.



### Marcadores

Mapa: origem(verde) destino(vermelho) origem/destino(marron)

Matriz: Linha (Origem) Coluna(Destino)

### Caminhos/fluxos

Mapa: **cores das linhas**

verde (velocidade atual  $\geq$  velocidade máx. da via / 2) (trânsito leve)  
vermelha (velocidade atual  $<$  velocidade máx. da via / 2) (trânsito pesado)

**espessura das linhas:**

+ espesso (quantidade máx. de veículos comportada pela via, maior fluxo)  
+ fino (quantidade mín. de veículos comportada pela via, menor fluxo)

Matriz: **cores das células**

verde (velocidade atual  $\geq$  velocidade máx. da via / 2) (trânsito leve)  
vermelha (velocidade atual  $<$  velocidade máx. da via / 2) (trânsito pesado)

**intensidade da coloração das células:**

+ intensa (quantidade máx. de veículos comportada pela via, maior fluxo)  
- intensa (quantidade mín. de veículos comportada pela via, maior fluxo)

### Interação com o cenário

Clique sobre os nomes das origens na matriz -> Gera animação do caminho

Clique sobre os nomes dos destinos na matriz -> Gera animação do caminho

Clique sobre a célula na matriz -> Gera animação do caminho.

Parar mouse sobre a célula = informa a quantidade de veículos (demanda) daquele par OD

Parar o mouse sobre o marcador OD no mapa = nome do ponto de Origem/Destino.

**Figura 6.7:** Quadro Resumo - ODFlow



### Marcadores

- origem (azul)
- destino (laranja)
- ● origem/destino (azul/laranja)

### Caminhos/fluxos

#### cores das linhas:

- verde (velocidade atual  $\geq$  velocidade máx. da via / 2) (trânsito leve)
- vermelha (velocidade atual  $<$  velocidade máx. da via / 2) (trânsito pesado)

#### limite da altura das linhas:

- + alto (maior fluxo de veículos na via)
- + baixo (menor fluxo de veículos na via)



realiza a transição das linhas entre a posição «caminho» até a forma de «arco origem-destino».

#### espessura das linhas:

- + espesso (quantidade máx. de veículos comportada pela via, maior fluxo)
- + fino (quantidade mín. de veículos comportada pela via, menor fluxo)

### Menu de Interação

- câmera realiza auto-rotação sobre o mapa
- habilita/desabilita o círculo de seleção de origens
- habilita/desabilita o círculo de seleção de destinos
- habilita/desabilita animação sobre os caminhos selecionados (sentido do fluxo)
- sobre
- mudar cor da área de fundo

### interação com o cenário

- Shift + botão esquerdo com sentido vertical para cima** (sobre os círculos de seleção): aumenta o diâmetro dos círculos
- Shift + botão esquerdo com sentido vertical para baixo** (sobre os círculos de seleção): diminui o diâmetro dos círculos
- Botão esquerdo do mouse:** movimenta a câmera olhando sempre para o centro do mapa
- Botão direito do mouse:** visualização panorâmica
- Mouse Wheel:** Zoom in/zoom out
- Mouse Wheel (pressionado + movimentação vertical):** Zoom in/zoom out mais rápido
- Tecla para cima:** incrementa o caminho para o sentido de arco.
- Tecla para baixo:** decrementa o arco para caminho.

**Figura 6.8:** Quadro Resumo - ArcFlow

## Resultados

A tabela 6.10 apresenta os resultados para várias combinações dos momentos de cada visualização. As letras A e B designam as visualizações *ArcFlow* e *ODFlow*, respectivamente. A primeira coluna representa a combinação de momentos de avaliação das visualizações. A primeira linha é a principal, pois mostra os resultados agregados de todos os participantes realizado em dois momentos. As demais linhas, são resultados parciais, com metade dos participantes para cada momento. A coluna “etapa” identifica quais foram os momentos, primeiro ou segundo, considerados. Já as colunas eficiência, eficácia, satisfação e usabilidade demonstram os valores obtidos com base nos cálculos listados na Seção 6.1.3.

Vale ressaltar que a análise de um conjunto de visualizações no mesmo ensaio de interação pode motivar efeitos de aprendizagem sobre cada participante. A aprendizagem adquirida com a primeira visualização o acompanhará também na segunda avaliação. É importante salientar que mesmo que as visualizações consideradas sejam diferentes, ainda assim há a manipulação sobre os mesmos conjuntos de dados. E, de alguma forma, o participante consegue aplicar o conhecimento adquirido anteriormente às avaliações restantes em um efeito cumulativo. Porém, essa aprendizagem pode conter também efeitos negativos. Por exemplo, pode haver uma interpretação equivocada no primeiro momento e este conhecimento pode ser associado às outras visualizações posteriores. Por esse motivo, decidiu-se incluir os diferentes momentos de avaliação à Tabela 6.10, com a finalidade de se conhecer os efeitos causados sobre as mesmas. A seguir, será apresentada a interpretação da Tabela 6.10. Tais cálculos foram originados a partir da proposta de avaliação de Lima *et al.* [119], descrita na Seção 6.1.3.

**Tabela 6.10:** Ensaio de interação das visualizações *ArcFlow* e *OD-Flow*.

Combinação	etapa	Vis.	Eficácia	Eficiência	Satisfação	Usab.
Todos A x Todos B	1º + 2º	A	0,71	0,85	0,80	0,78
	1º + 2º	B	0,88	0,83	0,87	0,86
1ºA x 1ºB	1º	A	0,81	0,80	0,85	0,82
	1º	B	0,90	0,79	0,86	0,85
2ºA x 2ºB	2º	A	0,61	0,86	0,74	0,73
	2º	B	0,85	0,78	0,88	0,84
1ºA x 2ºB	1º	A	0,81	0,80	0,85	0,82
	2º	B	0,85	0,78	0,88	0,84
2ºA x 1ºB	1º	B	0,90	0,79	0,86	0,85
	2º	A	0,61	0,8	0,74	0,73
1ºA x 2ºA	1º	A	0,81	0,80	0,85	0,82
	2º	A	0,61	0,86	0,74	0,73
1ºB x 2ºB	1º	B	0,90	0,79	0,86	0,85
	2º	B	0,85	0,78	0,88	0,84

A primeira combinação envolve os participantes que tiveram contato com a visualização A no primeiro e segundo momento, bem como a combinação de todos os participantes que tiveram contato com a visualização B no primeiro e segundo momento. A eficácia e a satisfação apresentaram as maiores diferenças: 0.17 e 0.7, respectivamente. Porém, a eficiência não apresentou um intervalo significativo. Ao se avaliar os três critérios anteriores, a usabilidade apresentou uma diferença de 0.08. Logo, a visualização *ODFlow* prova ser um pouco melhor que a sua concorrente.

Na segunda combinação foram comparadas a visualização A no primeiro momento com a B também do primeiro momento e, neste caso, somente a eficácia apresentou uma maior diferença entre os valores, com 0.09. Novamente, a visualização *ODFlow* obteve o melhor nível de usabilidade, com 0.85.

Na terceira combinação foram comparadas a visualização A e a B, ambas do segundo momento. Vale ressaltar uma considerável diferença de valores para a eficácia (0.24), assim como para a satisfação (0.14). Mais uma vez a visualização *ODFlow* demonstrou ser melhor, com 0.84.

Na quarta combinação, a visualização A do primeiro momento foi comparada à B do segundo momento. As variações de valores entre os três critérios não apresentaram grandes diferenças. O melhor nível de usabilidade ficou para a visualização *ODFlow*, com 0.84.

Na quinta combinação foram comparadas as visualizações B do primeiro momento e a A do segundo momento. A eficácia obteve uma variação de 0.29, enquanto a satisfação mostrou uma variação de 0.12. O resultado mostra que a visualização *ODFlow* é a melhor com 0.85.

Também foram comparadas as visualizações entre si, mas só que em momentos diferentes. O resultado disso foi que a avaliação apresentou consideráveis diferenças na eficácia (0.20) e na satisfação (0.11). A visualização *ArcFlow* mostrou um melhor resultado no primeiro momento sem a interferência da segunda visualização.

Por fim, foi comparada a visualização *ODFlow* em seus dois momentos, primeiro e segundo momento. Ao se observar os resultados, percebe-se que a *ODFlow* demonstrou não sofrer uma grande interferência com a adição da visualização *ArcFlow*, pois a mesma continuou com valores estáveis.

Independente da combinação escolhida, a eficácia e a satisfação sempre apresentam melhores valores para *ODFlow*. Todavia, a eficiência apresenta o contrário, sempre mostra um melhor valor para a visualização *ArcFlow*. Como a usabilidade é calculada a partir da média dos três critérios a *ODFlow* sempre demonstra ser melhor.

A Tabela 6.11 mostra a aplicação dos testes estatísticos conforme discutido na Seção 6.1.3. A célula que apresenta uma coloração diferente indica que houve a rejeição da hipótese nula para o nível de confiança igual a 95%. De acordo com a natureza

**Tabela 6.11:** Aplicação de testes estatísticos sobre os dados do ensaio de interação de ArcFlow e ODFlow.

Combinação	Eficiência'			Eficácia'			Satisfação'		
	A	B	P-value	A	B	P-value	A	B	P-value
A's x B's	131,12	128,72	0.9345	110	136	0.02159	1145	1249	0.0005413
1º A x 1º B	62,27	61,37	0.8624	63	70	0.08606	612	616	0.9618
2º A x 2º B	66,42	60,90	0.4697	47	66	0.06216	533	633	1.361e-05
1º A x 2º B	62,27	60,90	1	63	66	0.3667	612	633	0.5577
2º A x 1º B	66,42	61,37	0.3932	47	70	0.01736	533	616	0.0002155
	A	A	P-value	A	A	P-value	A	A	P-value
1º A x 2º A	62,27	66,42	0.2642	63	47	0.1368	612	533	0.001738
	B	B	P-value	B	B	P-value	B	B	
1º B x 2º B	61,37	60,90	1	70	66	0.7758	612	633	0.7665

dos dados, foram aplicados majoritariamente os testes *Mann-Whitney* para eficiência'/' e o teste *Fisher* para a satisfação'.

A eficiência e a satisfação apresentaram os mesmos resultados do modelo de avaliação de Lima *et al.*[119], no entanto, a eficácia apresentou uma leve divergência (conforme a Tabela 6.10). É possível notar que os valores das visualizações A e B possuem valores com pouca variação.

A satisfação rejeitou a hipótese nula para a maioria das combinações, exceto para: o primeiro momento de A e o primeiro momento de B; o primeiro momento de A e o segundo momento de B; e, por fim, o primeiro e o segundo momento de B. Já a eficácia, apresentou uma diferença estatística para as combinações de todos os A e todos os B e o segundo momento de A com o primeiro momento de B.

Ao serem analisados os resultados, pode-se perceber que ambas as visualizações foram bem avaliadas no quesito usabilidade (seção 6.1.3), mas a *ODFlow* apresentou uma leve diferença. Todos os avaliadores que tiveram contato com a *ODFlow* apresentaram uma melhora na avaliação. No fim do questionário havia uma questão dissertativa de livre comentário. Algumas das respostas foram transcritas para a Tabela 6.12.

**Tabela 6.12:** *Problemas reportados - ArcFlow*

<b>Problemas/Sugestões (ArcFlow)</b>
Quando for colocado o mouse em cima de uma origem ou destino, ele poderia mostrar o nome do local como o bairro, a rua, etc.
Não gostei da ideia do limite da altura, visualmente é legal, mas ao deixar no meio do caminho achei estranho. Acho que seria melhor colocar 2 botões, um para deixar baixo e outro para subir de uma vez.
Em relação às cores utilizadas na visualização, creio eu que devem ser analisadas novamente, pois existem pessoas daltônicas que podem não conseguir diferenciar as cores verde e vermelha.
Tive dificuldade na utilização dos botões habilita e desabilita círculos de origem e destino, talvez fosse bom ter um botão para mostrar todos os caminhos.
Tive dificuldade na interação que modifica o diâmetro dos círculos. <i>Shift</i> mais botão esquerdo com sentido vertical não ficou intuitivo, talvez o uso do <i>shift</i> mais o <i>mouse wheel</i> pudesse ser melhor.
Quando existem trajetos com trânsito pesado (cor vermelha), a animação de fluxo não é apresentada adequadamente. Tenho a impressão que a animação está por baixo da linha.
A câmera está sempre focada na parte central do mapa. Porém, é bastante difícil realizar uma aproximação nas partes extremas do mapa.
Ao clicar sobre algum ponto OD, as possíveis rotas poderiam ser destacadas.
Encontrar os locais é bastante complicado, seria interessante realizar uma busca por palavras-chave para encontrar o local desejado.

**Tabela 6.13:** *Problemas reportados - ODFlow*

<b>Problemas/Sugestões (ODFlow)</b>
A visualização deveria dar informações sobre o trajeto. Por exemplo, ao clicar sobre o caminho uma nova janela deveria informar a velocidade, saindo do ponto x para o ponto y, etc.
A espessura das linhas, quando o fluxo é menor, dificulta o entendimento, talvez poderiam ser utilizadas linhas pontilhadas.
Algumas funções da visualização "A" fizeram falta, como o círculo de seleção de origem e destino. Ou seja, não consegui realizar múltiplas seleções.
Uma coisa que faltou foi selecionar caminhos através do mapa e não somente através da matriz.
Gostaria de ter visto um rótulo nos marcadores.
Deveria haver um padrão na escrita dos nomes dos bairros na matriz.
Senti falta de uma legenda informando que as linhas são as origens e as colunas, os destinos. Também foi difícil ler o nome dos bairros com o rótulo inclinado.

Os participantes compreenderam bem as visualizações, apesar da não familiari-

dade com as mesmas. Porém, houve uma pequena preferência para a visualização B, *OD-Flow*. Mesmo com esta preferência, grande parte das questões foram respondidas satisfatoriamente para ambas as visualizações. Esse resultado foi importante, pois a metáfora utilizada na criação das duas visualizações foi de fácil compreensão. Logo, as visualizações não exigiram que seus usuários fossem técnicos no assunto, bastando apenas 20 min de apresentação.

Outro ponto muito importante a ser considerado foi o fato de que os participantes descreveram problemas e apresentaram sugestões relevantes. Boa parte das sugestões trazem boas contribuições na evolução das visualizações.

### **Segundo Ensaio de Interação - (ODGraph x ODParallel)**

A segunda avaliação seguiu a mesma lógica definida anteriormente, exceto que foi focada na comparação das visualizações *ODGraph* e *ODParallel* e que teve algumas mudanças em relação ao tempo do teste. Abaixo, será descrito todo o procedimento.

A segunda sessão foi realizada na Pontifícia Universidade Católica de Goiás com 32 alunos do curso de Ciência da Computação na disciplina de IHC. Ela teve a duração de 2 horas e foi dividida da seguinte forma: pré-teste (5 min), introdução à sessão (5 min), apresentação das visualizações (20 min), execução da lista de tarefas (20 min) e o preenchimento do questionário (70 min) contendo questões objetivas e dissertativas. Logo abaixo, apresenta-se a descrição de cada uma dessas etapas.

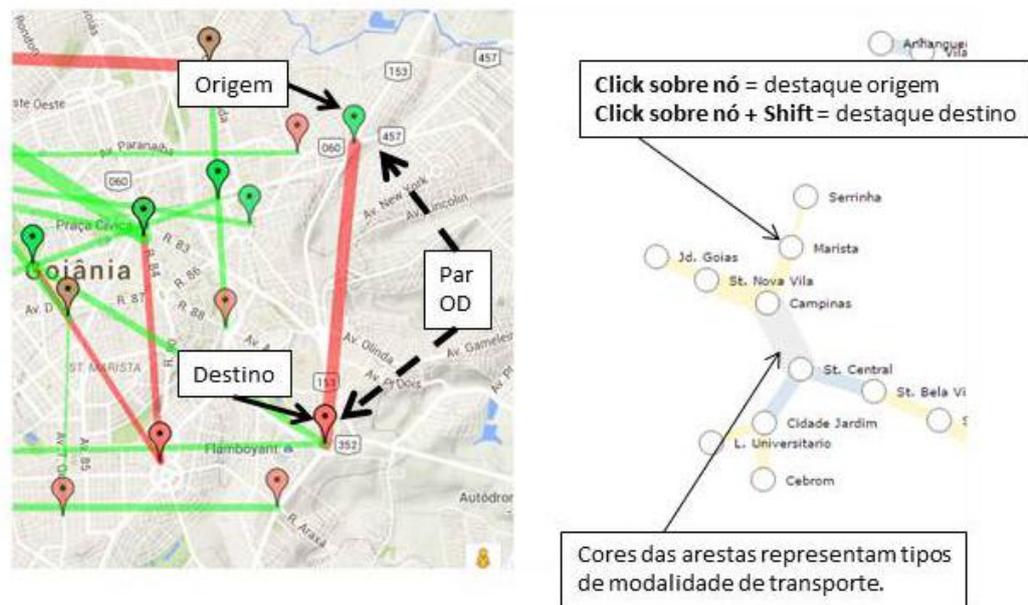
**(i) Pré-teste (5 min)** – cada aluno assinou o termo de não divulgação e autorização e conheceu a ordem de avaliação das visualizações que deveriam seguir. Um grupo recebeu a visualização *ODGraph*, enquanto o outro recebeu a *ODParallel*.

**(ii) Introdução à sessão (5 min)** – foi explicada a importância dos participantes na avaliação, o papel do moderador e a configuração necessária, etc.

**(iii) Apresentação das visualizações *ODGraph* e *ODParallel* (20 min)** – foram apresentadas as principais características de cada visualização. Além da apresentação de um glossário contendo os termos técnicos que seriam utilizados durante a sessão.

**(iv) Lista de tarefas para *ODGraph* e *ODParallel* (20 min)** – os participantes tiveram 10 minutos para manipular cada visualização apresentada. Foi fornecido também um quadro resumo (Figuras 6.9 e 6.10) de cada visualização, com o objetivo de minimizar a memorização dos comandos e aumentar a familiaridade dos estudantes com as mesmas.

**(v) Questões (70 min)** (Apêndice B) – como o questionário anterior, ele foi dividido em duas partes. Uma contendo a escala de *Likert* e a outra parte com questões dissertativas. Grande parte das questões foram semelhantes às questões descritas no primeiro teste.

**Marcadores(Mapa):**

Origem (verde) Destino(Vermelho) Origem-destino(marrom)  
 Parar o mouse sobre os marcadores = nome do marcador

**Pares OD - cores das linhas (Mapa):**

Verde (velocidade atual  $\geq$  velocidade máx. da via / 2) = (trânsito leve)  
 Vermelho (velocidade atual  $<$  velocidade máx. da via / 2) = (trânsito pesado)

**Pares OD - espessuras das linhas (Mapa):**

+ espessa (quantidade máx. de veículos comportada pela via) = (maior fluxo)  
 + fina (quantidade mín. de veículos comportada pela via) = (menor fluxo)

**Cores das arestas no grafo**

Modalidades: azul(PEQ), amarelo(MED) e cinza(GRA)

**Interação sobre o grafo.**

(Mantenha pressionado o botão)

**Click sobre o nó** = destaca o nó como origem e seus relacionamentos de destino.

**Click sobre o nó + shift** = destaca o nó como destino e seus relacionamentos de origem

(Travar a seleção atual)

Click sobre o nó e areste

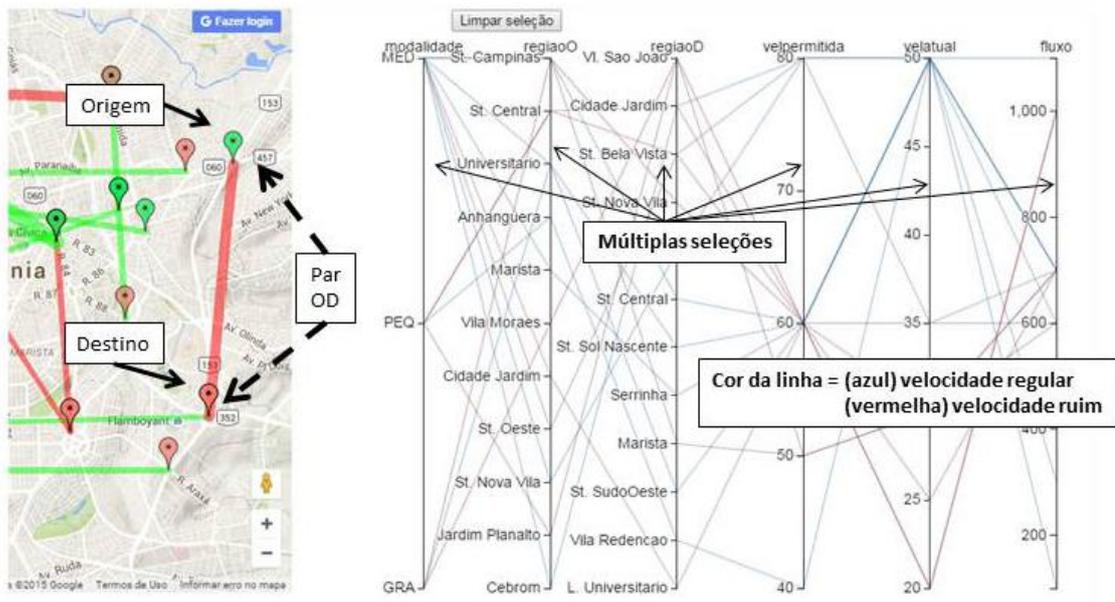
(Voltar a selecionar)

Click sobre outro nó

(Movimentar o grafo)

Click sobre um nó e arraste para a posição desejada.

**Figura 6.9:** Quadro Resumo - ODGraph

**Marcadores(Mapa):**

Origem (verde) Destino(Vermelho) Origem-destino(marrom)  
 Parar o mouse sobre os marcadores = nome do marcador

**Pares OD - cores das linhas (Mapa):**

Verde (velocidade atual  $\geq$  velocidade máx. da via / 2) = (trânsito leve)  
 Vermelho (velocidade atual  $<$  velocidade máx. da via / 2) = (trânsito pesado)

**Pares OD - espessuras das linhas (Mapa):**

+ espessa (quantidade máx. de veículos comportada pela via) = (maior fluxo)  
 + fina (quantidade mín. de veículos comportada pela via) = (menor fluxo)

**Modalidades de transporte**

Representadas pela dimensão modalidade (PEQ, MED e GRA)

**Interação com a coordenada paralela**

**Selecionar dimensão** = click e arraste sobre a dimensão desejada (coluna) com o botão esquerdo do mouse para determinar o intervalo da seleção

**Remover seleção** = click sobre a dimensão(coluna), fora da área selecionada, com o botão direito do mouse.

**Redimensionar seleção** = click sobre as extremidades da seleção e arraste para um novo tamanho.

**Mover área de seleção** = click sobre a área selecionada e arraste para novas posições.

**Limpar todas as seleções** = click sobre o botão "Limpar Seleção".

**Figura 6.10:** Quadro Resumo - ODPParallel

**Resultados**

Como no primeiro teste, a Tabela 6.14 é apresentada informando os principais resultados alcançados. Para tanto, renomearemos a visualização *ODGraph* para C e *ODParallel* para D a fim de economizar espaço e facilitar a leitura na tabela.

**Tabela 6.14:** *Ensaio de interação das visualizações ODGraph e ODParallel*

Combinação	Etapa	Vis.	Eficácia	Eficiência	Satisfação	Usab.
Todos C x Todos D	1º + 2º	C	0,88	0,83	0,83	0,85
	1º + 2º	D	0,91	0,79	0,86	0,85
1ºC x 1ºD	1º	C	0,91	0,86	0,85	0,87
	1º	D	0,91	0,68	0,83	0,81
2ºC x 2ºD	2º	C	0,85	0,75	0,82	0,81
	2º	D	0,91	0,81	0,89	0,87
1ºC x 2ºD	1º	C	0,91	0,86	0,85	0,87
	2º	D	0,91	0,81	0,89	0,87
2ºC x 1ºD	1º	D	0,91	0,68	0,83	0,81
	2º	C	0,85	0,75	0,82	0,81
1ºC x 2ºC	1º	C	0,91	0,86	0,85	0,87
	2º	C	0,85	0,75	0,82	0,81
1ºD x 2ºD	1º	D	0,91	0,68	0,83	0,81
	2º	D	0,91	0,81	0,89	0,87

A primeira combinação da Tabela 6.14 mostra que as características analisadas não apresentam uma grande diferença, visto que o mesmo valor de usabilidade é registrado para ambas as visualizações.

Já a segunda combinação apresenta uma variação considerável para a eficiência (0.18). Neste caso, a visualização *ODGraph* apresentou uma ligeira diferença a seu favor no quesito de usabilidade.

O segundo momento de C e o segundo momento de D, que compõem a terceira combinação, evidenciam pequenas diferenças entre as mesmas, porém a visualização *ODParallel* levou a uma melhor usabilidade. A quarta e quinta combinação mostram novamente um empate para as visualizações.

O primeiro momento de C e o seu segundo momento mostram maiores diferenças para eficácia e eficiência. Entretanto, o primeiro momento possui uma melhor usabilidade.

Por fim, a visualização *ODParallel* é avaliada em seus dois momentos. A maior diferença desta combinação é expressa pela eficiência com 0.13. Nota-se que, com a aprendizagem da visualização C, a *ODParallel* demonstrou ter uma melhor usabilidade.

Conforme o exemplo anterior do primeiro ensaio de interação, a Tabela 6.15 exibe os testes estatísticos sobre os dados do ensaio de interação das visualizações *ODGraph* e *ODParallel*. A eficiência', da segunda combinação, e a satisfação', exceto a 4ª e 6ª combinações, rejeitaram a hipótese nula.

A eficiência', a eficácia' e a satisfação' mantiveram os mesmos resultados apresentados na aplicação de Lima *et al.* [119].

Na tabela 6.16 são apresentadas algumas sugestões ou erros que os usuários registraram. A primeira visualização será a *ODGraph*.

**Tabela 6.15:** Aplicação de testes estatísticos sobre os dados do ensaio de interação das visualizações ODGraph e ODParallel.

Testes estatísticos sobre ODGraph e ODParallel

Combinação	Eficiência'			Eficácia'			Satisfação'		
	C	D	P-value	C	D	P-value	C	D	P-value
C's x D's	187,19	178,98	0.3091	198	205	0.9698	1880	1935	0.0016
1º C x 1º D	95,64	77,79	0.0087	102	103	0.8102	955	934	0.0222
2º C x 2º D	85,08	91,46	0.4974	96	102	0.8678	925	1001	0.0007
1º C x 2º D	95,64	91,46	0.1269	102	102	0.6224	955	1001	0.1596
2º C x 1º D	85,08	77,79	0.4068	96	103	0.6735	925	934	0.00077
	C	C	P-value	C	C	P-value	C	C	P-value
1º C x 2º C	95,64	85,08	0.0733	102	96	0.5282	955	925	0.0682
	D	D	P-value	D	D	P-value	D	D	
1º D x 2º D	77,79	91,46	0.163	103	102	0.7657	934	1001	0.0013

**Tabela 6.16:** Problemas reportados - ODGraph

Problemas/Sugestões (ODGraph)
Acredito que poderia haver uma melhora nas cores da malha, pois facilitaria a visualização do mapa.
Poderia haver a opção de selecionar um ponto no mapa e ele lhe mostrar seus respectivos pontos OD na malha à direita (no grafo).
Ao clicar sobre um nó e arrastá-lo e novamente voltar a arrastar ocorre uma perda dos relacionamentos.
É um pouco difícil localizar os bairros no grafo. Uma ideia seria colocar os bairros no mesmo posicionamento do mapa. Ou seja, o grafo deveria seguir o posicionamento (norte, sul, etc.) do mapa.
O mapa poderia se mover ao mesmo tempo em que os nós do grafo se movimentam.

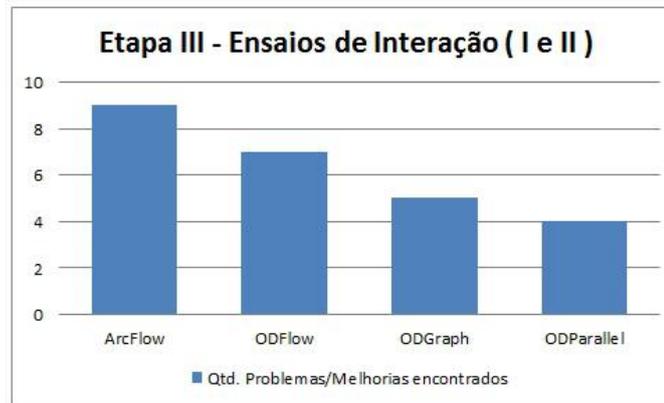
Na tabela 6.17 estão registradas as sugestões ou erros dos alunos.

**Tabela 6.17:** Problemas reportados - ODParallel

Problemas/Sugestões (ODParallel)
As cores da coordenada poderiam ter um destaque melhor.
Achei complicado encontrar as origens e destinos na coordenada paralela.
Ao clicar sobre o botão de limpar seleção, somente os valores da coordenada paralela são limpos, mas o mapa ainda continua com a seleção anterior.
É um pouco difícil analisar as linhas traçadas na coordenada paralela, pois pode haver algumas linhas sobrepostas.

De acordo com a Tabela 6.11, foram encontradas 24 sugestões para as quatro visualizações. Percebe-se que os problemas relatados estão relacionados a questões gerais.

Apesar de os usuários não serem especialistas em usabilidade (alunos) e nem de tráfego urbano, eles compreenderam bem o problema e a dinâmica do ensaio de interação. Tais informações refletem a observação de erros contidos na manipulação e apresentação dos dados e não, em grande parte, em regras de negócio do tráfego urbano.



**Figura 6.11:** Etapa III - Número de Problemas/Melhorias encontradas.

#### 6.2.4 Discussões

A aplicação da proposta de avaliação descrita neste capítulo resultou na identificação de uma série de problemas e na apresentação de diversas sugestões de melhorias que levariam muito tempo para serem identificadas de modo isolado. Sem dúvida, a utilização da prototipação em papel como mecanismo inicial de elicitação de requisitos foi bem aceita por ambas as partes. Apesar de toda a evolução da Engenharia de *Software* que mostra inúmeros processos e métodos para extração de requisitos, este foi o que apresentou a maior familiaridade para representações visuais. Ao se apresentar uma possível versão da interface, os desenvolvedores/*designers* e os *stakeholders* conseguem ter o mesmo diálogo desde o início do processo. Já a avaliação heurística conseguiu agregar valor a regras de negócios específicas para matrizes OD. Através dela, o avaliador pôde identificar as principais falhas e problemas contidos em uma visualização. A centralização de regras e ideias contidas nas heurísticas atenuam a lacuna existente no desenvolvimento de interfaces voltadas para o tráfego urbano. Isto ocorre porque as heurísticas tornam-se um ponto de partida, dependendo um menor tempo para a compreensão da natureza do problema. O uso dessas regras produz um alicerce inicial, servindo de diretriz para o desenvolvimento de novas visualizações. Por fim, o ensaio de interação cria a oportunidade do contato direto entre a interface e os usuários. Essa etapa permite que haja refinamentos na interface a fim de atender às reais necessidades do usuário.

A proposta de avaliação criada utilizou-se de diversas técnicas. Cada técnica visou abordar erros ou falhas com níveis diferentes de severidade. Ao se colocar a interface

em contato direto com usuários potenciais e especialistas, foi feito um levantamento de inúmeros questionamentos e melhorias possíveis. O resultado da avaliação colocou em foco diversos problemas da interface, desde a metáfora utilizada até melhorias na interação com os dados. É importante salientar que as sugestões apresentadas pelos participantes podem ajudar a lapidar a visualização em construção e assim torná-la mais efetiva.

Com base nos resultados, a presente proposta de avaliação foi satisfatória, pois, com seu auxílio, pode-se extrair uma série de melhorias para as visualizações de teste. Com isso, espera-se que *designers* possam criar visualizações mais efetivas ao seguirem a proposta apresentada.

---

## Conclusão

---

A quantidade de informações geradas pelo tráfego urbano tem crescido exponencialmente a cada ano. Logo, criar meios que facilitem a representação, manipulação e exploração de informações tem sido o foco de inúmeros pesquisadores. Uma das formas de se explorar este crescente número de dados é através da Visualização de Informações, visto que ela permite a descoberta de conhecimento e a análise dos dados.

Atualmente, existem algumas visualizações desenvolvidas para o tráfego urbano, mas apesar de suas contribuições, elas não cobrem todos os requisitos necessários. Conforme a revisão de trabalhos relacionados a este tópico (Capítulo 3), há uma escassez de visualizações para o domínio de matrizes OD. Além disso, entre estes trabalhos, nenhuma iniciativa foi encontrada para auxiliar outros pesquisadores no desenvolvimento de novas visualizações com padrões mínimos de qualidade, bem como de avaliá-las.

Ao explorar outras visualizações sobre o tráfego urbano, percebeu-se que as mesmas atividades eram realizadas inúmeras vezes. Ou seja, havia a contribuição de algumas visualizações, mas não o relato da experiência necessária (regras) para a sua construção. A partir deste momento, decidiu-se elaborar uma abordagem que facilitasse o desenvolvimento de visualizações mais efetivas para o cenário do tráfego urbano, em especial para apresentação de matrizes OD.

De acordo com os objetivos traçados no início deste trabalho, a primeira contribuição trazida por ele foi o desenvolvimento de novas visualizações para o cenário do tráfego urbano, em especial para matrizes OD. As visualizações propostas variam em sua complexidade e em atendimento aos diversos requisitos propostos (Capítulo 5). Algumas dessas visualizações serviram de base para aplicar a avaliação de usabilidade e também para testar as limitações no desenvolvimento de visualizações para a *Web*.

Outra contribuição deixada por este trabalho foi a iniciativa de organizar as visualizações da área. Como o tráfego urbano apresenta diversas particularidades, decidiu-se criar uma classificação alternativa para visualizações voltadas a este cenário. A abordagem utilizada seguiu a linha das classificações de alto-nível e, com isso, propõe-se uma melhor distribuição das visualizações por categorias. Logo, usuários e pesquisadores podem identificar onde cada interface melhor se adapta e identificar pesquisadores correla-

cionados.

Por fim, utilizou-se um conjunto de técnicas de avaliação de usabilidade como um instrumento de medição. Tal retorno permitiu a indicação de pontos negativos na construção de uma visualização de matriz OD com dados de tráfego relacionado. No entanto, houve a preocupação de se escolher técnicas que encontrassem erros ou falhas de diferentes níveis de severidade. Para uma visão inicial e intuitiva de cada VI, decidiu-se explorar o uso da prototipação em papel. Tal técnica, além de ser de fácil implementação e mais barata, facilitou a comunicação entre os envolvidos na construção. Outra técnica utilizada foi a avaliação heurística. Ela foi reforçada por diversas regras de negócio no domínio do problema. O seu objetivo central foi reunir orientações mais diretas para guiar a construção de tais VIs. Por fim, a última técnica foi o ensaio de interação. O contato da interface com potenciais usuários resultou em ideias com possíveis melhorias. A abordagem definida neste trabalho também tentou englobar os diferentes tipos de usuários possíveis (usuários de ensaio, especialistas e usuários reais) para uma melhor cobertura do problema. A aplicação da avaliação de usabilidade resultou na identificação de uma série de problemas e em diversas sugestões de melhorias. Tais contribuições permitem criar visualizações que atendam, de certo modo, aos requisitos mínimos e que tenha uma melhor usabilidade.

## 7.1 Dificuldades Encontradas

A grande dificuldade enfrentada na realização deste trabalho foi encontrar usuários e dados reais. Isto porque em grande parte das cidades brasileiras não há um real controle sobre as informações do tráfego. Problemas como má infraestrutura e poucos investimentos prejudicam o avanço desta área. Um outro ponto bastante crítico do projeto foi a escolha dos diversos *frameworks* de *software* para a construção das visualizações. Foram encontrados diversos problemas em relação a navegadores, visto que em um navegador a visualização funcionava perfeitamente e em outros, não. Por fim, houve também uma dificuldade em encontrar um avaliador perfeito para as heurísticas, ou seja, um profissional que compreendesse o domínio dos problemas de tráfego, da Interface Humano Computador e a Visualização de Informações.

## 7.2 Trabalhos Futuros

Com as contribuições levantadas neste trabalho e com a experiência obtida, as seguintes sugestões para próximos trabalhos são apresentadas:

- Explorar outras técnicas de usabilidade e de visualizações e definir quais são as mais adequadas para os diferentes problemas enfrentados no tráfego urbano.
- Desenvolver novas visualizações que atendam a área. Espera-se que, com as contribuições deste trabalho, novas visualizações sobre o tráfego urbano, em especial matrizes OD, possam ser elaboradas.
- Evoluir a classificação específica para o tráfego urbano. Apesar da sua contribuição, acredita-se que ela pode ser melhorada ou até estendida para outras áreas do tráfego urbano, como distribuição de semáforos e conversões permitidas ou proibidas, entre outras.
- Evoluir a heurística desenvolvida para que ela possa atender a diversas outras áreas do tráfego urbano.

---

## Referências Bibliográficas

---

- [1] **Cascade on Wheels – Medialab Prado.** <http://medialab-prado.es/article/>. Acessado: 02-05-2012.
- [2] **Every Death on Every Road in Great Britain 1999 - 2010 – British Broadcasting Corporation (BBC).** <http://www.bbc.co.uk/news/uk-15975564>. Acessado: 05-08-2012.
- [3] **Traffic origins.** <http://senseable.mit.edu/visual-explorations-urban-mobility/traffic-origins.html>. Acessado: 17-06-2012.
- [4] **Vissim.** <http://www.vissim.com/>. Acessado: 23-06-2012.
- [5] ALGERS, S.; BERNAUER, E.; BOERO, M.; BREHERET, L.; DI TARANTO, C.; DOUGHERTY, M.; FOX, K.; GABARD, J.-F. **Review of micro-simulation models.** *Smartest Project deliverable D, 3*, 1997.
- [6] ALLENDOERFER, K.; ALUKER, S.; PANJWANI, G.; PROCTOR, J.; STURTZ, D.; VUKOVIC, M.; CHEN, C. **Adapting the cognitive walkthrough method to assess the usability of a knowledge domain visualization.** In: *Information Visualization, 2005. INFOVIS 2005. IEEE Symposium on*, p. 195–202. IEEE, 2005.
- [7] AMAR, R.; EAGAN, J.; STASKO, J. **Low-level components of analytic activity in information visualization.** In: *Information Visualization, 2005. INFOVIS 2005. IEEE Symposium on*, p. 111–117. IEEE, 2005.
- [8] AMAR, R.; STASKO, J. **Best paper: A knowledge task-based framework for design and evaluation of information visualizations.** In: *Information Visualization, 2004. INFOVIS 2004. IEEE Symposium on*, p. 143–150. IEEE, 2004.
- [9] AMARO, A.; PÓVOA, A.; MACEDO, L. **A arte de fazer questionários.** *Porto, Portugal: Faculdade de Ciências da Universidade do Porto*, 2005.

- [10] ANDREWS, K.; HEIDEGGER, H. **Information slices: Visualising and exploring large hierarchies using cascading, semi-circular discs.** In: *Proc of IEEE Infovis' 98 late breaking Hot Topics*, p. 9–11, 1998.
- [11] ARAÚJO, D. R. C. D. **Comparação das simulações de tráfego dos modelos saturn e dracula.** Master's thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção., <http://hdl.handle.net/10183/4162>, 2003.
- [12] ASHOK, K.; BEN-AKIVA, M. E. **Dynamic origin-destination matrix estimation and prediction for real-time traffic management systems.** In: *International Symposium on the Theory of Traffic Flow and Transportation (12th: 1993: Berkeley, Calif.). Transportation and traffic theory*, 1993.
- [13] AYRES, M. **BioEstat 5.0: aplicações estatísticas nas áreas das ciências biológicas e médicas.** Sociedade Civil Mamirauá, 2007.
- [14] BAECKER, R. M. **Readings in Human-Computer Interaction: toward the year 2000.** Morgan Kaufmann, 2014.
- [15] BARCELO, J.; CODINA, E.; CASAS, J.; FERRER, J.; GARCIA, D. **Microscopic traffic simulation: A tool for the design, analysis and evaluation of intelligent transport systems.** *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 41(2):173–203, 2005.
- [16] BARCELÓ, J.; CASAS, J. **Dynamic network simulation with aimsun.** *Simulation Approaches in Transportation Analysis*, p. 57–98, 2005.
- [17] BARROS, A. P. B. G. **Estudo exploratório da sintaxe espacial como ferramenta de alocação de tráfego.** Master's thesis, Universidade Federal de Brasília, <http://repositorio.unb.br/handle/10482/2905>, 2006.
- [18] BARTHET, M.-F. **Logiciels interactifs et ergonomie.** *Modèle et méthodes de conception*, Dunod informatique, Paris, 1988.
- [19] BASTIEN, J.; SCAPIN, D. **Human factors criteria. Principles, and Recommendations for HCI: Methodological and Standardisation Issues,** INRIA, França, 1993.
- [20] BEHRISCH, M.; BIEKER, L.; ERDMANN, J.; KRAJZEWICZ, D. **Sumo-simulation of urban mobility-an overview.** In: *SIMUL 2011, The Third International Conference on Advances in System Simulation*, p. 55–60, 2011.
- [21] BERKOWICZ, R.; HERTEL, O.; LARSEN, S. E.; SØRENSEN, N. N.; NIELSEN, M. **Modelling traffic pollution in streets.** *National Environmental Research Institute, Roskilde, Denmark*, 10129(10136):20, 1997.

- [22] BJÖRK, S. **Flip zooming. the development of an information visualization technique.** *Gothenburg studies in Informatics*, (19), 2000.
- [23] BJÖRK, S. **Hierarchical flip zooming: enabling parallel exploration of hierarchical visualizations.** In: *Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces*, p. 232–237. ACM, 2000.
- [24] BLACKMON, M. H.; POLSON, P. G.; KITAJIMA, M.; LEWIS, C. **Cognitive walkthrough for the web.** In: *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, p. 463–470. ACM, 2002.
- [25] BLOOMBERG, L.; DALE, J. **Comparison of vissim and corsim traffic simulation models on a congested network.** *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1727(-1):52–60, 2000.
- [26] BORHO, S. **ATLAS: A Language For Modeling And Simulating Urban Traffic Visualization Of Traffic Models.** PhD thesis, Citeseer, 2003.
- [27] BORREGO, C.; BARROS, N.; LOPES, M.; CONCEIÇÃO, M.; VALINHAS, M.; TCHPEL, O.; FERREIRA, C.; COUTINHO, M.; LEMOS, S. **Emission inventory for simulation and validation of mesoscale models.** In: *Proc. of the EUROTRAC-2 Symposium*, volume 98, p. 8–10, 1998.
- [28] BOXILL, S. A.; YU, L. **An evaluation of traffic simulation models for supporting its.** 2000.
- [29] BOYANDIN, I.; BERTINI, E.; BAK, P.; LALANNE, D. **Flowstrates: An approach for visual exploration of temporal origin-destination data.** In: *Computer Graphics Forum*, volume 30, p. 971–980. Wiley Online Library, 2011.
- [30] BRANDT, J.; CHRISTENSEN, J.; FROHN, L.; BERKOWICZ, R. **Air pollution forecasting from regional to urban street scale—implementation and validation for two cities in denmark.** *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 28(8):335 – 344, 2003.
- [31] BUCH, N.; VELASTIN, S.; ORWELL, J. **A review of computer vision techniques for the analysis of urban traffic.** *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 12(3):920–939, 2011.
- [32] BUCKLAND, M. K. **Information as thing.** *Journal of the American Society for Information Science (1986-1998)*, 42(5):351, 1991.

- [33] BURGHOUT, W.; KOUTSOPOULOS, H. N.; ANDREASSON, I. **Hybrid mesoscopic-microscopic traffic simulation**. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1934(-1):218–255, 2005.
- [34] BUTTON, K. J. **Handbook of transport systems and traffic control**, volume 3. Emerald Group Publishing, 2001.
- [35] CARD, S. K.; MACKINLAY, J. D.; SHNEIDERMAN, B. **Readings in information visualization: using vision to think**. Morgan Kaufmann Pub, 1999.
- [36] CASCETTA, E. **Estimation of trip matrices from traffic counts and survey data: A generalized least squares estimator**. *Transportation Research Part B: Methodological*, 18(4):289–299, 1984.
- [37] CHAN, W. W.-Y. **A survey on multivariate data visualization**. *Department of Computer Science and Engineering. Hong Kong University of Science and Technology*, 8(6):1–29, 2006.
- [38] CHEN, C. **Top 10 unsolved information visualization problems**. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 25(4):12–16, 2005.
- [39] CHEN, C. **Information visualization**. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 2(4):387–403, 2010.
- [40] CHEN, C.; BÖRNER, K. **Top ten problems in visual interfaces to digital libraries**. In: *Visual Interfaces to Digital Libraries*, p. 226–231. Springer, 2002.
- [41] CHEN, G.; ESCH, G.; WONKA, P.; MÜLLER, P.; ZHANG, E. **Interactive procedural street modeling**. In: *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, volume 27, p. 103. ACM, 2008.
- [42] CHEN, W.; GUO, F.; WANG, F.-Y. **A survey of traffic data visualization**. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16(6):2970–2984, 2015.
- [43] CHEN, X.; SANTOS-NETO, E.; RIPEANU, M. **Crowdsourcing for on-street smart parking**. In: *Proceedings of the second ACM international symposium on Design and analysis of intelligent vehicular networks and applications*, p. 1–8. ACM, 2012.
- [44] CHEN, X.; OTHERS. **Seeing differently: cartography for subjective maps based on dynamic urban data**. PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2011.
- [45] CHENG, J.; ZHOU, J. **Urban growth in a rapidly urbanized mega city: Wuhan**. In: *Urban Development Challenges, Risks and Resilience in Asian Mega Cities*, p. 301–322. Springer, 2015.

- [46] CHERNOFF, H. **The use of faces to represent points in k-dimensional space graphically.** *Journal of the American Statistical Association*, 68(342):361–368, 1973.
- [47] CHEUNG, S.-C. S.; KAMATH, C. **Robust background subtraction with foreground validation for urban traffic video.** *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2005(14):1–11, 2005.
- [48] CHI, E. H. **A taxonomy of visualization techniques using the data state reference model.** In: *Information Visualization, 2000. InfoVis 2000. IEEE Symposium on*, p. 69–75. IEEE, 2000.
- [49] CITYMOTION. **Morphing city.** <http://fmachado.dei.uc.pt/featured/visualizing-traffic>. Acessado: 16-06-2012.
- [50] CLARAMUNT, C.; JIANG, B.; BARGIELA, A. **A new framework for the integration, analysis and visualisation of urban traffic data within geographic information systems.** *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 8(1–6):167 – 184, 2000.
- [51] CRUZ, P.; MACHADO, P. **Visualizing the circulatory problems of lisbon.** In: *ACM SIGGRAPH 2011 Posters*, p. 92. ACM, 2011.
- [52] CYBIS, W. D. A. **Engenharia de usabilidade: uma abordagem ergonômica.** *Florianópolis: Laboratório de utilizabilidade de informática*, 2003.
- [53] DARGAY, J.; GATELY, D.; SOMMER, M. **Vehicle ownership and income growth, worldwide: 1960-2030.** *The Energy Journal*, 28(4):pp. 143–170, 2007.
- [54] DEMARCHI, S. H.; BERTOCINI, B. **Determinação de matrizes od sintéticas a partir de contagens volumétricas.** In: *Anais do XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, 2004.
- [55] DIX, A. **Human-computer interaction.** Springer, 2009.
- [56] DO NASCIMENTO, H. A.; EADES, P. **A focus and constraint-based genetic algorithm for interactive directed graph drawing.** School of Information Technologies, University of Sydney, 2002.
- [57] DO NASCIMENTO, H. A.; FERREIRA, C. B. **Visualização de informações—uma abordagem prática.** In: *XXV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, XXIV JAI. UNISINOS, S. Leopoldo—RS*, 2005.

- [58] DOS SANTOS, L.; FERREIRA, D. L. **Sistema de informação geográfica aplicado ao planejamento de trânsito e transportes.** *Caminhos de Geografia*, 5(12):94–113, 2004.
- [59] EICK, S. G. **Information visualization.** *IEEE Computer Graphics and Applications*, 272:97, 1716.
- [60] ELBIR, T. **A gis based decision support system for estimation, visualization and analysis of air pollution for large turkish cities.** *Atmospheric Environment*, 38(27):4509 – 4517, 2004.
- [61] ELBIR, T.; MANGIR, N.; KARA, M.; SIMSIR, S.; EREN, T.; OZDEMIR, S. **Development of a gis-based decision support system for urban air quality management in the city of istanbul.** *Atmospheric Environment*, 44(4):441 – 454, 2010.
- [62] ELMQVIST, N.; DRAGICEVIC, P.; FEKETE, J.-D. **Rolling the dice: Multidimensional visual exploration using scatterplot matrix navigation.** *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, 14(6):1539–1148, 2008.
- [63] ESTEVE, M.; PALAU, C.; MARTÍNEZ-NOHALES, J.; MOLINA, B. **A video streaming application for urban traffic management.** *Journal of Network and Computer Applications*, 30(2):479 – 498, 2007.
- [64] FAYYAD, U. M.; WIERSE, A.; GRINSTEIN, G. G. **Information visualization in data mining and knowledge discovery.** Morgan Kaufmann Pub, 2002.
- [65] FOLEY, J. **Getting there: The ten top problems left.** *IEEE Computer Graphics and Applications*, (1):66–68, 2000.
- [66] FREITAS, C. M. D. S. **Uma abordagem unificada para análise exploratória e simulação interativa visual.** 1994.
- [67] FREITAS, H.; OLIVEIRA, M.; SACCOL, A. Z.; MOSCAROLA, J. **O método de pesquisa survey.** *Revista de Administra&ccdeil; ão da Universidade de São Paulo*, 35(3), 2000.
- [68] FUKUSHIMA, M. **A modified frank-wolfe algorithm for solving the traffic assignment problem.** *Transportation Research Part B: Methodological*, 18(2):169–177, 1984.
- [69] FURMANSKI, C.; AZUMA, R.; DAILY, M. **Augmented-reality visualizations guided by cognition: Perceptual heuristics for combining visible and obscured information.** In: *Mixed and Augmented Reality, 2002. ISMAR 2002. Proceedings. International Symposium on*, p. 215–320. IEEE, 2002.

- [70] FURNAS, G. W. **Generalized fisheye views**, volume 17. ACM, 1986.
- [71] GARTNER, N.; MESSER, C. J.; RATHI, A. K. **Traffic flow theory: A state-of-the-art report**. *Transportation Research Board, Revised Monograph on Traffic Flow Theory*, 1997.
- [72] GERSHON, N.; EICK, S. G.; CARD, S. **Information visualization**. *interactions*, 5(2):9–15, 1998.
- [73] GOBBO, A. F. **Proposta de aplicação de sistema de inferência neuro-fuzzy para otimização de tráfego**. 2010.
- [74] GONDIM, H. W. A. S.; DO NASCIMENTO, H. A. D.; REILLY, D. **Visualizações de matrizes origem-destino no cenário do tráfego urbano**. In: *XXVII Sibgrapi Conference on Graphics, Patterns and Images.*, p. 32–35. SIBGRAPI, 2014.
- [75] GONDIM, H. W. A. S.; DO NASCIMENTO, H. A. D.; REILLY, D. **Odflores - a visual representation of origin-destination matrices in urban traffic scenarios**. In: *XXVIII Sibgrapi Conference on Graphics, Patterns and Images. - Workshop on Visual Analytics, Information Visualization and Scientific Visualization, (WVIS)*. SIBGRAPI, 2015.
- [76] GONDIM, H.; DO NASCIMENTO, H.; REILLY, D. **Visualizing large scale vehicle traffic network data a survey of the state-of-the-art**. In: *Information Visualization Theory and Applications (IVAPP), 2014 International Conference on*, p. 337–346. IEEE, 2014.
- [77] GUIDE, C. U. **Version 5.1**. *ITT Industries, Inc., FHWA Office of Operations Research*, 2003.
- [78] GUNAY, B.; ERDEMIR, G. **Using wavelet transforms for better interpretation of traffic simulation**. *Traffic Engineering and Control*, 50(10):450–453, 2009.
- [79] HA, H.-H.; THILL, J.-C. **Analysis of traffic hazard intensity: A spatial epidemiology case study of urban pedestrians**. *Computers, Environment and Urban Systems*, 35(3):230 – 240, 2011.
- [80] HALATI, A.; LIEU, H.; WALKER, S. **Corsim-corridor traffic simulation model**. In: *Traffic Congestion and Traffic Safety in the 21st Century: Challenges, Innovations, and Opportunities*, 1997.
- [81] HASAN, M.; SAFWAT, K. N. A. **Comparison of two transportation network equilibrium modeling approaches**. *Journal of transportation engineering*, 126(1):35–40, 2000.

- [82] HE, Y.-P.; XU, J.-P.; HUANG, N.-J.; WU, M. **Dynamic traffic network equilibrium system**. *Fixed Point Theory and Applications*, 2010(1):873025, 2010.
- [83] HELBING, D.; HENNECKE, A.; SHVETSOV, V.; TREIBER, M. **Master: macroscopic traffic simulation based on a gas-kinetic, non-local traffic model**. *Transportation Research Part B: Methodological*, 35(2):183–211, 2001.
- [84] HERBERT, J. S. **Métodos para a avaliação da qualidade de software**. UFRGS, Instituto de Informática, 1995.
- [85] HERMAN, I.; MELANÇON, G.; MARSHALL, M. S. **Graph visualization and navigation in information visualization: A survey**. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, 6(1):24–43, 2000.
- [86] HIRASAWA, M.; ASANO, M. **Development of traffic accident analysis system using gis**. In: *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, volume 4, p. 1193–1199, 2003.
- [87] HIX, D.; HARTSON, H. R. **Developing user interfaces: ensuring usability through product & process**. John Wiley & Sons, Inc., 1993.
- [88] HIX, D.; HARTSON, H. R.; MOYA, C. J. **Developing user interfaces: Ensuring usability through product and process**. *Technical Communication*, 42(2):361, 1995.
- [89] HOLMQUIST, L. E. **Focus+ context visualization with flip zooming and the zoom browser**. In: *CHI'97 extended abstracts on Human factors in computing systems: looking to the future*, p. 263–264. ACM, 1997.
- [90] HOOGENDOORN, S. P.; BOVY, P. H. **State-of-the-art of vehicular traffic flow modelling**. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, 215(4):283–303, 2001.
- [91] HOWE, J. **The rise of crowdsourcing**. *Wired magazine*, 14(6):1–4, 2006.
- [92] HUANG, B.; PAN, X. **Gis coupled with traffic simulation and optimization for incident response**. *Computers, environment and urban systems*, 31(2):116–132, 2007.
- [93] JANSON, B. N. **Dynamic traffic assignment for urban road networks**. *Transportation Research Part B: Methodological*, 25(2):143–161, 1991.
- [94] JEFFRIES, R.; MILLER, J. R.; WHARTON, C.; UYEDA, K. **User interface evaluation in the real world: a comparison of four techniques**. In: *Proceedings of the*

- SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, p. 119–124. ACM, 1991.
- [95] JOHN, M.; TOMINSKI, C.; SCHUMANN, H. **Visual and analytical extensions for the table lens**. In: *Electronic Imaging 2008*, p. 680907–680907. International Society for Optics and Photonics, 2008.
- [96] JOHNSON, B.; SHNEIDERMAN, B. **Tree-maps: A space-filling approach to the visualization of hierarchical information structures**. In: *Visualization, 1991. Visualization'91, Proceedings., IEEE Conference on*, p. 284–291. IEEE, 1991.
- [97] JOHNSON, C. **Top scientific visualization research problems**. *Computer graphics and applications, IEEE*, 24(4):13–17, 2004.
- [98] JOHNSON, C. R.; SANDERSON, A. **A next step: Visualizing errors and uncertainty**. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 23(5):6–10, 2003.
- [99] JRADI, W. A. R.; OTHERS. **Uma arquitetura de software interativo para apoio à decisão na modelagem e análise do tráfego urbano**. 2008.
- [100] JRADI, W. A.; DO NASCIMENT, H. A.; LONGO, H.; HALL, B. R. **Simulation and analysis of urban traffic the architecture of a web-based interactive decision support system**. In: *2009 12th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, p. 1–6. IEEE, 2009.
- [101] KAMGA, C. N.; MOUSKOS, K. C.; PAASWELL, R. E. **A methodology to estimate travel time using dynamic traffic assignment (dta) under incident conditions**. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19(6):1215–1224, 2011.
- [102] KARAT, C.-M. **Cost-benefit analysis of usability engineering techniques**. In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, volume 34, p. 839–843. SAGE Publications, 1990.
- [103] KEIM, D. A. **Information visualization and visual data mining**. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, 8(1):1–8, 2002.
- [104] KELIN, U.; SCHULZE, T.; STRASSBURGER, S. **Traffic simulation based on the high level architecture**. In: *Proceedings of the 30th conference on Winter simulation*, p. 1095–1104. IEEE Computer Society Press, 1998.
- [105] KIM, K.; OH, S.; LEE, J.; ESSA, I. **Augmenting aerial earth maps with dynamic information**. In: *Mixed and Augmented Reality, 2009. ISMAR 2009. 8th IEEE International Symposium on*, p. 35–38. IEEE, 2009.

- [106] KLERKX, J.; DUVAL, E.; MEIRE, M. **Using information visualization for accessing learning object repositories.** In: *Information Visualisation, 2004. IV 2004. Proceedings. Eighth International Conference on*, p. 465–470. IEEE, 2004.
- [107] KLOECKL, K.; DI LORENZO, G.; SENN, O.; RATTI, C. **Live singapore!-an urban platform for real-time data to program the city.** *Proceedings of CUPUM*, 2011.
- [108] KOTUSHEVSKI, G.; HAWICK, K. A. **A review of traffic simulation software.** Technical Report CSTN-095, Computer Science, Massey University, Albany, North Shore 102-904, Auckland, New Zealand, 2009.
- [109] KRAJZEWICZ, D.; HERTKORN, G.; RÖSSEL, C.; WAGNER, P. **Sumo (simulation of urban mobility).** In: *Proc. of the 4th Middle East Symposium on Simulation and Modelling*, p. 183–187, 2002.
- [110] LAB, M. S. C. **Copenhagen wheel.** <http://senseable.mit.edu/copenhagenwheel/>. Acessado: 22-07-2012.
- [111] LAMPING, J.; RAO, R.; PIROLI, P. **A focus+ context technique based on hyperbolic geometry for visualizing large hierarchies.** In: *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, p. 401–408. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1995.
- [112] LANDEIRO, V. L. **Introdução ao uso do programa r.** *Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia*, 2011.
- [113] LARSON, N.; RASMUSSEN, C. **Where the rubber meets the rail: Light rail transit simulation with corsim.** In: *Compendium of Papers. Institute of Transportation Engineers 2000, District 6 Annual Meeting*, 2000.
- [114] LEBLANC, L. J.; HELGASON, R. V.; BOYCE, D. E. **Improved efficiency of the frank-wolfe algorithm for convex network programs.** *Transportation Science*, 19(4):445–462, 1985.
- [115] LI, B.; TAO, S.; DAWSON, R.; CAO, J.; LAM, K. **A gis based road traffic noise prediction model.** *Applied acoustics*, 63(6):679–691, 2002.
- [116] LI, C.; WANG, X.; JIA, J. **On functional classification of urban roads in china [j].** *URBAN PLANNING REVIEW*, 4:011, 1999.
- [117] LI, X.; LV, Z.; HU, J.; ZHANG, B.; YIN, L.; ZHONG, C.; WANG, W.; FENG, S. **Traffic management and forecasting system based on 3d gis.** *arXiv preprint arXiv:1504.01375*, 2015.

- [118] LI, X.; LV, Z.; ZHANG, B.; WANG, W.; FENG, S.; HU, J. **Webvrgis based city bigdata 3d visualization and analysis**. *arXiv preprint arXiv:1504.01051*, 2015.
- [119] LIMA, I. **Bibliotecas digitais: modelo metodológico para avaliação de usabilidade**. 2012. PhD thesis, Tese (Doutorado em Ciência da Informação)-Escola de Ciência da Informação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.[Links], 2012.
- [120] LIN, S.-T.; ZHANG, L.; WANG, Q.; XUE, Y.-Q. **Feeder bus line design methodology and application based on regional traffic model [j]**. *Science Technology and Engineering*, 2:049, 2010.
- [121] LIU, R.; TATE, J. **Network effects of intelligent speed adaptation systems**. *Transportation*, 31(3):297–325, 2004.
- [122] LIU, R.; VAN VLIET, D.; WATLING, D. **Dracula: dynamic route assignment combining user learning and microsimulation**. *PTRC-PUBLICATIONS-P*, p. 143–152, 1995.
- [123] LIU, R.; VAN VLIET, D.; WATLING, D. **Microsimulation models incorporating both demand and supply dynamics**. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 40(2):125–150, 2006.
- [124] LIU, Y.; WANG, F.; XIAO, Y.; GAO, S. **Urban land uses and traffic ‘source-sink areas’: Evidence from gps-enabled taxi data in shanghai**. *Landscape and Urban Planning*, 106(1):73 – 87, 2012.
- [125] LU, C.-T.; BOEDIHARDJO, A. P.; ZHENG, J. **Aitvs: Advanced interactive traffic visualization system**. In: *22nd International Conference on Data Engineering (ICDE’06)*, p. 167–167. IEEE, 2006.
- [126] LUZZARDI, P. R. G. **Critérios de avaliação de técnicas de visualização de informações hierárquicas**. *Rio Grande do Sul, Brasil*, 2003.
- [127] MACK, R. L.; NIELSEN, J. **Usability inspection methods**. Wiley & Sons New York, NY, 1994.
- [128] MACKINLAY, J. D.; ROBERTSON, G. G.; CARD, S. K. **The perspective wall: Detail and context smoothly integrated**. In: *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: Reaching through technology*, p. 173–176. ACM, 1991.

- [129] MADSEN, C.; CARLSEN, K. C. L.; HOEK, G.; OFTEDAL, B.; NAFSTAD, P.; MELI-EFSTE, K.; JACOBSEN, R.; NYSTAD, W.; CARLSEN, K.-H.; BRUNEKREEF, B. **Modeling the intra-urban variability of outdoor traffic pollution in oslo, norway—a ga2len project.** *Atmospheric Environment*, 41(35):7500 – 7511, 2007.
- [130] MAHUT, M.; FLORIAN, M. **Traffic simulation with dynameq.** *Fundamentals of Traffic Simulation*, p. 323–361, 2010.
- [131] MCNALLY, M. G. **The four-step model.** *Handbook of transport modelling*, 1:35–41, 2000.
- [132] MESBAH, M.; CURRIE, G.; LENNON, C.; NORTHCOTT, T. **Spatial and temporal visualization of transit operations performance data at a network level.** *Journal of Transport Geography*, 25(0):15 – 26, 2012. <ce:title>Special Section on Accessibility and Socio-Economic Activities: Methodological and Empirical Aspects</ce:title>.
- [133] MILLS, D.; BONN, E. A.; SAN JUAN, S. S. T. M. **Macintosh human interface guidelines.** 1995.
- [134] MORIOKA, M.; KURAMOCHI, K.; MISHINA, Y.; AKIYAMA, T.; TANIGUCHI, N. **City management platform using big data from people and traffic flows.** *Hitachi Review*, 64(1):53, 2015.
- [135] MORSE, E.; LEWIS, M.; OLSEN, K. A. **Evaluating visualizations: using a taxonomic guide.** *International Journal of Human-Computer Studies*, 53(5):637–662, 2000.
- [136] NIELSEN, J. **Usability inspection methods.** In: *Conference companion on Human factors in computing systems*, p. 413–414. ACM, 1994.
- [137] NIELSEN, J.; MOLICH, R. **Heuristic evaluation of user interfaces.** In: *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, p. 249–256. ACM, 1990.
- [138] NORMANDO, A. D. C.; TJÄDERHANE, L.; QUINTÃO, C. C. A. **A escolha do teste estatístico—um tutorial em forma de apresentação em powerpoint.** 2010.
- [139] ORTUZAR, J. D. D.; WILLUMSEN, L. G. **Equilibrium and Dynamic Assignment**, p. 391–427. John Wiley & Sons, Ltd, 2011.
- [140] PANWAI, S.; DIA, H. **Comparative evaluation of microscopic car-following behavior.** *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 6(3):314–325, 2005.

- [141] PIMENTA, M. S. **TAREFA: uma abordagem para a engenharia dos requisitos de sistemas interativos**. PhD thesis, Toulouse 1, 1997.
- [142] PIROLI, P.; RAO, R. **Table lens as a tool for making sense of data**. In: *Proceedings of the workshop on Advanced visual interfaces*, p. 67–80. ACM, 1996.
- [143] POLLIER, A.; HOC, J.-M. **Evaluation d'une interface par des ergonomes: diagnostics et stratégies**. *Le Travail Humain*, p. 71–95, 1992.
- [144] POLLIER, A. **Evaluation d'une interface par des ergonomes: diagnostics et stratégies**. Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique, 1991.
- [145] PREECE, J.; ROGERS, Y.; SHARP, H. **Design de interação**. Bookman, 2005.
- [146] PREECE, J.; ROGERS, Y.; SHARP, H.; BENYON, D.; HOLLAND, S.; CAREY, T. **Human-computer interaction**. Addison-Wesley Longman Ltd., 1994.
- [147] RAO, R.; CARD, S. K. **The table lens: merging graphical and symbolic representations in an interactive focus+ context visualization for tabular information**. In: *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, p. 318–322. ACM, 1994.
- [148] RAO, R.; CARD, S. K. **Exploring large tables with the table lens**. In: *Conference companion on Human factors in computing systems*, p. 403–404. ACM, 1995.
- [149] RAVDEN, S.; JOHNSON, G. **Evaluating usability of human-computer interfaces: a practical method**. Halsted Press, 1989.
- [150] READES, J. **Pulse of the City**. <http://simulacra.blogs.casa.ucl.ac.uk/2011/08/pulse-of-the-city/>. Acessado: 22-06-2012.
- [151] REDISH, J. G. **Expanding usability testing to evaluate complex systems**. *Journal of Usability Studies*, 2(3):102–111, 2007.
- [152] REINARTZ, P.; LACHAISE, M.; SCHMEER, E.; KRAUSS, T.; RUNGE, H. **Traffic monitoring with serial images from airborne cameras**. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 61(3–4):149 – 158, 2006. <ce:title>Theme Issue: Airborne and Spaceborne Traffic Monitoring</ce:title>.
- [153] ROBERTSON, G. G.; MACKINLAY, J. D. **The document lens**. In: *Proceedings of the 6th annual ACM symposium on User interface software and technology*, p. 101–108. ACM, 1993.
- [154] ROMANI, L. A. S. R.; BARANAUSKAS, M. C. C. **Avaliação heurística de um sistema altamente dependente do domínio**. UNICAMP-IC, 1998.

- [155] RONALDO, A.; OTHERS. **Comparison of the two micro-simulation software aimsun & sumo for highway traffic modelling.** 2012.
- [156] ROSSETTI, R. J.; LIU, R.; CYBIS, H. B.; BAMPI, S. **A multi-agent demand model.** In: *Proceedings of the 13th Mini-Euro Conference and The 9th Meeting of the Euro Working Group Transportation*, p. 193–198, 2002.
- [157] RUBIN, J.; CHISNELL, D. **Handbook of usability testing: how to plan, design and conduct effective tests.** John Wiley & Sons, 2008.
- [158] SAFWAT, K. N. A.; MAGNANTI, T. L. **A combined trip generation, trip distribution, modal split, and trip assignment model.** *Transportation Science*, 22(1):14–30, 1988.
- [159] SANTOS, L. D.; RAIA JUNIOR, A. A. **Análise espacial de dados geográficos: A utilização da exploratory spatial data analysis-esda para identificação de áreas críticas de acidentes de trânsito no município de são carlos (sp)/spatial analysis of geographic data: the use of the explor.....** *Revista Sociedade & Natureza*, 18(35), 2006.
- [160] SCHOLTZ, J. **Beyond usability: Evaluation aspects of visual analytic environments.** In: *Visual Analytics Science and Technology, 2006 IEEE Symposium On*, p. 145–150. IEEE, 2006.
- [161] SCHOLTZ, J. **Metrics for evaluating human information interaction systems.** *Interacting with Computers*, 18(4):507–527, 2006.
- [162] SCHULZ, A. S.; MOSES, N. S. **On the performance of user equilibria in traffic networks.** In: *Proceedings of the fourteenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms*, p. 86–87. Society for Industrial and Applied Mathematics, 2003.
- [163] SEONG, J. C.; PARK, T. H.; KO, J. H.; CHANG, S. I.; KIM, M.; HOLT, J. B.; MEHDI, M. R. **Modeling of road traffic noise and estimated human exposure in fulton county, georgia, usa.** *Environment international*, 37(8):1336–1341, 2011.
- [164] SEWALL, J.; WILKIE, D.; LIN, M. C. **Interactive hybrid simulation of large-scale traffic.** In: *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, volume 30, p. 135. ACM, 2011.
- [165] SHARP, H.; ROGERS, Y.; PREECE, J. **Design de interação: além da interação homem-computador.** *Artmed*, 2005.
- [166] SHERALI, H. D.; NARAYANAN, A.; SIVANANDAN, R. **Estimation of origin-destination trip-tables based on a partial set of traffic link volumes.** *Transportation Research Part B: Methodological*, 37(9):815–836, 2003.

- [167] SHNEIDERMAN, B. **The eyes have it: A task by data type taxonomy for information visualizations.** In: *Visual Languages, 1996. Proceedings., IEEE Symposium on*, p. 336–343. IEEE, 1996.
- [168] SHNEIDERMAN, B. **Treemaps for space-constrained visualization of hierarchies,** 1998.
- [169] SILVA, S. F.; CATARCI, T. **Visualization of linear time-oriented data: a survey.** In: *Web Information Systems Engineering, 2000. Proceedings of the First International Conference on*, volume 1, p. 310–319. IEEE, 2000.
- [170] SLINGSBY, A.; DYKES, J.; WOOD, J. **Using treemaps for variable selection in spatio-temporal visualisation.** *Information Visualization*, 7(3-4):210–224, 2008.
- [171] SNYDER, C. **Paper prototyping: The fast and easy way to design and refine user interfaces.** Morgan Kaufmann, 2003.
- [172] SOLTANI, A.; ASKARI, S. **Analysis of intra-urban traffic accidents using spatiotemporal visualization techniques.** *Transport and telecommunication journal*, 15(3):227–232, 2014.
- [173] SPENCE, R.; PRESS, A. **Information visualization.** 2000.
- [174] STASKO, J.; ZHANG, E. **Focus+ context display and navigation techniques for enhancing radial, space-filling hierarchy visualizations.** In: *Information Visualization, 2000. InfoVis 2000. IEEE Symposium on*, p. 57–65. IEEE, 2000.
- [175] STORRS, G. **The notion of task in human-computer interaction.** In: *BCS HCI*, p. 357–365, 1995.
- [176] SVENNERBERG, G. **Beginning Google Maps API 3.** Apress, 2010.
- [177] TALELE, T.; PANDIT, G.; DESHMUKH, P. **Dynamic ridesharing using social media.** *International Journal*, 2012.
- [178] TANG, U.; WANG, Z. **Influences of urban forms on traffic-induced noise and air pollution: Results from a modelling system.** *Environmental Modelling and Software*, 22(12):1750 – 1764, 2007.
- [179] TAYLOR, M. A.; WOOLLEY, J. E.; ZITO, R. **Integration of the global positioning system and geographical information systems for traffic congestion studies.** *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 8(1):257–285, 2000.
- [180] TAYLOR, M. A.; YOUNG, W.; BONSALE, P. W. **Understanding traffic systems: data, analysis and presentation.** 1996.

- [181] TERGAN, S.-O.; KELLER, T. **Knowledge and information visualization: Searching for synergies**, volume 3426. Springer-Verlag New York Incorporated, 2005.
- [182] THOMAS, C. **Fisheye strategy**, 2002.
- [183] THOMAS, J. J.; COOK, K.; OTHERS. **A visual analytics agenda**. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 26(1):10–13, 2006.
- [184] TIAN, X.; MAHUT, M.; JHA, M.; FLORIAN, M. A. **Dynameq application to evaluating the impact of freeway reconstruction**. In: *Transportation Research Board 86th Annual Meeting*, número 07-2493, 2007.
- [185] TOLFO, J. D. **Estudo comparativo de técnicas de análise de desempenho de redes viárias no entorno de pólos geradores de viagens**. PhD thesis, Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro–RJ, 2006.
- [186] TOMTOM. **Tomtom traffic index - measuring congestion worldwide**. [http://www.tomtom.com/en\\_gb/trafficindex/#/](http://www.tomtom.com/en_gb/trafficindex/#/). Acessado: 16-06-2015.
- [187] TORY, M.; MÖLLER, T. **Rethinking visualization: A high-level taxonomy**. In: *Information Visualization, 2004. INFOVIS 2004. IEEE Symposium on*, p. 151–158. IEEE, 2004.
- [188] TSAI, K.-T.; LIN, M.-D.; CHEN, Y.-H. **Noise mapping in urban environments: A taiwan study**. *Applied Acoustics*, 70(7):964 – 972, 2009.
- [189] VALIATI, E. R. D. A.; LEVACOV, M.; LIMA, J.; PIMENTA, M. **Utilizando professores como avaliadores heurísticos de interfaces de software educacional**. SIIE'2000-Simposio Internacional de Informática Educativa, 2000.
- [190] VALIATI, E. D. A. **Avaliação de usabilidade de técnicas de visualização de informações multidimensionais**. *Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de informática, Programa de Pós-Graduação em Computação*, 2008.
- [191] VAN VLIET, D.; HALL, M. **Saturn 10.5: User manual**. *Leeds, UK: Institute for Transport Studies, University of Leeds*, 2004.
- [192] VAN VLIET, D. **Saturn-a modern assignment model**. *Traffic Engineering and Control*, 23(HS-034 256), 1982.
- [193] VAN WIJK, J. J.; VAN DE WETERING, H. **Cushion treemaps: Visualization of hierarchical information**. In: *Information Visualization, 1999.(Info Vis' 99) Proceedings. 1999 IEEE Symposium on*, p. 73–78. IEEE, 1999.

- [194] VIAU, C.; MCGUFFIN, M. J.; CHIRICOTA, Y.; JURISICA, I. **The flowvizmenu and parallel scatterplot matrix: Hybrid multidimensional visualizations for network exploration.** *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, 16(6):1100–1108, 2010.
- [195] WAINER, G.; GIAMBIASI, N. **Timed cell-devs: modeling and simulation of cell spaces.** In: *Discrete event modeling and simulation technologies*, p. 187–214. Springer-Verlag New York, Inc., 2001.
- [196] WANG, G.; VAN DEN BOSCH, F.; KUFFER, M. **Modelling urban traffic air pollution dispersion.** *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(Part B8):153–158, 2008.
- [197] WANG, H.; ZOU, H.; YUE, Y.; LI, Q. **Visualizing hot spot analysis result based on mashup.** In: *Proceedings of the 2009 International Workshop on Location Based Social Networks, LBSN '09*, p. 45–48, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [198] WANG, X. **Integrating gis, simulation models, and visualization in traffic impact analysis.** *Computers, Environment and Urban Systems*, 29(4):471–496, 2005.
- [199] WANG, X. **Integrating gis, simulation models, and visualization in traffic impact analysis.** *Computers, Environment and Urban Systems*, 29(4):471 – 496, 2005.
- [200] WARE, C. **Information visualization: perception for design.** Morgan Kaufmann Pub, 2012.
- [201] WEHREND, S.; LEWIS, C. **A problem-oriented classification of visualization techniques.** In: *Proceedings of the 1st Conference on Visualization'90*, p. 139–143. IEEE Computer Society Press, 1990.
- [202] WEISSMAN, D.; VILLALOBOS, M. **Mobility apps.** 2012.
- [203] WHARTON, C.; RIEMAN, J.; LEWIS, C.; POLSON, P. **The cognitive walkthrough method: A practitioner's guide.** In: *Usability inspection methods*, p. 105–140. John Wiley & Sons, Inc., 1994.
- [204] WINCKLER, M. A. A.; NEMETZ, F.; LIMA, J. D. **Estudo de caso da aplicação do método de avaliação heurística em um projeto multidisciplinar.** *Proceedings IHC*, 98, 1998.
- [205] WOOD, J.; DYKES, J.; SLINGSBY, A. **Visualisation of origins, destinations and flows with od maps.** *Cartographic Journal, The*, 47(2):117–129, 2010-05-01T00:00:00.

- [206] XIANG, Y.; CHAU, M.; ATABAKHSH, H.; CHEN, H. **Visualizing criminal relationships: comparison of a hyperbolic tree and a hierarchical list.** *Decision Support Systems*, 41(1):69–83, 2005.
- [207] XIE, Z.; YAN, J. **Kernel density estimation of traffic accidents in a network space.** *Computers, Environment and Urban Systems*, 32(5):396–406, 2008.
- [208] YAGAR, A. **Study of the travel patterns in a corridor with reference to the assignment principles of wardrop.** *Traffic Flow and Transportation*, 1971.
- [209] YOUNG, P. **Three dimensional information visualisation.** *Computer Science Technical Report*, (12/96), 1996.
- [210] ZANNIN, P. H. T.; ENGEL, M. S.; FIEDLER, P. E. K.; BUNN, F. **Characterization of environmental noise based on noise measurements, noise mapping and interviews: A case study at a university campus in brazil.** *Cities*, 31(0):317 – 327, 2013.
- [211] ZHOU, M. X.; FEINER, S. K. **Visual task characterization for automated visual discourse synthesis.** In: *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, p. 392–399. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1998.



## APÊNDICE A

**Questões - Ensaio de Interação (Avaliação I)****Questionário de Avaliação de Matriz OD - Visualização.**

O objetivo deste questionário é verificar a expressividade e a efetividade da visualização que tem como tema o uso de matrizes de origem e destino no cenário do tráfego urbano. Esse questionário está dividido em duas partes. A primeira é composta por questões utilizando a escala de Likert e a segunda possui questões dissertativas. Sua participação é muito importante!

\*Obrigatório

**1. Nome: \***

Por favor informe seu nome e sobrenome

.....

**Visualização sobre matriz Origem-Destino****2. A visualização utilizada para representar a matriz OD é de fácil compreensão. \***

*Marcar apenas uma oval.*

- 1) Não concordo totalmente
- 2) Não concordo parcialmente
- 3) Indiferente
- 4) Concordo parcialmente
- 5) Concordo totalmente

**3. É possível, de maneira visual, localizar os pontos de origem e destino na visualização \***

*Marcar apenas uma oval.*

- 1) Não concordo totalmente
- 2) Não concordo parcialmente
- 3) Indiferente
- 4) Concordo parcialmente
- 5) Concordo totalmente

**4. A visualização permite identificar o caminho na malha e o seu respectivo par OD. \***

*Marcar apenas uma oval.*

- 1) Não concordo totalmente
- 2) Não concordo parcialmente
- 3) Indiferente
- 4) Concordo parcialmente
- 5) Concordo totalmente

**5. O modo usado para realizar a seleção/filtragem de origens e destinos é satisfatória**

\*

*Marcar apenas uma oval.*

- 1) Não concordo totalmente
- 2) Não concordo parcialmente
- 3) Indiferente
- 4) Concordo parcialmente
- 5) Concordo totalmente

**6. A visualização permite identificar o compartilhamento de caminhos entre os pares OD \****Marcar apenas uma oval.*

- 1) Não concordo totalmente
- 2) Não concordo parcialmente
- 3) Indiferente
- 4) Concordo parcialmente
- 5) Concordo totalmente

**7. Na visualização é possível identificar o sentido do fluxo para cada par OD. \****Ou seja, identificar o sentido origem -> destino.**Marcar apenas uma oval.*

- 1) Não concordo totalmente
- 2) Não concordo parcialmente
- 3) Indiferente
- 4) Concordo parcialmente
- 5) Concordo totalmente

**8. As cores utilizadas na visualização são adequadas. \****Marcar apenas uma oval.*

- 1) Não concordo totalmente
- 2) Não concordo parcialmente
- 3) Indiferente
- 4) Concordo parcialmente
- 5) Concordo totalmente

**9. As animações utilizadas na visualização facilitam o entendimento da mesma.**

\*

A animação facilitou o destaque/transição no momento da interação?

*Marcar apenas uma oval.*

- 1) Não concordo totalmente
- 2) Não concordo parcialmente
- 3) Indiferente
- 4) Concordo parcialmente
- 5) Concordo totalmente

**10. Através da coloração dos caminhos é possível identificar trechos que possuam trânsito pesado ou leve. \****Marcar apenas uma oval.*

- 1) Não concordo totalmente
- 2) Não concordo parcialmente
- 3) Indiferente
- 4) Concordo parcialmente
- 5) Concordo totalmente

**11. As espessuras dos caminhos auxiliam a identificar trechos que possuem grande ou menor volume de veículos. \****Marcar apenas uma oval.*

- 1) Não concordo totalmente
- 2) Não concordo parcialmente
- 3) Indiferente
- 4) Concordo parcialmente
- 5) Concordo totalmente

**12. A visualização permite identificar se a demanda de viagens está concentrada em algumas regiões ou se é mais uniformemente distribuída sobre a malha viária \****Marcar apenas uma oval.*

- 1) Não concordo totalmente
- 2) Não concordo parcialmente
- 3) Indiferente
- 4) Concordo parcialmente
- 5) Concordo totalmente

**13. A visualização oferece feedback rápido para as ações. \***

Ou seja, é possível saber o que está acontecendo no momento da ação em um tempo razoável.

*Marcar apenas uma oval.*

- 1) Não concordo totalmente
- 2) Não concordo parcialmente
- 3) Indiferente
- 4) Concordo parcialmente
- 5) Concordo totalmente

**14. A interação com o uso de mouse e teclado é satisfatória. \***

*Marcar apenas uma oval.*

- 1) Não concordo totalmente
- 2) Não concordo parcialmente
- 3) Indiferente
- 4) Concordo parcialmente
- 5) Concordo totalmente

## Parte II

### Questões dissertativas

---

**15. Qual caminho apresenta um fluxo menor de veículos? Independentemente da velocidade. \***

Pode-se escrever o nome do caminho (Ex. caminho 20) ou o nome do respectivo par OD. (Ex. Setor Universitário - Campinas).

.....

**16. \***

Coloque aqui a média de tempo gasto para responder a questão

.....

**17. Qual caminho apresenta um fluxo maior de veículos? Independentemente da velocidade. \***

Pode-se escrever o nome do caminho (Ex. caminho 20) ou o nome do respectivo par OD. (Ex. Setor Universitário - Campinas).

.....

**18. \***

Coloque aqui a média de tempo gasto para responder a questão

.....

19. **Identifique um caminho que possua tanto trechos lentos quanto rápidos. \***

Pode-se escrever o nome do caminho (Ex. caminho 20) ou o nome do respectivo par OD. (Ex. Setor Universitário - Campinas).

.....

20. \*

Coloque aqui a média de tempo gasto para responder a questão

.....

21. **Identifique os caminhos que compartilham a mesma origem, mas possuem destinos diferentes. \***

Pode-se escrever os nomes do caminhos (Ex. caminho 20 e 21) ou os nomes dos respectivos pares OD. (Ex. Setor Universitário - Campinas, Centro - Setor Sul).

.....

22. \*

Coloque aqui a média de tempo gasto para responder a questão

.....

23. **Identifique os caminhos que compartilham o mesmo destino, mas possuem origens diferentes. \***

Pode-se escrever os nomes do caminhos (Ex. caminho 20 e 21) ou os nomes dos respectivos pares OD. (Ex. Setor Universitário - Campinas, Centro - Setor Sul).

.....

24. \*

Coloque aqui a média de tempo gasto para responder a questão

.....

25. **Localize os dois maiores congestionamentos \***

Pode-se escrever o nome do caminho (Ex. caminho 20) ou o nome do respectivo par OD. (Ex. Setor Universitário - Campinas).

.....

26. \*

Coloque aqui a média de tempo gasto para responder a questão

.....

27. **Localize os caminhos que compartilham o marcador posicionado na praça Cívica.**

\*

Pode-se escrever o nome do caminho (Ex. caminho 20) ou o nome do respectivo par OD. (Ex. Setor Universitário - Campinas).

.....

28. \*

Coloque aqui a média de tempo gasto para responder a questão

.....

## Seu espaço

---

29. **Deixe aqui seu comentário.**

Este é o momento de você propor melhorias ou ressaltar algo importante.

.....

.....

.....

.....

.....

Powered by





## APÊNDICE B

**Questões - Ensaio de Interação (Avaliação II)****Questionário de Avaliação de Matriz OD.**

O objetivo deste questionário é verificar a expressividade e a efetividade da visualização que tem como tema o uso de matrizes de origem e destino no cenário do tráfego urbano. Esse questionário está dividido em duas partes. A primeira é composta por questões utilizando a escala de Likert e a segunda possui questões dissertativas. Sua participação é muito importante!

\*Obrigatório

**1. Nome: \***

Por favor informe seu nome e sobrenome

.....

**Visualização sobre matriz Origem-Destino****2. A visualização utilizada para representar a matriz OD é de fácil compreensão. \***

*Marcar apenas uma oval.*

- 1) Não concordo totalmente
- 2) Não concordo parcialmente
- 3) Indiferente
- 4) Concordo parcialmente
- 5) Concordo totalmente

**3. É possível, de maneira visual, localizar os pontos de origem e destino na visualização \***

*Marcar apenas uma oval.*

- 1) Não concordo totalmente
- 2) Não concordo parcialmente
- 3) Indiferente
- 4) Concordo parcialmente
- 5) Concordo totalmente

**4. A visualização permite identificar na malha o seu respectivo par OD. \***

*Marcar apenas uma oval.*

- 1) Não concordo totalmente
- 2) Não concordo parcialmente
- 3) Indiferente
- 4) Concordo parcialmente
- 5) Concordo totalmente

**5. O modo usado para realizar a seleção/filtragem de origens e destinos é satisfatória**

\*

*Marcar apenas uma oval.*

- 1) Não concordo totalmente
- 2) Não concordo parcialmente
- 3) Indiferente
- 4) Concordo parcialmente
- 5) Concordo totalmente

**6. A visualização permite identificar o compartilhamento de marcadores entre os pares OD \****Marcar apenas uma oval.*

- 1) Não concordo totalmente
- 2) Não concordo parcialmente
- 3) Indiferente
- 4) Concordo parcialmente
- 5) Concordo totalmente

**7. Na visualização é possível identificar o sentido do fluxo para cada par OD. \****Ou seja, identificar o sentido origem -> destino.**Marcar apenas uma oval.*

- 1) Não concordo totalmente
- 2) Não concordo parcialmente
- 3) Indiferente
- 4) Concordo parcialmente
- 5) Concordo totalmente

**8. As cores utilizadas na visualização são adequadas. \****Marcar apenas uma oval.*

- 1) Não concordo totalmente
- 2) Não concordo parcialmente
- 3) Indiferente
- 4) Concordo parcialmente
- 5) Concordo totalmente

**9. As animações utilizadas na visualização facilitam o entendimento da mesma.**

\*

A animação facilitou o destaque/transição no momento da interação?

*Marcar apenas uma oval.*

- 1) Não concordo totalmente
- 2) Não concordo parcialmente
- 3) Indiferente
- 4) Concordo parcialmente
- 5) Concordo totalmente

**10. Através da coloração dos caminhos é possível identificar trechos que possuam trânsito pesado ou leve. \****Marcar apenas uma oval.*

- 1) Não concordo totalmente
- 2) Não concordo parcialmente
- 3) Indiferente
- 4) Concordo parcialmente
- 5) Concordo totalmente

**11. As espessuras dos caminhos auxiliam a identificar trechos que possuem grande ou menor volume de veículos. \****Marcar apenas uma oval.*

- 1) Não concordo totalmente
- 2) Não concordo parcialmente
- 3) Indiferente
- 4) Concordo parcialmente
- 5) Concordo totalmente

**12. A visualização permite identificar se a demanda de viagens está concentrada em algumas regiões ou se é mais uniformemente distribuída sobre a malha viária \****Marcar apenas uma oval.*

- 1) Não concordo totalmente
- 2) Não concordo parcialmente
- 3) Indiferente
- 4) Concordo parcialmente
- 5) Concordo totalmente

**13. A visualização oferece feedback rápido para as ações. \***

Ou seja, é possível saber o que está acontecendo no momento da ação em um tempo razoável.

*Marcar apenas uma oval.*

- 1) Não concordo totalmente
- 2) Não concordo parcialmente
- 3) Indiferente
- 4) Concordo parcialmente
- 5) Concordo totalmente

**14. A interação com o uso de mouse e teclado é satisfatória. \***

*Marcar apenas uma oval.*

- 1) Não concordo totalmente
- 2) Não concordo parcialmente
- 3) Indiferente
- 4) Concordo parcialmente
- 5) Concordo totalmente

**15. É possível identificar o tipo de veículo predominante entre os pares ODs. \***

*Marcar apenas uma oval.*

- 1) Não concordo totalmente
- 2) Não concordo parcialmente
- 3) Indiferente
- 4) Concordo parcialmente
- 5) Concordo totalmente

## Parte II

### Questões dissertativas

---

**16. Qual caminho apresenta um fluxo menor de veículos? Independentemente da velocidade. \***

Pode-se escrever os nomes dos caminhos (Ex. Setor Universitário - Campinas, Centro - Setor Sul).

.....

.....

.....

.....

.....

17. \*

Coloque aqui a média de tempo gasto para responder a questão.

.....

18. **Qual caminho apresenta um fluxo maior de veículos? Independentemente da velocidade. \***

Pode-se escrever os nomes do caminhos (Ex. Setor Universitário - Campinas, Centro - Setor Sul).

.....

.....

.....

.....

.....

19. \*

Coloque aqui a média de tempo gasto para responder a questão.

.....

20. **Identifique um par OD cujo tipo predominante de veículos é pequeno. \***

Pode-se escrever os nomes do caminhos (Ex. Setor Universitário - Campinas, Centro - Setor Sul).

.....

.....

.....

.....

.....

21. \*

Coloque aqui a média de tempo gasto para responder a questão.

.....

22. **Identifique os caminhos que compartilham a mesma origem, mas possuem destinos diferentes. \***

Pode-se escrever os nomes do caminhos (Ex. Setor Universitário - Campinas, Centro - Setor Sul).

.....

.....

.....

.....

.....

23. \*

Coloque aqui a média de tempo gasto para responder a questão.

.....

24. **Identifique os caminhos que compartilham o mesmo destino, mas possuem origens diferentes.** \*

Pode-se escrever os nomes do caminhos (Ex. Setor Universitário - Campinas, Centro - Setor Sul).

.....

.....

.....

.....

.....

25. \*

Coloque aqui a média de tempo gasto para responder a questão.

.....

26. **Localize os dois maiores congestionamentos** \*

Pode-se escrever os nomes do caminhos (Ex. Setor Universitário - Campinas, Centro - Setor Sul).

.....

.....

.....

.....

.....

27. \*

Coloque aqui a média de tempo gasto para responder a questão.

.....

28. **Localize os caminhos que compartilham o marcador posicionado na praça Cívica.** \*

Pode-se escrever os nomes do caminhos (Ex. Setor Universitário - Campinas, Centro - Setor Sul).

.....

.....

.....

.....

.....

29. \*

Coloque aqui a média de tempo gasto para responder a questão.

.....

## Seu espaço

---

30. **Deixe aqui seu comentário.**

Este é o momento de você propor melhorias ou ressaltar algo importante.

.....

.....

.....

.....

.....

Powered by





APÊNDICE C

Dados do Ensaio de Interação (Avaliação I)

Legenda																														
		Questões relativas a satisfação (usa-se escala de Likert)																												
		Questões relativas a eficiência (usa-se tempo em segundos)																												
		Questões relativas a eficácia (usa-se S(acerto) e N(Erro))																												
TODOS A x TODOS B (Ensaio I)																														
Alunos	1º Momento	2º Momento	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18	Q19	Q20	Q21	Q22	Q23	Q24	Q25	Q26	Q27	Q28	
1		A	1	1	2	1	1	1	1	5	3	5	4	4	1	1	N	60	N	60										
2	A		4	4	3	2	5	4	2	4	4	4	4	4	3	S	120	S	30	S	30	S	45	N	90	S	30	S	60	
3		A	2	5	5	4	4	2	5	4	1	1	2	5	4	N	60													
4	A		2	5	5	4	5	5	5	4	5	4	5	4	5	S	60	N	60	S	30	S	30	S	120	S	120	S	60	
5	A		5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	2	4	S	19	S	10	S	20	S	20	S	30	S	10	N	60	
6		A	2	4	2	4	5	5	4	5	5	4	5	4	5	S	40	S	30	S	60	S	30	S	40	N	60	S	30	
7		A	2	3	3	3	4	4	5	4	3	4	4	3	3	S	360	N	120	S	120	N	120	N	120	S	180	S	120	
8	A		4	5	5	3	4	5	4	5	4	4	5	3	4	S	30	S	40	S	10	S	120	S	10	S	15	N	20	
9	A		3	5	4	3	8	5	4	5	5	4	5	5	5	S	300	S	3	S	120	S	300	N	120	S	30	S	30	
10	A		4	5	5	5	5	5	4	5	5	2	2	5	4	S	180	S	20	S	120	S	240	N	120	S	30	N	120	
11		A	5	5	4	4	4	5	5	4	5	4	4	4	4	S	50	S	10	S	10	S	30	S	40	S	15	S	20	
12	A		5	4	5	2	4	2	5	5	5	3	5	4	2	S	15	S	5	S	10	S	10	N	30	S	10	S	15	
13		A	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	3	S	15	S	10	S	10	S	30	S	20	S	20	S	20	
14	A		5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	4	N	40	S	10	S	60	S	90	S	60	S	20	S	120	
15	A		4	4	4	5	5	4	3	4	5	5	3	5	5	S	2	S	1,5	S	2	S	6	S	4	S	5	S	7	
16		A	5	5	4	5	5	5	4	5	5	4	5	5	5	S	10	S	7	S	5	S	15	S	60	S	20	N	30	
17	A		4	4	2	2	3	5	1	5	5	5	1	5	4	N	120	S	60	S	5	N	120	N	180	S	60	N	4	
18		A	2	3	2	4	3	3	1	3	4	3	2	1	4	N	120	S	60	N	60	S	120	N	60	S	120	S	30	
19		A	4	4	5	5	5	5	3	5	5	5	5	4	4	S	2	N	2	S	10	S	7	A	10	S	7	S	10	
20	A		5	5	5	4	5	5	4	5	5	5	4	5	4	S	75	S	35	S	15	S	10	S	90	S	50	N	30	
21		A	5	5	2	2	4	5	4	5	3	3	3	5	4	S	5	N	5	N	5	S	5	N	120	S	30	S	20	
22		A	2	4	3	1	4	4	2	3	4	3	1	3	1	S	40	S	10	S	20	N	60	N	60	S	40	S	40	
Alunos	1º Momento	2º Momento	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18	Q19	Q20	Q21	Q22	Q23	Q24	Q25	Q26	Q27	Q28	
1	B		4	5	5	2	2	1	5	5	5	5	5	5	4	N	3	S	3	S	10	S	10	S	5	S	10	S	20	
2		B	5	5	4	4	4	2	4	4	5	5	4	5	5	S	180	S	120	S	30	N	60	N	60	S	60	S	60	
3	B		4	5	5	4	4	2	5	5	4	1	2	5	5	S	120	S	60	S	60	S	240	S	300	S	60	N	180	
4		B	5	5	5	4	5	4	5	4	5	5	5	5	5	S	120	S	60	S	60	S	120	N	180	S	120	N	60	
5		B	4	4	5	3	4	3	5	3	5	5	4	5	4	S	60	S	5	S	30	S	5	S	5	S	10	S	45	
6	B		5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	S	20	S	15	S	60	N	60	N	60	S	180	S	60	
7	B		4	5	4	3	4	4	5	4	5	5	4	4	4	S	120	S	120	S	180	S	180	S	120	S	180	N	240	
8		B	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	4	5	5	S	20	S	20	S	20	S	10	S	10	S	10	S	20	
9		B	5	4	5	5	5	5	4	3	2	5	3	5	5	S	20	S	15	S	15	S	20	S	20	S	14	S	15	
10		B	5	5	5	2	5	4	5	4	3	5	4	4	4	N	20	S	10	S	10	S	10	S	15	S	10	N	30	
11	B		5	5	5	5	5	4	4	5	5	5	4	5	5	S	15	S	10	S	25	S	40	S	30	S	20	S	25	
12		B	5	5	4	5	5	4	5	5	5	4	5	5	5	S	7	S	5	S	5	S	10	S	5	S	10	S	15	
13	B		4	2	5	5	5	5	4	5	5	5	3	3	4	S	15	S	30	S	15	S	15	S	20	S	10	S	10	
14		B	4	5	5	5	4	5	4	5	4	5	5	5	5	N	30	S	30	S	60	S	90	S	40	S	40	S	30	
15		B	5	4	4	4	4	2	4	5	4	5	3	5	5	S	5	S	3	S	3	S	2	S	2	S	5	S	4	
16	B		5	5	5	5	4	4	4	5	5	5	5	5	5	S	20	S	3	S	7	S	180	S	60	S	45	N	60	
17		B	4	4	2	2	3	5	1	5	5	5	1	5	4	N	120	S	60	S	5	N	120	N	180	S	60	N	4	
18	B		2	5	5	4	2	5	4	4	5	2	3	3	2	S	120	S	60	S	60	S	240	S	30	S	30	S	60	
19	B		5	4	4	5	5	4	3	5	5	5	5	5	5	S	2	S	2	S	2	S	4	S	3	S	3	S	3	
20		B	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	S	30	S	10	S	20	S	30	S	40	S	15	S	10	
21	B		5	4	5	5	2	4	4	5	5	4	5	2	5	S	40	S	30	S	20	N	60	S	20	S	30	S	120	
22	B		4	5	4	3	4	3	4	5	4	4	5	5	4	S	30	S	40	S	10	S	40	S	50	S	120	S	120	

PRIMEIRO MOMENTO DE A X PRIMEIRO MOMENTO DE B (Ensaio I)																													
Alunos	1º Momento	2º Momento	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18	Q19	Q20	Q21	Q22	Q23	Q24	Q25	Q26	Q27	Q28
1	A		4	4	3	2	5	4	2	4	4	4	4	4	3	S	120	S	30	S	30	S	45	N	90	S	30	S	60
2	A		2	5	5	4	5	5	5	4	5	4	5	4	5	S	60	N	60	S	30	S	30	S	120	S	120	S	60
3	A		5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	2	4	S	19	S	10	S	20	S	20	S	30	S	10	N	60
4	A		4	5	5	3	4	5	4	5	4	4	5	3	4	S	30	S	40	S	10	S	120	S	10	S	15	N	20
5	A		3	5	4	3	8	5	4	5	5	4	5	5	5	S	300	S	3	S	120	S	300	N	120	S	30	S	30
6	A		4	5	5	5	5	5	4	5	5	2	2	5	4	S	180	S	20	S	120	S	240	N	120	S	30	N	120
7	A		5	4	5	2	4	2	5	5	5	3	5	4	2	S	15	S	5	S	10	S	10	N	30	S	10	S	15
8	A		5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	4	N	40	S	10	S	60	S	90	S	60	S	20	S	120
9	A		4	4	4	5	5	4	3	4	5	5	3	5	5	S	2	S	1,5	S	2	S	6	S	4	S	5	S	7
10	A		4	4	2	2	3	5	1	5	5	5	1	5	4	N	120	S	60	S	5	N	120	N	180	S	60	N	4
11	A		5	5	5	4	5	5	4	5	5	5	4	5	4	S	75	S	35	S	15	S	10	S	90	S	50	N	30
Alunos	1º Momento	2º Momento	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18	Q19	Q20	Q21	Q22	Q23	Q24	Q25	Q26	Q27	Q28
1	B		4	5	5	2	2	1	5	5	5	5	5	5	4	N	3	S	3	S	10	S	10	S	5	S	10	S	20
2	B		4	5	5	4	4	2	5	5	4	1	2	5	5	S	120	S	60	S	60	S	240	S	300	S	60	N	180
3	B		5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	S	20	S	15	S	60	N	60	N	60	S	180	S	60
4	B		4	5	4	3	4	4	5	4	5	5	4	4	4	S	120	S	120	S	180	S	180	S	120	S	180	N	240
5	B		5	5	5	5	4	4	5	5	5	5	4	5	5	S	15	S	10	S	25	S	40	S	30	S	20	S	25
6	B		4	2	5	5	5	5	4	5	5	5	3	3	4	S	15	S	30	S	15	S	15	S	20	S	10	S	10
7	B		5	5	5	5	4	4	4	5	5	5	5	5	5	S	20	S	3	S	7	S	180	S	60	S	45	N	60
8	B		2	5	5	4	2	5	4	4	5	2	3	3	2	S	120	S	60	S	60	S	240	S	30	S	30	S	60
9	B		5	4	4	5	5	4	3	5	5	5	5	5	5	S	2	S	2	S	2	S	2	S	4	S	3	S	3
10	B		5	4	5	5	2	4	4	5	5	4	5	2	5	S	40	S	30	S	20	N	60	S	20	S	30	S	120
11	B		4	5	4	3	4	3	4	5	4	4	5	5	4	S	30	S	40	S	10	S	40	S	50	S	120	S	120
SEGUNDO MOMENTO DE A X SEGUNDO MOMENTO DE B (Ensaio I)																													
Alunos	1º Momento	2º Momento	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18	Q19	Q20	Q21	Q22	Q23	Q24	Q25	Q26	Q27	Q28
1	A		1	1	2	1	1	1	5	3	5	4	4	1	1	N	60												
2	A		2	5	5	4	4	2	5	4	1	1	2	5	4	N	60												
3	A		2	4	2	4	5	5	4	5	5	4	5	4	5	S	40	S	30	S	60	S	30	S	40	N	60	S	30
4	A		2	3	3	3	4	4	5	4	3	4	4	3	3	S	360	N	120	S	120	N	120	N	120	S	180	N	120
5	A		5	5	4	4	4	5	5	4	5	4	4	4	4	S	50	S	10	S	10	S	30	S	40	S	15	S	20
6	A		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	3	S	15	S	10	S	10	S	30	S	20	S	20	S	20
7	A		5	5	4	5	5	5	4	5	5	4	5	5	5	S	10	S	7	S	5	S	15	S	60	S	20	N	30
8	A		2	3	2	4	3	3	1	3	4	3	2	1	4	N	120	S	60	N	60	S	120	N	60	S	120	S	30
9	A		4	4	5	5	5	5	3	5	5	5	5	4	4	S	2	N	2	S	10	S	7	A	10	S	7	S	10
10	A		5	5	2	2	4	5	4	5	3	3	3	5	4	S	5	N	5	N	5	S	5	N	120	S	30	S	20
11	A		2	4	3	1	4	4	2	3	4	3	1	3	1	S	40	S	10	S	20	N	60	N	60	S	40	S	40
Alunos	1º Momento	2º Momento	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18	Q19	Q20	Q21	Q22	Q23	Q24	Q25	Q26	Q27	Q28
1	B		5	5	4	4	4	2	4	4	5	5	4	5	5	S	180	S	120	S	30	N	60	N	60	S	60	S	60
2	B		5	5	5	4	5	4	5	4	5	5	5	5	5	S	120	S	60	S	60	S	120	N	180	S	120	N	60
3	B		4	4	5	3	4	3	5	3	5	5	4	5	4	S	60	S	5	S	30	S	5	S	5	S	10	S	45
4	B		5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	4	5	5	S	20	S	20	S	20	S	10	S	10	S	10	S	20
5	B		5	4	5	5	5	5	4	3	2	5	3	5	5	S	20	S	15	S	15	S	20	S	20	S	14	S	15
6	B		5	5	5	2	5	4	5	4	3	5	4	4	4	N	20	S	10	S	10	S	10	S	15	S	10	N	30
7	B		5	5	4	5	5	4	5	5	5	4	5	5	5	S	7	S	5	S	5	S	10	S	5	S	10	S	15
8	B		4	5	5	5	4	5	4	5	4	5	5	5	5	N	30	S	30	S	60	S	90	S	40	S	40	S	30
9	B		5	4	4	4	4	2	4	5	4	5	3	5	5	S	5	S	3	S	3	S	2	S	2	S	5	S	4
10	B		4	4	2	2	3	5	1	5	5	5	1	5	4	N	120	S	60	S	5	N	120	N	180	S	60	N	4
11	B		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	S	30	S	10	S	20	S	30	S	40	S	15	S	10







APÊNDICE D

Dados do Ensaio de Interação (Avaliação II)

Legenda																															
		Questões relativas a satisfação (usa-se escala de Likert)																													
		Questões relativas a eficiência (usa-se tempo em segundos)																													
		Questões relativas a eficácia (usa-se S(acerto) e N(Erro))																													
TODOS A x TODOS B (Ensaio II)																															
Alunos	1º Momento	2º Momento	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18	Q19	Q20	Q21	Q22	Q23	Q24	Q25	Q26	Q27	Q28	Q29	
1		A	1	1	1	1	1	1	1	1	2	4	1	1	1	1	1	S	120	S	300	N	120	N	120	N	120	N	30	N	120
2		A	4	5	3	5	4	4	5	4	5	4	5	5	2	4	S	50	S	60	S	300	S	480	S	300	S	360	S	50	
3	A		4	5	5	4	4	5	4	4	5	4	4	4	4	1	3	S	180	N	60	S	120								
4	A		4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	S	30	S	20	S	60	S	40	S	60	S	60	S	60	
5		A	5	5	4	4	5	5	4	4	5	5	5	4	5	5	S	50	S	30	S	30	S	40	S	50	S	60	S	60	
6		A	4	5	5	4	4	5	5	4	5	5	5	2	5	5	S	120	S	120	S	360	S	480	S	360	S	120	S	180	
7	A		2	4	4	2	4	4	4	4	2	4	4	2	4	4	2	S	60	S	180	S	60	S	300	S	300	S	120	S	60
8		A	4	5	4	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	S	300	S	60										
9	A		1	5	5	5	5	5	5	4	4	5	5	4	5	5	S	10	S	5	S	10	N	10	N	40	N	50	S	30	
10		A	2	2	5	3	2	1	5	3	5	4	1	5	4	5	S	30	S	300	S	120	N	60	S	60	N	60	S	60	
11		A	4	2	5	4	4	5	5	2	5	2	5	2	2	5	S	120	N	60	S	60	N	180	N	300	S	120	N	60	
12	A		4	5	5	4	4	5	4	5	5	4	5	4	5	4	5	S	12	S	10	S	8	S	60	S	60	S	20	S	8
13		A	4	5	5	4	5	5	4	5	3	5	5	5	5	5	S	5	S	5	S	5	S	40	S	90	S	15	S	15	
14	A		5	5	5	4	4	5	4	4	5	5	4	5	5	4	S	120	S	60	N	60	S	60	N	60	S	120	S	60	
15	A		4	5	4	4	4	4	5	5	5	5	4	4	5	5	1	S	5	S	7	N	10	N	15	S	60	S	90	S	30
16		A	5	5	4	3	4	5	4	5	4	5	4	5	5	5	S	120	S	60	S	180	S	240	S	120	S	120	S	120	
17		A	4	4	5	1	5	5	5	4	5	5	1	2	4	2	S	300	S	300	S	300	S	300	N	180	S	120	S	180	
18	A		5	5	4	4	5	4	5	5	5	5	4	4	5	5	S	300	S	300	S	180	S	120	S	600	S	360	S	10	
19		A	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	S	60	S	60	S	60	S	300	S	120	S	60	S	60	
20	A		4	5	3	5	5	5	4	5	5	4	3	4	5	5	S	300	S	40	S	180	S	60	S	60	S	60	S	360	
21		A	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	S	30	S	30	S	30	S	30	S	120	S	30	S	30	
22		A	4	5	5	4	4	5	4	5	5	5	4	5	4	5	N	20	N	15	S	20	S	25	S	25	S	30	S	40	
23	A		4	5	5	4	5	5	4	3	5	2	3	4	2	4	S	30	S	30	S	40	S	60	S	40	S	40	S	60	
24	A		4	4	5	5	4	5	4	4	5	4	4	5	5	5	S	30	S	90	S	30	S	60	S	60	S	30	S	3	
25	A		4	5	5	5	5	4	4	5	5	4	4	4	4	4	N	240	N	120	S	120									
26		A	4	5	5	4	4	5	5	5	5	5	4	5	5	5	S	30	S	60	S	480	S	240	S	180	S	360	S	120	
27	A		4	5	5	4	5	5	4	4	4	4	4	4	4	2	S	60	S	120	S	180	S	50	S	60	S	60	S	120	
28	A		4	5	5	3	5	5	1	4	5	1	5	3	5	1	S	10	S	10	S	10	S	90	S	90	S	30	S	10	
29		A	4	5	4	3	4	5	4	4	5	5	4	4	4	4	S	15	S	20	S	10	S	30	S	25	S	25	S	35	
30	A		2	5	5	1	1	5	5	5	5	4	4	4	4	5	S	30	S	60	S	30	S	120	S	60	S	10	S	120	
31		A	4	5	5	4	3	4	1	1	5	4	3	5	2	5	S	60	S	60	N	60	S	60	S	60	S	60	S	60	
32	A		4	5	4	4	5	5	2	5	5	5	4	5	5	5	S	20	S	10	S	20	S	120	S	60	S	10	S	30	
Alunos	1º Momento	2º Momento	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18	Q19	Q20	Q21	Q22	Q23	Q24	Q25	Q26	Q27	Q28	Q29	
1	B		4	5	5	4	4	5	5	4	5	3	3	4	2	2	N	120	S	120	S	60	S	180	S	120	S	60	S	300	
2	B		4	5	5	4	4	5	5	4	4	4	5	4	3	5	S	10	S	10	S	30	S	20	S	20	S	20	S	20	
3		B	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	S	60	S	240	S	60									
4		B	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	S	40	S	30	S	40	S	60	S	40	S	40	S	20	
5	B		4	5	4	4	5	5	4	3	5	5	4	4	5	2	S	30	S	40	N	90	S	50	S	60	S	90	S	50	
6	B		3	4	4	4	3	4	5	4	5	5	4	4	2	3	N	300	S	189	S	180	S	60	S	60	S	180	S	120	
7		B	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4	S	30	S	30	S	30	S	180	S	300	S	60	S	60	
8	B		4	5	5	5	4	5	5	3	4	3	4	4	4	2	N	300	S	300	N	120	S	180	S	180	S	180	N	300	
9		B	4	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	1	5	4	S	120	S	25	S	20	S	35	S	50	S	40	S	30	
10	B		3	2	2	2	2	3	5	1	4	4	4	3	4	5	S	90	S	30	S	15	S	5	S	120	N	60	S	90	
11	B		2	2	2	2	4	4	5	2	5	4	4	2	3	5	S	60	S	30	S	20	S	60	S	90	S	40	S	30	
12		B	5	5	5	4	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	S	6	S	5	S	6	S	60	N	60	S	10	S	10	
13	B		5	5	5	4	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	S	8	S	10	S	6	S	180	S	180	S	90	S	20	
14		B	4	5	5	2	4	4	4	4	5	5	4	2	2	4	S	240	S	120	S	120	S	360	S	420	S	120	S	180	
15		B	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	N	50	S	20	S	30	S	30	S	90	S	20	S	30	
16	B		4	5	4	4	5	5	5	4	5	5	4	4	5	2	S	90	S	20	S	90	S	60	S	260	S	60	S	60	
17	B		4	4	4	4	3	5	1	5	5	4	4	3	5	S	120	S	180	S	120	S	10	N	300	S	60	S	240		
18		B	5	5	4	5	4	5	5	4	5	5	4	5	5	3	S	120	S	30	N	20	S	180	N	30	S	30	N	60	
19	B		4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	S	60	S	60	S	120	S	300	S	240	S	120	S	120	
20		B	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	S	120	N	60	S	300	S	60	S	180	S	60	S	60	
21	B		4	5	5	5	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5	S	10	S	30											
22	B		5	4	4	3	4	5	5	5	5	4	4	5	5	4	S	7	S	15	S	8	S	12	S	30	S	23	S	25	
23		B	2	5	5	2	5	4	3	4	4	4	4	3	2	4	N	60	S	30	S	60	S	30	S	30	S	40	S	60	
24		B	4	5	5	4	5	5	4	5	4	5	4	4	5	5	S	40	S	20	S	30	S	40	S	60	S	40	S	30	
25	B		4	4	5	4	5	4	4	4	5	4	5	4	5	4	S	120	S	120	S	120	S	120	S	300	S	120	S	120	
26	B		5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	4	5	5	5	S	30	S	60	S	60	S	240	S	300	S	40	S	300	
27		B	4	5	5	5	4	5	5	5	5	5	4	5	5	5	N	120	S	60	S	60	S	60	S	180	S	120	S	120	





SEGUNDO MOMENTO DE A x PRIMEIRO MOMENTO DE B (Ensaio II)																														
Alunos	1º Momento	2º Momento	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18	Q19	Q20	Q21	Q22	Q23	Q24	Q25	Q26	Q27	Q28	Q29
1	B		4	5	5	4	4	5	5	4	5	3	3	4	2	2	N	120	S	120	S	60	S	180	S	120	S	60	S	300
2	B		4	5	5	4	4	5	5	4	4	4	5	4	3	5	S	10	S	10	S	30	S	20	S	20	S	20	S	20
3	B		4	5	4	4	5	5	4	3	5	5	4	4	5	2	S	30	S	40	N	90	S	50	S	60	S	90	S	50
4	B		3	4	4	4	3	4	5	4	5	5	4	4	2	3	N	300	S	189	S	180	S	60	S	60	S	180	S	120
5	B		4	5	5	5	4	5	5	3	4	3	4	4	4	2	N	300	S	300	N	120	S	180	S	180	S	180	N	300
6	B		3	2	2	2	2	3	5	1	4	4	4	3	4	5	S	90	S	30	S	15	S	5	S	120	N	60	S	90
7	B		2	2	2	2	4	4	5	2	5	4	4	2	3	5	S	60	S	30	S	20	S	60	S	90	S	40	S	30
8	B		5	5	5	4	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	S	8	S	10	S	6	S	180	S	180	S	90	S	20
9	B		4	5	4	4	5	5	5	4	5	5	4	4	5	2	S	90	S	20	S	90	S	60	S	260	S	60	S	60
10	B		4	4	4	4	4	3	5	1	5	5	4	4	3	5	S	120	S	180	S	120	S	10	N	300	S	60	S	240
11	B		4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	S	60	S	60	S	120	S	300	S	240	S	120	S	120
12	B		4	5	5	5	5	5	4	5	5	5	4	5	5	5	S	10	S	30										
13	B		5	4	4	3	4	5	5	5	5	4	4	5	5	4	S	7	S	15	S	8	S	12	S	30	S	23	S	25
14	B		5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	4	4	5	5	S	30	S	60	S	60	S	240	S	300	S	40	S	300
15	B		4	5	5	2	2	4	4	3	4	4	4	5	4	4	S	15	S	15	S	20	S	10	S	30	S	25	S	60
16	B		5	4	5	4	3	5	1	3	5	5	4	5	2	5	S	60	S	60	N	60	S	60	S	180	S	180	S	60
Alunos	1º Momento	2º Momento	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18	Q19	Q20	Q21	Q22	Q23	Q24	Q25	Q26	Q27	Q28	Q29
1	A		1	1	1	1	1	1	1	1	2	4	1	1	1	1	S	120	S	300	N	120	N	120	N	120	N	30	N	120
2	A		4	5	3	5	4	4	5	4	5	4	5	5	2	4	S	50	S	50	S	300	S	480	S	300	S	360	S	50
3	A		5	5	4	4	5	5	4	4	5	5	5	4	5	5	S	50	S	30	S	30	S	40	S	50	S	60	S	60
4	A		4	5	5	4	4	5	5	4	5	5	2	5	5	5	S	120	S	120	S	360	S	480	S	360	S	120	S	180
5	A		4	5	4	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	S	300	S	60	S	60	N	60	S	60	S	60	S	60
6	A		2	2	5	3	2	1	5	3	5	4	1	5	4	5	S	30	S	300	S	120	N	60	S	60	N	60	S	60
7	A		4	2	5	4	4	5	5	2	5	2	5	2	2	5	S	120	N	60	S	60	N	180	N	300	S	120	N	60
8	A		4	5	5	4	5	5	4	5	3	5	5	5	5	5	S	5	S	5	S	5	S	40	S	90	S	15	S	15
9	A		5	5	4	3	4	5	4	5	4	5	4	5	5	5	S	120	S	60	S	180	S	240	S	120	S	120	S	120
10	A		4	4	5	1	5	5	5	4	5	5	1	2	4	2	S	300	S	300	S	300	S	300	N	180	S	120	S	180
11	A		4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	S	60	S	60	S	60	S	300	S	120	S	60	S	60
12	A		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	S	30	S	30	S	30	S	30	S	120	S	30	S	30
13	A		4	5	5	4	4	5	4	5	5	5	4	5	4	5	N	20	N	15	S	20	S	25	S	25	S	30	S	40
14	A		4	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	4	5	5	S	30	S	60	S	480	S	240	S	180	S	360	S	120
15	A		4	5	4	3	4	5	4	4	5	5	4	4	4	4	S	15	S	20	S	10	S	30	S	25	S	25	S	35
16	A		4	5	5	4	3	4	1	1	5	4	3	5	2	5	S	60	S	60	N	60	S	60	S	60	S	60	S	60
PRIMEIRO MOMENTO DE A x SEGUNDO MOMENTO DE A (Ensaio II)																														
Alunos	1º Momento	2º Momento	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18	Q19	Q20	Q21	Q22	Q23	Q24	Q25	Q26	Q27	Q28	Q29
1	A		4	5	5	4	4	5	4	4	5	4	4	4	1	3	S	180	N	60	S	120								
2	A		4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	S	30	S	20	S	60	S	40	S	60	S	60	S	60
3	A		2	4	4	2	4	4	4	2	4	4	2	4	4	2	S	60	S	180	S	60	S	300	S	300	S	120	S	60
4	A		1	5	5	5	5	5	4	4	5	4	5	5	5	5	S	10	S	5	S	10	N	10	N	40	N	50	S	30
5	A		4	5	5	4	4	5	4	5	5	4	5	4	4	5	S	12	S	10	S	8	S	60	S	60	S	20	S	8
6	A		5	5	5	4	4	5	4	4	5	5	4	5	5	4	S	120	S	60	N	60	S	60	N	60	S	120	S	60
7	A		4	5	4	4	4	4	5	5	5	4	4	5	5	1	S	5	S	7	N	10	N	15	S	60	S	90	S	30
8	A		5	5	4	4	5	4	5	5	5	5	4	4	5	5	S	300	S	300	S	180	S	120	S	600	S	360	S	10
9	A		4	5	3	5	5	5	4	5	5	4	3	4	5	5	S	300	S	40	S	180	S	60	S	60	S	60	S	360
10	A		4	5	5	4	5	5	4	3	5	2	3	4	2	4	S	30	S	30	S	40	S	60	S	40	S	40	S	60
11	A		4	4	5	5	4	5	4	4	5	4	4	5	5	5	S	30	S	90	S	30	S	60	S	60	S	30	S	3
12	A		4	5	5	5	5	4	4	5	5	4	4	4	4	4	N	240	N	120	S	120								
13	A		4	5	5	4	5	5	4	4	4	4	4	4	4	2	S	60	S	120	S	180	S	50	S	60	S	60	S	120
14	A		4	5	5	3	5	5	1	4	5	1	5	3	5	1	S	10	S	10	S	10	S	90	S	90	S	30	S	10
15	A		2	5	5	1	1	5	5	5	5	4	4	4	4	4	S	30	S	60	S	30	S	120	S	60	S	10	S	120
16	A		4	5	4	4	5	5	2	5	5	5	4	5	5	5	S	20	S	10	S	20	S	120	S	60	S	10	S	30
Alunos	1º Momento	2º Momento	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18	Q19	Q20	Q21	Q22	Q23	Q24	Q25	Q26	Q27	Q28	Q29
1	A		1	1	1	1	1	1	1	1	2	4	1	1	1	1	S	120	S	300	N	120	N	120	N	120	N	30	N	120
2	A		4	5	3	5	4	4	5	4	5	4	5	5	2	4	S	50	S	50	S	300	S	480	S	300	S	360	S	50
3	A		5	5	4	4	5	5	4	4	5	5	5	4	5	5	S	50	S	30	S	30	S	40	S	50	S	60	S	60
4	A		4	5	5	4	4	5	5	4	5	5	2	5	5	5	S	120	S	120	S	360	S	480	S	360	S	120	S	180
5	A		4	5	4	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	S	300	S	60	S	60	N	60	S	60	S	60	S	60
6	A		2	2	5	3	2	1	5	3	5	4	1	5	4	5	S	30	S	300	S	120	N	60	S	60	N	60	S	60
7	A		4	2	5	4	4	5	5	2	5	2	5	2	2	5	S	120	N	60	S	60	N	180	N	300	S	120	N	60

8	A	4	5	5	4	5	5	4	5	3	5	5	5	5	5	S	5	S	5	S	40	S	90	S	15	S	15			
9	A	5	5	4	3	4	5	4	5	4	5	4	5	5	5	S	120	S	60	S	180	S	240	S	120	S	120			
10	A	4	4	5	1	5	5	5	4	5	5	1	2	4	2	S	300	S	300	S	300	N	180	S	120	S	180			
11	A	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	S	60	S	60	S	60	S	300	S	120	S	60			
12	A	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	S	30	S	30	S	30	S	30	S	120	S	30			
13	A	4	5	5	4	4	5	4	5	5	5	4	5	4	5	N	20	N	15	S	20	S	25	S	25	S	30			
14	A	4	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	4	5	5	S	30	S	60	S	480	S	240	S	180	S	360			
15	A	4	5	4	3	4	5	4	4	5	5	4	4	4	4	S	15	S	20	S	10	S	30	S	25	S	35			
16	A	4	5	5	4	3	4	1	1	5	4	3	5	2	5	S	60	S	60	N	60	S	60	S	60	S	60			
<b>PRIMEIRO MOMENTO DE B x SEGUNDO MOMENTO DE B (Ensaio II)</b>																														
Alunos	1º Momento	2º Momento	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18	Q19	Q20	Q21	Q22	Q23	Q24	Q25	Q26	Q27	Q28	Q29
1	B		4	5	5	4	4	5	5	4	5	3	3	4	2	2	N	120	S	120	S	60	S	180	S	120	S	60	S	300
2	B		4	5	5	4	4	5	5	4	4	4	5	4	3	5	S	10	S	10	S	30	S	20	S	20	S	20	S	20
3	B		4	5	4	4	5	5	4	3	5	5	4	4	5	2	S	30	S	40	N	90	S	50	S	60	S	90	S	50
4	B		3	4	4	4	3	4	5	4	5	5	4	4	2	3	N	300	S	189	S	180	S	60	S	60	S	180	S	120
5	B		4	5	5	4	4	5	5	3	4	3	4	4	4	2	N	300	S	300	N	120	S	180	S	180	S	180	N	300
6	B		3	2	2	2	2	3	5	1	4	4	4	3	4	5	S	90	S	30	S	15	S	5	S	120	N	60	S	90
7	B		2	2	2	2	4	4	5	2	5	4	4	2	3	5	S	60	S	30	S	20	S	60	S	90	S	40	S	30
8	B		5	5	5	4	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	S	8	S	10	S	6	S	180	S	180	S	90	S	20
9	B		4	5	4	4	5	5	5	4	5	5	4	4	5	2	S	90	S	20	S	90	S	60	S	260	S	60	S	60
10	B		4	4	4	4	3	5	1	5	5	4	4	3	5	S	120	S	180	S	120	S	10	N	300	S	60	S	240	
11	B		4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	S	60	S	60	S	120	S	300	S	240	S	120	S	120
12	B		4	5	5	5	5	5	4	5	5	5	4	5	5	5	S	10	S	30										
13	B		5	4	4	3	4	5	5	5	5	4	4	5	5	4	S	7	S	15	S	8	S	12	S	30	S	23	S	25
14	B		5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	4	5	5	5	S	30	S	60	S	60	S	240	S	300	S	40	S	300
15	B		4	5	5	2	2	4	4	3	4	4	4	5	4	4	S	15	S	15	S	20	S	10	S	30	S	25	S	60
16	B		5	4	5	4	3	5	1	3	5	5	4	5	2	5	S	60	S	60	N	60	S	60	S	180	S	180	S	60
<b>PRIMEIRO MOMENTO DE B x SEGUNDO MOMENTO DE B (Ensaio II)</b>																														
Alunos	1º Momento	2º Momento	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18	Q19	Q20	Q21	Q22	Q23	Q24	Q25	Q26	Q27	Q28	Q29
1	B		5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	S	60	S	240	S	60								
2	B		5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	S	40	S	30	S	40	S	60	S	40	S	40	S	20
3	B		4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4	S	30	S	30	S	30	S	180	S	300	S	60	S	60
4	B		4	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	1	5	4	S	120	S	25	S	20	S	35	S	50	S	40	S	30
5	B		5	5	5	4	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	S	6	S	5	S	6	S	60	N	60	S	10	S	10
6	B		4	5	5	2	4	4	4	4	5	5	4	2	2	4	S	240	S	120	S	120	S	360	S	420	S	120	S	180
7	B		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	N	50	S	20	S	30	S	30	S	90	S	20	S	30
8	B		5	5	4	5	4	5	5	4	5	5	4	5	5	3	S	120	S	30	N	20	S	180	N	30	S	30	N	60
9	B		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	S	120	N	60	S	300	S	60	S	180	S	60	S	60
10	B		2	5	5	2	5	4	4	3	4	4	4	3	2	4	N	60	S	30	S	60	S	30	S	30	S	40	S	60
11	B		4	5	5	4	5	5	5	4	5	4	4	5	5	5	S	40	S	20	S	30	S	40	S	60	S	40	S	30
12	B		4	4	5	4	5	4	4	4	5	4	5	4	5	4	S	120	S	120	S	120	S	120	S	300	S	120	S	120
13	B		4	5	5	5	4	5	5	5	5	5	4	5	5	5	N	120	S	60	S	60	S	60	S	180	S	120	S	120
14	B		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	1	S	10	S	20	S	10	S	60	N	300	S	10	S	20
15	B		5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4	4	5	5	S	30	S	60	S	30	S	60	N	180	S	60	S	60
16	B		4	4	4	4	5	5	5	5	4	4	2	5	5	5	S	10	S	10	S	20	S	60	S	60	S	10	S	30

# Dados da Avaliação Heurística

AVALIADOR I					
Heurística	Motivo	Sugestões	Gravidade	Visualização	
1.1.1)	A Não está intuitivo. Não há nenhuma legenda ou menu indicando que é possível realizar múltiplas seleções.	Indicar que é possível realizar múltiplas seleções.		4	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
1.1.1)	A O botão "limpar" deveria ter um texto mais claro.	Trocar para limpar seleções		3	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
1.1.1)	A Eu senti falta de uma descrição que a coordenada paralela seria uma espécie de filtro, pois no mapa não há seleção.	Inserir um texto indicando que a coordenada p		2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
1.2.4)	A A visualização não permite realizar buscas em campos chaves em nenhuma das representações (mapa e coordenada paralela)	Inserir um campo de busca em cima das dimen		3	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
1.2.5)	A A coordenada paralela não permite a realização de ordenações. Ela sempre mantém a mesma distribuição.	Permitir que o usuário ordene as dimensões pelo menos por maior/menor		3	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
1.3.1)	A Por padrão, a coordenada paralela pode sobrepor suas linhas.	Inserir uma espécie de lente. Ex. Olho de peixe		2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
1.3.2)	A Em nenhuma das representações há a informação de sobreposição de itens	Inserir no canto inferior da visualização esta inf		2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
1.4.2)	A Seria interessante que houvesse uma interação bi-laterais	Permitir interações com o mapa também.		4	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
2.1)	A Apesar dos marcadores possuírem uma coloração diferente. No mapa um ponto que é origem-destino ao mesmo tempo é formado pela transparência dos marcadores origem e destino. Ao atualizar a tela ou utilizar os filtros este marcador pode desaparecer	Sugiro inserir um marcador específico para orig		4	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
2.1)	A Não é possível diferenciar os marcadores	Sugiro incluir a legenda na interface diferenciando as cores dos vértices OD no mapa		3	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
2.3)	A Não é possível selecionar pares OD que passam por áreas de interesse.	Vincular os pontos cadastrados a áreas de interesse		2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
2.5)	A A visualização não permite associar os pares OD's ao motivo de viagem	Vincular os pares ODs aos possíveis motivos		2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
3.4)	A Não é possível visualizar a quantidade de veículos nos intervalos dos pontos definidos na coordenada Fluxo	Diminuir a granularidade da escala da dimensão		3	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
4.2)	A A interface não permite selecionar os tipos Médio e Grande sem incluir o modo Pequeno	Implementar seleções múltiplas dentro de cada dimensão		3	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
6.1)	A A visualização não possibilita a comparação da variação dos fluxos conforme dias da semana, feriados... etc	Associar os dados a períodos		4	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
6.2)	A A visualização não define uma escala temporal	Cadastro/configuração de escala		2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
7.1)	A Não foi possível identificar histórico de dados sobre os pares OD's para realização de comparação	Permitir salvar projetos com diferentes dados e compará-los		3	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
7.2)	A Não foi possível gerar relatórios na interface			2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
7.3)	A Não foi possível gerar comentários no mapa para compartilhar informações com outros possíveis usuários	Inserir um cadastro de usuários		2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
9.4)	Atr Não há possibilidade de se criar macros			1	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas

AVALIADOR I					
Heurísti	Motivo	Sugestões	Gravidade	Visualização	
1.1.1) A	Não está intuitivo. Não há nenhuma legenda ou menu indicando que é possível realizar múltiplas seleções.	Indicar que é possível realizar múltiplas seleções.		4	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
1.1.1) A	O botão "limpar" deveria ter um texto mais claro.	Trocar para limpar seleções		3	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
1.1.1) A	Eu senti falta de uma descrição que a coordenada paralela seria uma espécie de filtro, pois no mapa não há seleção.	Inserir um texto indicando que a coordenada p		2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
1.2.4) A	A visualização não permite realizar buscas em campos chaves em nenhuma das representações (mapa e coordenada paralela)	Inserir um campo de busca em cima das dimen		3	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
1.2.5) A	A coordenada paralela não permite a realização de ordenações. Ela sempre mantém a mesma distribuição.	Permitir que o usuário ordene as dimensões pelo menos por maior/menor		3	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
1.3.1)	Por padrão, a coordenada paralela pode sobrepor suas linhas.	Inserir uma espécie de lente. Ex. Olho de peixe		2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
1.3.2) A	Em nenhuma das representações há a informação de sobreposição de itens	Inserir no canto inferior da visualização esta inf		2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
1.4.2) A	Seria interessante que houvesse uma interação bi-laterais	Permitir interações com o mapa também.		4	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
2.1) A v	Apesar dos marcadores possuírem uma coloração diferente. No mapa um ponto que é origem-destino ao mesmo tempo é formado pela transparência dos marcadores origem e destino. Ao atualizar a tela ou utilizar os filtros este marcador pode desaparecer	Sugiro inserir um marcador específico para orig		4	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
2.1) A v	Não é possível diferenciar os marcadores	Sugiro incluir a legenda na interface diferenciando as cores dos vértices OD no mapa		3	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
2.3) A v	Não é possível selecionar pares OD que passam por áreas de interesse.	Vincular os pontos cadatrados a áreas de interesse		2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
2.5) A v	A visualização não permite associar os pares OD's ao motivo de viagem	Vincular os pares ODs aos possíveis motivos		2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
3.4) A r	Não é possível visualizar a quantidade de veículos nos intervalos dos pontos definidos na coordenada Fluxo	Diminuir a granularidade da escala da dimensão		3	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
4.2) A v	A interface não permite selecionar os tipos Médio e Grande sem incluir o modo Pequeno	Implementar seleções múltiplas dentro de cada dimensão		3	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
6.1) A v	A visualização não possibilita a comparação da variação dos fluxos conforme dias da semana, feriados... etc	Associar os dados a períodos		4	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
6.2) A v	A visualização não define uma escala temporal	Cadastro/configuração de escala		2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
7.1) A v	Não foi possível identificar histórico de dados sobre os pares OD's para realização de comparação	Permitir salvar projetos com diferentes dados e compará-los		3	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
7.2) A v	Não foi possível gerar relatórios na interface			2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
7.3) É d	Não foi possível gerar comentários no mapa para compartilhar informações com outros possíveis usuários	Inserir um cadastro de usuários		2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
9.4) Atr	Não há possibilidade de se criar macros			1	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas

9.8) A a	Não foi informado/identificado nenhum tipo de atalho	Inserir atalhos em operações mais comuns, por exemplo, no botão limpar	3	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas	
11.1) A	A interface não possui nenhum tipo de documentação	Usar o quadro resumo como ponto de partida. Informar como o sistema lê os dados.	4	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas	
11.2) D	Não foi encontrado nenhum contato dos autores	Criar um menu com um item chamado ajuda.	3	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas	
1.1.1) A	Não está claro na interface que as linhas representam origem e as colunas destinos	Informar na interface quem é origem e quem é destino	4	Visualização 3 - Matriz	
1.2.4) A	É difícil encontrar pontos ODs pelos rótulos da tabela	Permitir a pesquisa nas linhas e colunas	3	Visualização 3 - Matriz	
1.2.5) A	Apesar de ser uma tabela não tive nenhuma opção de ordenação	Ótima oportunidade para filtrar por fluxo, ordem alfabética, maior congestionamento...	4	Visualização 3 - Matriz	
1.3.4) A	Não há destaque das células da matriz, somente nos rótulos	Ao clicar sobre uma linha, célula ou coluna há um destaque do caminho no mapa. Porém, seria interessante que somente os dados selecionados ficassem em evidência na tabela.	2	Visualização 3 - Matriz	
1.4.2) A	Não é possível interagir com o mapa	A interface deveria permitir uma interação bilateral entre as duas representações	4	Visualização 3 - Matriz	
2.1) A v	Não está claro que marcador é origem e quem é destino	Sugiro incluir a legenda na interface diferenciando as cores dos vértices OD no mapa	2	Visualização 3 - Matriz	
2.1) A v	Apesar dos marcadores possuírem uma coloração diferente. No mapa um ponto que é origem-destino ao mesmo tempo é formado pela transparência dos marcadores origem e destino. Ao atualizar a tela ou utilizar os filtros este marcador pode desaparecer	Sugiro inserir um marcador específico para orig	4	Visualização 3 - Matriz	
2.3) A v	Não é possível selecionar pares OD que passam por áreas de interesse.	Vincular os pontos cadastrados a áreas de interesse	2	Visualização 3 - Matriz	
2.5) A v	A visualização não permite associar os pares OD's ao motivo de viagem	Vincular os pares ODs aos possíveis motivos	2	Visualização 3 - Matriz	
3.2) De	A interface não apresenta a contribuição dos pares OD's	Exibir a demanda de veículos no mapa de forma numérica ou porcentagem	3	Visualização 3 - Matriz	
4.1) A r	A representação não permite a visualização dos diferentes tipos de transporte	Vincular a coloração da matriz a um tipo de transporte	3	Visualização 3 - Matriz	
4.2) A v	A interface não permite selecionar os tipos de transporte	Incluir um menu dropdown com os tipos de transporte permitido	3	Visualização 3 - Matriz	
6.1) A v	A visualização não possibilita a comparação da variação dos fluxos conforme dias da semana, feriados... etc	Vincular período de tempo nos dados	3	Visualização 3 - Matriz	
6.2) A v	A visualização não define uma escala temporal	Incluir configuração	2	Visualização 3 - Matriz	
7.1) A v	Não é possível comparar as visualizações nem com os mesmos	Registrar consultas e projetos	3	Visualização 3 - Matriz	
7.2) A v	Não percebi nenhuma opção de exportar os dados	Deve-se definir o que exportar	2	Visualização 3 - Matriz	
7.3) É d	Não é possível realizar nenhum comentário na visualização	Inserir uma interface de login	2	Visualização 3 - Matriz	
7.4) A v	Não foi encontrado	Seria interessante colocar estas informações abaixo da tabela	2	Visualização 3 - Matriz	

8.1) A v	A interação de seleção não atende a múltiplas seleções	Senti a falta de múltiplas seleções de pares OD	4	Visualização 3 - Matriz	
9.3) A v	O usuário sempre tem que realizar uma nova seleção.	Manter as últimas seleções	3	Visualização 3 - Matriz	
9.4)	Através da ferramenta deve-se possibilitar a criação de um macro...		1	Visualização 3 - Matriz	
9.8) A a	Não encontrei nenhum atalho	Atalhos para tarefas mais utilizadas	3	Visualização 3 - Matriz	
10.1) A	Cores confusas na matriz	É apresentado que na tabela as cores verde e laranja representam as mesmas do mapa verde e vermelho.	3	Visualização 3 - Matriz	
11.1) A	visualização deve possuir alguma ajuda sobre os principais com	Utilizar o quadro resumo para implementar esse item.	3	Visualização 3 - Matriz	
11.2)	Devem ser providas informações ou recurso para permitir contatar	Inserir um menu com um ítem ajuda	3	Visualização 3 - Matriz	
1.2.2) A	É exigido que o usuário memorize os pares ODs.	Por padrão, deixar o círculo de seleção maior	3	Visualização 4 - Arcos 3d	
1.2.4) A	É difícil identificar os pares ODs. Na interface há uma distinção por caminhos 1,2,3...	Incluir um campo de busca na tela para dar destaque aos pontos ODs. Além de rotular cada ponto	2	Visualização 4 - Arcos 3d	
1.2.5) A	visualização deve permitir a ordenação de informações visuais...		1	Visualização 4 - Arcos 3d	
1.3.2) A	Quando os caminhos estão no formato de ruas existem vários cruzamentos	Inserir o número de cruzamentos no rodapé da página	2	Visualização 4 - Arcos 3d	
2.1) A v	Nã está claro qual marcador é o que	Sugiro incluir a legenda na interface diferenciando as cores dos vértices OD no mapa	3	Visualização 4 - Arcos 3d	
2.1) A v	Alguns marcadores que são origem-destino apresentam uma coloração diferente	Padronizar os marcadores	4	Visualização 4 - Arcos 3d	
2.3) A v	Heurística não atendida. Não é possível selecionar pares OD que passam por áreas de interesse.	Vincular os pontos cadastrados a áreas de interesse	2	Visualização 4 - Arcos 3d	
2.5) A v	A visualização não permite associar os pares OD's ao motivo de viagem	Vincular os pares ODs aos possíveis motivos	2	Visualização 4 - Arcos 3d	
3.4) A r	Não é possível visualizar a quantidade de veículos nos intervalos dos pontos definidos na coordenada Fluxo	Inserir junto ao rótulo do par OD a quantidade	3	Visualização 4 - Arcos 3d	
4.1) A r	A representação não permite a visualização dos diferentes tipos de transporte	Ao selecionar os caminhos, um menu suspenso poderia aparecer indicando os tipos de transporte, por exemplo um gráfico de pizza	4	Visualização 4 - Arcos 3d	
4.2) A v	A interface não permite selecionar os tipos de transporte	Incluir um menu com este tipo de filtro	3	Visualização 4 - Arcos 3d	
5.1) Os	Tive dificuldade de identificar as regiões pois não temos os nomes dos setores	Dar mais detalhes ao mapa ou permitir que o mesmo seja dinâmico	4	Visualização 4 - Arcos 3d	
6.1) A v	Não há a possibilidade de comparação entre os dados		3	Visualização 4 - Arcos 3d	
6.2) A v	Os dados não estão associados a nenhum intervalo de tempo	Indicar a qual intervalo de tempo são os dados	3	Visualização 4 - Arcos 3d	
7.1) A v	Não foi encontrado nenhum cadastro/configuração semelhante	Permitir salvar projetos e compará-los	4	Visualização 4 - Arcos 3d	
7.2) A v	Não encontrei a exportação de dados		2	Visualização 4 - Arcos 3d	
7.3) É d	Não existem campos ou sistema de login		2	Visualização 4 - Arcos 3d	

7.4) A v	Em nenhum momento há a informações dos dados	Inserir os dados no rodapé da página	2	Visualização 4 - Arcos 3d	
9.4) A	Através da ferramenta deve-se possibilitar a criação de um macro...		2	Visualização 4 - Arcos 3d	
11.2) D	Nenhum contato foi encontrado	Incluir o contato em um menu	2	Visualização 4 - Arcos 3d	
1.2.4) A	É difícil encontrar algum ponto OD no grafo, pois ele não está da mesma forma apresentada no mapa.	Inserir uma busca por nome. Os nós filtrados podem ser destacados.	3	Visualização 2 - Grafos	
1.2.5) A	O grafo mantém o mesmo alinhamento	Inserir configurações para as molas	3	Visualização 2 - Grafos	
2.1) A v	Não está claro qual marcador representa os pontos ODs	Sugiro incluir a legenda na interface diferenciando as cores dos vértices OD no mapa	4	Visualização 2 - Grafos	
2.3) A v	Heurística não atendida. Não é possível selecionar pares OD que passam por áreas de interesse.	Vincular os pontos cadastrados a áreas de interesse	2	Visualização 2 - Grafos	
2.5) A v	A visualização não permite associar os pares OD's ao motivo de viagem	Vincular os pares ODs aos possíveis motivos	2	Visualização 2 - Grafos	
3.2) De	Não é possível identificar de forma quantitativa	Inserir dentro de cada nó as entradas e saídas de veículos.	4	Visualização 2 - Grafos	
3.4) A r	Não é possível visualizar a quantidade de veículos	Em cada aresta inserir a demanda corrente	3	Visualização 2 - Grafos	
4.2) A v	A visualização não permite a filtragem das possíveis combinações dos modos de viagem	Inserir um filtro de seleção por tipo de veículo	3	Visualização 2 - Grafos	
6.1) A v	Não é possível comparar por dias da semana	Vincular os dados a um intervalo de tempo	3	Visualização 2 - Grafos	
6.2) A v	Não foi encontrada a configuração	Permitir a configuração ou exibição	2	Visualização 2 - Grafos	
7.1) A v	Não é possível comparar com outras seleções ou diferentes dados	Salvar momentos e permitir a comparação	3	Visualização 2 - Grafos	
7.2) A v	Não foi encontrado nenhum gerador	Permitir exportar os dados	2	Visualização 2 - Grafos	
7.3) É d	É impossível deixar qualquer tipo de comentário	Inserir cadastro de login e campos de comentários na interface	2	Visualização 2 - Grafos	
7.4) A v	Somatórios ou outras operações não foram encontradas	Detalhar as informações no rodapé da página	2	Visualização 2 - Grafos	
8.1) A v	A seleção de nós apresenta problemas. Perde-se a seleção e nós desaparecem		4	Visualização 2 - Grafos	
9.3) A v	Ao clicar e soltar todas as informações são perdidas	Permitir que as seleções anteriores fiquem registradas, caso o usuário queira realizar uma nova seleção ele poderá limpar o registro de histórico	3	Visualização 2 - Grafos	
9.4) A	Através da ferramenta deve-se possibilitar a criação de um macro...		1	Visualização 2 - Grafos	
9.8) A a	Não foi encontrada nenhuma ação por atalhos	Identificar as principais funcionalidades e inserir atalhos	3	Visualização 2 - Grafos	
11.1) A	Não foi encontrado nenhuma documentação	Usar o quadro resumo	3	Visualização 2 - Grafos	
11.2) D	Nenhum dado do autor foi encontrado	Inserir contatos	2	Visualização 2 - Grafos	

AVALIADOR II				
Heuríst	Motivo	Sugestões	Gravidade	Visualização
1.1.1)	Não está escrito em local algum da visualização que o usuário deve pressionar Shift para ver os destinos do nó em questão	Inserir o texto na tela como o que descreve os tipos de transporte. Ou criar um menu com a ajuda	4	Visualização 2 - Grafos
1.2.4)	Não é possível realizar buscas na interface	Criar busca por nome	3	Visualização 2 - Grafos
1.2.5)	A interface apresenta sempre a mesma ordem	A interface poderia manter a mesma posição do mapa	2	Visualização 2 - Grafos
2.1) A	Marcadores estão identificados com cores distintas (apesar da cor marron estar muito próxima da cor vermelha utilizada), porém não há legenda identificando o que cada cor representa.	Inserir legenda para os marcadores	3	Visualização 2 - Grafos
2.2) Q	Existem marcadores (St. Aeroporto e Areiao) que não possuem caminho alocado, sendo que dependendo da seleção estes se tornam origem ou destino.	Remover nós desconexos	3	Visualização 2 - Grafos
2.3) A	Este tipo de visualização não permite seleção por ponto de interesse.	Cada nó deve registrar uma lista de pontos de interesse a qual tenha algum relacionamento	2	Visualização 2 - Grafos
2.5) A	Este tipo de visualização não permite a possibilidade de adicionar o motivo da viagem.	Cada nó deve registrar uma lista de motivos	2	Visualização 2 - Grafos
3.2) D	Apesar da visualização apresentar através de cores se o fluxo está contínuo ou com congestionamento, o mesmo não exibe a informação de forma quantitativa o que poderia enriquecer as informações apresentadas.	Inserir os dados quantitativos no mapa	3	Visualização 2 - Grafos
3.3) A	Este tipo de visualização não permite a seleção de valores mínimos e máximo de congestionamento (grau do congestionamento)	Inserir um menu deslizante para a seleção	3	Visualização 2 - Grafos
3.4) A	Este tipo de visualização não permite filtragem ou apresentação da quantidade de veículos em análise.	Inserir os dados quantitativos no mapa	3	Visualização 2 - Grafos
4.1) A	Atende os itens: seleção por área/região e tipo de transporte, mas falta o número de veículos.	Inserir seleção por tipo de veículo	4	Visualização 2 - Grafos
4.2) A	A visualização apresenta as modalidades, mas não permite a configuração das modalidades desejadas pois todas estão fixas.	Permitir que o usuário selecione o conjunto de modalidade desejado	2	Visualização 2 - Grafos
6.1) A	Este tipo de interface não possibilita a comparação por dias da semana	Possibilitar que haja a inclusão de dados relacionados ao tempo	4	Visualização 2 - Grafos
6.2) A	A visualização não apresenta a configuração	Inserir uma configuração de escala	2	Visualização 2 - Grafos
7.1) A	A visualização não registra histórico e não há a possibilidade de se comparar tais registros.	Permitir que o usuário salve uma seleção. E posteriormente compare com outra	4	Visualização 2 - Grafos
7.2) A	A visualização não exporta e nem gera nenhum tpo de relatório	Permitir a exportação e a geração de relatórios	2	Visualização 2 - Grafos
7.3) É	Não encontrei nenhum campo de comentário	Permitir uma espécie de chat na visualização	2	Visualização 2 - Grafos
7.4) A	A visualização não apresenta nenhuma sumarização de dados	Inserir a sumarização dos dados em uma tabela no canto da página	2	Visualização 2 - Grafos
8.1) A	Quando realizado a primeira seleção, caso seja feita uma nova seleção sem limpar a primeira, o grafo fica apenas com o ponto selecionado perdendo a referência dos demais pontos	Permitir múltiplas seleções.	4	Visualização 2 - Grafos

	9.4) Através da ferramenta deve-se possibilitar a criação de um macro...		2	Visualização 2 - Grafos	
9.8) A	A visualização não possui nenhum comando de atalho	Inserir atalho nas principais funcionalidades da visualização	3	Visualização 2 - Grafos	
11.1) A	A visualização não apresentou nenhuma ajuda	Criar um menu com as principais funcionalidades	3	Visualização 2 - Grafos	
11.2)	Nenhum contato encontrado	No menu inserir o contato dos responsáveis	2	Visualização 2 - Grafos	
1.2.4)	A visualização não apresenta busca por pontos OD	Inserir uma busca por pontos ODs	3	Visualização 3 - Matriz	
1.2.5)	A visualização não apresenta opções de ordenação	Inserir um combo com diferentes tipos de ordenação	4	Visualização 3 - Matriz	
2.1) A	Marcadores estão identificados com cores distintas (apesar da cor marron estar muito próxima da cor vermelha utilizada), porém não há legenda identificando o que cada cor representa.	Inserir uma legenda	3	Visualização 3 - Matriz	
2.3) A	Este tipo de visualização não permite seleção por ponto de interesse.	Cada nó deve registrar uma lista de pontos de interesse a qual tenha algum relacionamento	2	Visualização 3 - Matriz	
2.5) A	Este tipo de visualização não permite a possibilidade de adicionar o motivo da viagem.	Cada nó deve registrar uma lista de motivos	2	Visualização 3 - Matriz	
3.3) A	Este tipo de visualização não permite a seleção de valores mínimos e máximo de congestionamento (grau do congestionamento)	Inserir um menu deslizando com os diferentes graus de congestionamento	3	Visualização 3 - Matriz	
3.4) A	Este tipo de visualização não permite filtragem por quantidade de veículos, apenas apresentação a quantidade de veículos em análise.	Inserir o número de veículos nos caminhos apresentados no mapa	2	Visualização 3 - Matriz	
4.1) A	Atende os itens: seleção por área/região e número de veículos, mas falta o tipo de transporte (modalidade)	Inserir modalidade de transporte. Uma opção seria a inserção de um treemap ou gráfico de pizza dentro de cada célula	4	Visualização 3 - Matriz	
4.2) A	A visualização não permite a configuração das modalidades, bem como não apresenta esta informação.	Inserir um filtro dos diferentes tipos de transporte	2	Visualização 3 - Matriz	
6.1) A	Este tipo de visualização não possui escala temporal	Possibilitar que haja a inclusão de dados relacionados ao tempo	4	Visualização 3 - Matriz	
6.2) A	A visualização não apresenta a configuração	Inserir uma configuração de escala	2	Visualização 3 - Matriz	
7.1) A	A visualização não registra histórico e não há a possibilidade de se comparar tais registros.	Permitir que o usuário salve uma seleção. E posteriormente compare com outra	3	Visualização 3 - Matriz	
7.2) A	A visualização não exporta e nem gera nenhum tpo de relatório	Permitir a exportação e a geração de relatórios	2	Visualização 3 - Matriz	
7.3) É	Não encontrei nenhum campo de comentário	Permitir uma espécie de chat na visualização	2	Visualização 3 - Matriz	
7.4) A	A visualização não apresenta nenhuma sumarização de dados	Inserir a sumarização dos dados em uma tabela no canto da página	2	Visualização 3 - Matriz	
8.1) A	Este tipo de visualização não permite seleção de múltiplos caminhos entre os pares OD.	Permitir múltiplas seleções.	4	Visualização 3 - Matriz	
	9.4) Através da ferramenta deve-se possibilitar a criação de um macro...		2	Visualização 3 - Matriz	
9.8) A	A visualização não possui nenhum comando de atalho	Inserir atalho nas principais funcionalidades da visualização	3	Visualização 3 - Matriz	

11.1) A	A visualização não apresentou nenhuma ajuda	Criar um menu com as principais funcionalidades	3	Visualização 3 - Matriz
11.2)	Nenhum contato encontrado	No menu, inserir o contato dos responsáveis	2	Visualização 3 - Matriz
1.2.4)	Encontrar algum ponto OD é muito trabalhoso	-	3	Visualização 4 - Arcos 3d
1.2.5)	A visualização não permite a ordenação	-	2	Visualização 4 - Arcos 3d
1.3.2)	Os caminhos sofrem sobreposição no mapa	Inserir no canto da página o número de sobreposições	2	Visualização 4 - Arcos 3d
2.1) A	Marcadores estão identificados com cores distintas, com excessão do marcador que seja origem/destino, além de não existir legenda identificando o que cada cor representa.	Inserir legenda	3	Visualização 4 - Arcos 3d
2.2) Q	Dificuldade ao indentificar os pares OD devido ao caminho só ser apresentado quando selecionado o marcador correto.	-	4	Visualização 4 - Arcos 3d
2.3) A	Este tipo de visualização não permite seleção por ponto de interesse.	Cada nó deve registrar uma lista de pontos de interesse a qual tenha algum relacionamento	2	Visualização 4 - Arcos 3d
2.5) A	Este tipo de visualização não permite a possibilidade de adicionar o motivo da viagem.	Cada nó deve registrar uma lista de motivos	2	Visualização 4 - Arcos 3d
3.2) D	Apesar da visualização apresentar através de cores se o fluxo está contínuo ou com congestionamento, o mesmo não exibe a informação de forma quantitativa o que poderia enriquecer as informações apresentadas.	Inserir juntamente com o rótulo a quantidade de veículos. Somente quando o caminho estiver no formato de arco	3	Visualização 4 - Arcos 3d
4.1) A	Este tipo de visualização não exibe os tipos de transportes.	Inserir diferentes símbolos no caminho, por exemplo, atualmente, a animação é com um quadrado. Pode-se inserir triângulos, círculos, etc. Cada um pode representar um tipo de transporte	3	Visualização 4 - Arcos 3d
4.2) A	Este tipo de visualização não permite a filtragem ou configuração dos tipos de transportes.	-	2	Visualização 4 - Arcos 3d
6.1) A	Este tipo de visualização não possui nenhum registro temporal	Possibilitar que haja a inclusão de dados relacionados ao tempo	4	Visualização 4 - Arcos 3d
6.2) A	A visualização não apresenta a configuração	Inserir uma configuração de escala	2	Visualização 4 - Arcos 3d
7.1) A	A visualização não registra histórico e não há a possibilidade de se comparar tais registros.	Permitir que o usuário salve uma seleção. E posteriormente compare com outra	3	Visualização 4 - Arcos 3d
7.2) A	A visualização não exporta e nem gera nenhum tpo de relatório	Permitir a exportação e a geração de relatórios	2	Visualização 4 - Arcos 3d
7.3) É	Não encontrei nenhum campo de comentário	Permitir uma espécie de chat na visualização	2	Visualização 4 - Arcos 3d
7.4) A	A visualização não apresenta nenhuma sumarização de dados	Inserir a sumarização dos dados em uma tabela no canto da página	2	Visualização 4 - Arcos 3d
9.4) At	-	-	2	Visualização 4 - Arcos 3d
11.2)	Nenhum contato encontrado	No menu, inserir o contato dos responsáveis	2	Visualização 4 - Arcos 3d

1.2.4)	Ficará difícil encontrar algum ponto OD quando houver milhares de registros	Minha sugestão é incluir o filtro de pontos OD no mapa. Retirar as duas dimensões na coordenada paralela	3	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
1.2.5)	Não é possível reordenar as dimensões	Permitir que o usuário escolha a ordenação em tempo real	3	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
1.3.1)	Alguns registros podem se sobrepor	Permitir o aumento da escala da dimensão	4	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
1.3.2)	Alguns registros podem se sobrepor	-	2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
2.1) A	Marcadores estão identificados com cores distintas (apesar da cor marron estar muito próxima da cor vermelha utilizada), porém não há legenda identificando o que cada cor representa.	Inserir uma legenda	3	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
2.3) A	Este tipo de visualização não permite seleção por ponto de interesse.	Cada nó deve registrar uma lista de pontos de interesse a qual tenha algum relacionamento	2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
2.5) A	Este tipo de visualização não permite a possibilidade de adicionar o motivo da viagem.	Cada nó deve registrar uma lista de motivos	2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
4.2) A	A visualização apresenta as modalidades, mas não permite a configuração das modalidades desejadas pois todas estão fixas.	Permitir múltipla seleção dentro de cada dimensão.	4	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
6.1) A	Este tipo de visualização não possui nenhum registro temporal	Possibilitar que haja a inclusão de dados relacionados ao tempo	4	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
6.2) A	A visualização não apresenta a configuração	Inserir uma configuração de escala	2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
7.1) A	A visualização não registra histórico e não há a possibilidade de se comparar tais registros.	Permitir que o usuário salve uma seleção. E posteriormente compare com outra	3	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
7.2) A	A visualização não exporta e nem gera nenhum tpo de relatório	Permitir a exportação e a geração de relatórios	2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
7.3) É	Não encontrei nenhum campo de comentário	Permitir uma espécie de chat na visualização	2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
7.4) A	A visualização não apresenta nenhuma sumarização de dados	Inserir a sumarização dos dados em uma tabela no canto da página	2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
9.4)	Através da ferramenta deve-se possibilitar a criação de um macro...		2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
9.8) A	A visualização não possui nenhum comando de atalho	Inserir atalho nas principais funcionalidades da visualização	3	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
11.1) A	A visualização não apresentou nenhuma ajuda	Criar um menu com as principais funcionalidades	3	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
11.2)	Nenhum contato encontrado	No menu, inserir o contato dos responsáveis	2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas

AVALIADOR III				
Heuríst	Motivo	Sugestões	Gravidade	Visualização
1.1.1)	O que não ficou muito claro para mim foi o uso de rótulos "caminhos".	Pode-se substituir o nome caminho pela junção dos nomes do par OD		3 Visualização 4 - Arcos 3d
1.2.2)	Acredito que o usuário tenha dificuldade no momento da seleção de pares OD's. Pois, você tem que conhecer ou aumentar os círculos de filtragem	Permitir que o usuário clique sobre um ponto OD e os pontos relacionados sejam destacados		3 Visualização 4 - Arcos 3d
1.2.4)	Há uma dificuldade considerável em contrar os pontos OD	Permitir que o usuário entre com o nome do ponto de origem desejado. A partir da seleção, a busca irá retornar vários pontos para que o usuário possa selecionar		2 Visualização 4 - Arcos 3d
1.2.5)	Como a visualização está diretamente relacionada ao mapa não vejo a possibilidade de se ordenar.	-		2 Visualização 4 - Arcos 3d
1.3.2)	Os caminhos se cruzam	Informar no rodapé da página o número de sobreposições		2 Visualização 4 - Arcos 3d
1.3.4)	Achei que as cores do mapa estão brigando com as cores das linhas e as animações.	Modificar o estilo do mapa de fundo (reduzir as cores)		4 Visualização 4 - Arcos 3d
2.1) A	O macador que representa ser origem-destino, ao mesmo tempo, possui colorações diferentes	Modificar o marcador		3 Visualização 4 - Arcos 3d
2.3) A	Não há seleção por pontos de interesse.	Incluir no cadastro do ponto OD que tipo de ponto de interesse ele é		2 Visualização 4 - Arcos 3d
2.5) A	Não há associação entre os pares ODs e os respectivos motivos de viagem.	Incluir no cadastro do ponto OD que tipo de motivo de viagem ele é		2 Visualização 4 - Arcos 3d
3.3) A	Não é possível selecionar por congestionamento mínimo e máximo	Inserir uma escala de seleção		2 Visualização 4 - Arcos 3d
3.4) A r	Apesar da altura representar o volume de veículos seria interessante informar um dado quantitativo.	Quando a visualização estiver no formato de arco a demanda poderia ser inserida		3 Visualização 4 - Arcos 3d
4.1) A r	A visualização não apresenta diferentes tipos de transporte	Pode-se remover as cores de congestionamento e substituí-las por cores que representem os tipos de veículos		4 Visualização 4 - Arcos 3d
4.2) A	Depende do item anterior	-		2 Visualização 4 - Arcos 3d
6.1) A	Os dados apresentados não estão associados ao tempo	Criar uma barra de rolagem representando a evolução dos dados		4 Visualização 4 - Arcos 3d
6.2) A	Depende do item anterior	Permitir a configuração		2 Visualização 4 - Arcos 3d
7.1) A	A visualização não oferece a opção de salvar seleção e nem importar novos dados.	Permitir salvar seleções e compará-las		2 Visualização 4 - Arcos 3d
7.2) A	Mesmo selecionando algumas informações não foi possível visualizar a opção de exportação ou geração de relatórios	Permitir exportar/gerar relatório a partir de itens selecionados.		2 Visualização 4 - Arcos 3d
7.3) É	A interface não possui uma opção de comunicação coletiva	Inserir um chat que mantenha as últimas conversas		2 Visualização 4 - Arcos 3d
7.4) A	A interface não possui uma opção de sumarização dos dados	Inserir uma janela pop-up com essas informações		2 Visualização 4 - Arcos 3d
9.4) Atr	-	-		1 Visualização 4 - Arcos 3d

11.2) D	Os responsáveis não informaram os seus contatos	Incluir os contatos no menu	3	Visualização 4 - Arcos 3d	
1.1.1) A	As funcionalidades não estão descritas na visualização	Inserir uma legenda	3	Visualização 2 - Grafos	
1.2.4) A	A interface não possibilita a busca por itens chave	Possibilitar uma busca textual	2	Visualização 2 - Grafos	
1.2.5) A	A interface não disponibiliza a ordenação por itens chave	Possibilitar que o grafo assuma um formato de acordo com critérios definidos, como: menor demanda	2	Visualização 2 - Grafos	
1.4.2) A	Gostaria poder selecionar e interagir com o mapa	Inserir interação no mapa	4	Visualização 2 - Grafos	
2.1) A	Notei que os marcadores que representam origem-destino são na verdade a junção de um marcador verde + um marcador vermelho. De acordo com a renderização da página as cores podem mudar ou nem aparecer	Criar um novo marcador	4	Visualização 2 - Grafos	
2.3) A	Não há seleção por pontos de interesse.	Incluir no cadastro do ponto OD que tipo de ponto de interesse ele é	2	Visualização 2 - Grafos	
2.5) A	Não há associação entre os pares ODs e os respectivos motivos de viagem.	Incluir no cadastro do ponto OD que tipo de motivo de viagem ele é	2	Visualização 2 - Grafos	
3.1) A	No grafo não é possível observar o fluxo	O grafo poderia ser formado de acordo com o que se desejaria ver. Por exemplo: ao clicar sobre algum botão o grafo iria ser formado de acordo com os relacionamentos de origem. Por outro lado, quando o usuário selecionar outra opção. O grafo seria formado a partir do relacionamento dos nós como destino	4	Visualização 2 - Grafos	
3.2) De	Não há informação da demanda	Inserir a demanda nas arestas	3	Visualização 2 - Grafos	
3.3) A	Não é possível selecionar os tipos de congestionamentos	Permitir a inserção de um filtro de níveis de congestionamento	3	Visualização 2 - Grafos	
3.4) A r	Não há informação da demanda	Inserir a demanda nas arestas	2	Visualização 2 - Grafos	
4.1) A r	Não é possível quantificar os tipos de transporte	-	3	Visualização 2 - Grafos	
4.2) A	Não é possível selecionar o tipo de transporte desejado	Permitir a filtragem de tipos de transporte	3	Visualização 2 - Grafos	
6.1) A	Os dados apresentados não estão associados ao tempo	Criar uma barra de rolagem representando a evolução dos dados	4	Visualização 2 - Grafos	
6.2) A	Depende do item anterior	Permitir a configuração	2	Visualização 2 - Grafos	
7.1) A	A visualização não oferece a opção de salvar seleção e nem importar novos dados.	Permitir salvar seleções e compará-las	2	Visualização 2 - Grafos	
7.2) A	Mesmo selecionando algumas informações não foi possível visualizar a opção de exportação ou geração de relatórios	Permitir exportar/gerar relatório a partir de itens selecionados.	2	Visualização 2 - Grafos	
7.3) É	A interface não possui uma opção de comunicação coletiva	Inserir um chat que mantenha as últimas conversas	3	Visualização 2 - Grafos	
7.4) A	A interface não possui uma opção de sumarização dos dados	Inserir uma janela pop-up com essas informações	2	Visualização 2 - Grafos	
8.1) A	Ocorre perda de informações quando o usuário seleciona um nó e o arrasta mais de uma vez	-	4	Visualização 2 - Grafos	

8.1) A	Senti a necessidade de múltiplas seleções. Por exemplo: pressionar Ctrl para selecionar mais de um nó.	Implementar múltiplas seleções ou pela seleção do mouse ou por clique pressionando alguma tecla	4	Visualização 2 - Grafos	
9.3) A	A seleção realizada desaparece quando o usuário clica sobre outro nó	Manter as seleções anteriores até o o usuário limpe-as	2	Visualização 2 - Grafos	
9.4) Atr	-	-	1	Visualização 2 - Grafos	
9.8) A	A interface não apresenta atalhos	Identificar as funcionalidades principais e escolher atalhos intuitivos	3	Visualização 2 - Grafos	
11.1) A	Não há nenhuma informação das principais funcionalidades da visualização	Inserir uma ajuda com os principais comandos e funcionalidades	3	Visualização 2 - Grafos	
11.2) D	Os responsáveis não informaram os seus contatos	Incluir os contatos no menu	3	Visualização 2 - Grafos	
1.1.1)	Não ficou claro na visualização quem é o que na matriz.	Poderia ter uma legenda ou coloração indicando quem é a origem e quem é o destino	3	Visualização 3 - Matriz	
1.2.2)	Como não é possível fazer múltiplas seleções. Por exemplo: St. aeroporto e vl São João o usuário é forçado a memorizar	Permitir a multipla seleção de origens e destinos	4	Visualização 3 - Matriz	
1.2.4)	A interface não possibilita a busca por itens chave	Possibilitar uma busca textual	2	Visualização 3 - Matriz	
1.2.5)	A interface não disponibiliza a ordenação por itens chave	Possibilitar que a matriz seja ordenada de acordo com uma lista de características	2	Visualização 3 - Matriz	
1.3.4)	As células não sofrem nenhuma alteração no momento da seleção	A matriz poderia também ter o mesmo comportamento do mapa. Ou seja, destacar somente o que for selecionado (células)	3	Visualização 3 - Matriz	
1.4.2)	Senti a falta de interagir com o mapa	Implementar interações no mapa	4	Visualização 3 - Matriz	
2.1) A	O marcador origem-destino é uma junção de dois marcadores (origem e o destino). Pode-se ter uma interpretação errada, pois as vezes a transparência é perdida, ou seja, resalta-se somente o último renderizado	Criar um novo marcador	4	Visualização 3 - Matriz	
2.3) A	Não há seleção por pontos de interesse.	Incluir no cadastro do ponto OD que tipo de ponto de interesse ele é	2	Visualização 3 - Matriz	
2.5) A	Não há associação entre os pares ODs e os respectivos motivos de viagem.	Incluir no cadastro do ponto OD que tipo de motivo de viagem ele é	2	Visualização 3 - Matriz	
3.2) De	É possível saber quais são os pares que contribuem para a formação de um fluxo. Porém, para isso o usuário tem que posicionar o mouse sobre uma célula e aguardar aparecer o fluxo sobre aquela via. Acredito que deva haver outras formas de se inserir essa informação	-	2	Visualização 3 - Matriz	
3.4) A r	Não é possível visualizar mais de uma demanda ao mesmo tempo	Permitir intercalar entre a coloração da célula e valores numéricos	2	Visualização 3 - Matriz	
4.1) A r	A visualização não apresenta diferentes tipos de transporte	Substituir as cores que representam congestionamento nas células por cores que representam os diferentes tipos de transporte	4	Visualização 3 - Matriz	
4.2) A	Depende do item anterior	-	2	Visualização 3 - Matriz	
6.1) A	Os dados apresentados não estão associados ao tempo	Criar uma barra de rolagem representando a evolução dos dados	4	Visualização 3 - Matriz	

6.2) A	Depende do item anterior	Permitir a configuração	2	Visualização 3 - Matriz	
7.1) A	A visualização não oferece a opção de salvar seleção e nem importar novos dados.	Permitir salvar seleções e compará-las	2	Visualização 3 - Matriz	
7.2) A	Mesmo selecionando algumas informações não foi possível visualizar a opção de exportação ou geração de relatórios	Permitir exportar/gerar relatório a partir de itens selecionados.	2	Visualização 3 - Matriz	
7.3) É	A interface não possui uma opção de comunicação coletiva	Inserir um chat que mantenha as últimas conversas	2	Visualização 3 - Matriz	
7.4) A	A interface não possui uma opção de sumarização dos dados	Inserir uma janela pop-up com essas informações	2	Visualização 3 - Matriz	
9.3) A	Ao selecionar um novo par OD perde-se a seleção anterior	Manter as seleções até que o usuário as limpe	3	Visualização 3 - Matriz	
9.4) Atr	-	-	1	Visualização 3 - Matriz	
9.8) A	A interface não apresenta atalhos	Identificar as funcionalidades principais e escolher atalhos intuitivos	4	Visualização 3 - Matriz	
10.1) A	Cores diferentes na matriz	Padronizar. Remover a coloração laranja para vermelha	4	Visualização 3 - Matriz	
11.1) A	Não há nenhuma informação das principais funcionalidades da visualização	Inserir uma ajuda com os principais comandos e funcionalidades	3	Visualização 3 - Matriz	
11.2) D	Os responsáveis não informaram os seus contatos	Incluir os contatos no menu	3	Visualização 3 - Matriz	
1.2.4)	A interface não possibilita a busca por itens chave	Possibilitar uma busca textual sobre cada dimensão	2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas	
1.2.5)	A interface não disponibiliza a ordenação por itens chave	Possibilitar a ordenação das diferentes dimensões	2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas	
1.3.1)	Há a sobreposição de dados	Usar edge bundles	4	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas	
1.3.2)	Depende do item anterior	-	2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas	
2.1) A	O marcador origem-destino é uma junção de dois marcadores (origem e o destino). Pode-se ter uma interpretação errada, pois as vezes a transparência é perdida, ou seja, resalta-se somente o último renderizado	Criar novo marcador	4	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas	
2.3) A	Não há seleção por pontos de interesse.	Incluir no cadastro do ponto OD que tipo de ponto de interesse ele é	2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas	
2.5) A	Não há associação entre os pares ODs e os respectivos motivos de viagem.	Incluir no cadastro do ponto OD que tipo de motivo de viagem ele é	2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas	
3.2) De	É difícil identificar quantitativamente com exatidão a contribuição de cada par od.	Modificar a escala a fim de verificar a quantidade exata	3	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas	
4.2) A	É possível apenas filtrar	Permitir o filtro por tipos de veículos	3	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas	
6.1) A	Os dados apresentados não estão associados ao tempo	Criar uma barra de rolagem representando a evolução dos dados	4	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas	
6.2) A	Depende do item anterior	Permitir a configuração	2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas	
7.1) A	A visualização não oferece a opção de salvar seleção e nem importar novos dados.	Permitir salvar seleções e compará-las	2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas	

7.2) A	Mesmo selecionando algumas informações não foi possível visualizar a opção de exportação ou geração de relatórios	Permitir exportar/gerar relatório a partir de itens selecionados.	2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
7.3) É	A interface não possui uma opção de comunicação coletiva	Inserir um chat que mantenha as últimas conversas	2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
7.4) A	A interface não possui uma opção de sumarização dos dados	Inserir uma janela pop-up com essas informações	2	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
9.4) Atr	-	-	1	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
9.8) A	A interface não apresenta atalhos	Identificar as funcionalidades principais e escolher atalhos intuitivos	3	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
11.1) A	Não há nenhuma informação das principais funcionalidades da visualização	Inserir uma ajuda com os principais comandos e funcionalidades	3	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas
11.2) D	Os responsáveis não informaram os seus contatos	Incluir os contatos no menu	3	Visualização 1 - Coordenadas Paralelas

# **Relatório da Revisão Sistemática sobre Visualização de Informações Voltadas ao Cenário do Tráfego Urbano**

---

## **F.1 Planejamento**

O planejamento da revisão sistemática envolveu a definição dos objetivos principais e das questões a serem respondidas pela pesquisa bibliográfica. Bem como, a definição da população (grupo de artigos que serão observados), intervenção (o que irá se observar durante a revisão), controle (conjunto de artigos iniciais utilizados para a identificação de palavras-chave, antes da revisão sistemática) e, por fim, os resultados (o que se espera com essa exploração) e as aplicações (quem será o grupo de pessoas que se beneficiarão desta pesquisa), entre vários outros aspectos. Cada um desses itens são detalhados a seguir.

### **F.1.1 A - Objetivos principais**

O objetivo principal da revisão sistemática é identificar as diversas técnicas de Visualização de Informações aplicadas ao cenário do tráfego urbano e conhecer os seus problemas.

### **F.1.2 B - Questões a serem respondidas pela revisão**

- Q1 Quais são as técnicas utilizadas para representar o cenário do tráfego urbano?
- Q2 Quais são os principais problemas enfrentados na construção de visualizações para o tráfego urbano?
- Q3 Quais áreas do tráfego urbano possuem uma maior carência no desenvolvimento de visualizações?

### **F.1.3 C - População**

A População consistiu de trabalhos contendo representações visuais sobre o tráfego urbano e que responderam as questões levantadas de forma satisfatória.

### **F.1.4 D - Intervenção**

Foi observado os trabalhos que aplicaram técnicas de Visualização de Informações na representação de dados sobre o tráfego urbano.

### **F.1.5 E - Controle**

O controle foi baseado em artigos, trabalhos independentes, *surveys* na área, teses, dissertações e revisões sistemáticas anteriores, obtidos pela Internet.

### **F.1.6 Resultados**

Identificou-se as principais técnicas de visualização utilizadas e quais problemas do tráfego urbano possuem uma menor representação em número de trabalhos.

### **F.1.7 G - Aplicação**

A aplicação é destinada a engenheiros de tráfego que manipulem sistemas de simulação de tráfego urbano.

### **F.1.8 H - Estratégias de Busca e Palavras-chave**

A estratégia de revisão bibliográfica foi através da busca automática em sites e bibliotecas digitais por meio de palavras-chave. As combinações das palavras-chave serviram como guia na recuperação de trabalhos com características semelhantes a desejada. Logo, as palavras-chave identificadas são: (“Tráfego Urbano” ou “Trânsito de Veículos” ou “Matriz Origem-Destino” ou “Matriz OD”) e (“Visualização de Informações” ou “Representação Visual”) ou (“Interface Homem-Computador”). A busca das palavras-chave foram aplicadas no corpo dos documentos identificados.

### **F.1.9 I - Ferramentas e instrumentos**

Os sites de busca escolhidos foram os seguintes: biblioteca digital do IEEE (<http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/>), biblioteca digital da ACM (<http://portal.acm.org/>), Google Acadêmico (<https://scholar.google.com.br/>), base

de dados da UFRGS (<http://www.lume.ufrgs.br/>) e Portal Periódicos da Capes (<http://novo.periodicos.capes.gov.br/>).

As palavras-chave, definidas anteriormente, e seus sinônimos foram submetidos aos buscadores/meta-buscadores e o resultado retornou um conjunto de documentos. Inicialmente, os critérios de seleção e exclusão são aplicados com base na leitura dos resumos e na exploração das imagens registradas nos trabalhos. Os trabalhos selecionados foram lidos e catalogados no software Mendley (<http://www.mendeley.com/>) juntamente com um resumo de suas principais técnicas de visualização usadas, dificuldades apresentadas, problema do tráfego urbano atendido e dicas. Os trabalhos selecionados serviram para a criação de um artigo científico contendo a classificação dos mesmos. Tal classificação está de acordo com o tipo de dados e de tarefas alvos que são executadas nas visualizações.

### **F.1.10 J - Critérios de inclusão/seleção e exclusão**

Utilizou-se dos seguintes critérios para a inclusão/exclusão dos documentos.

#### **Critérios de inclusão:**

- Trabalhos disponíveis em bases de dados científicos (*on-line*).
- Trabalhos publicados a partir de 1998.
- Trabalhos que possuam técnicas de Visualização de Informações sobre o tráfego urbano.

#### **Critérios de exclusão:**

- Trabalhos que possuam representações visuais simplórias (gráfico de pizza, linhas, etc).

## **F.2 Condução do Mapeamento**

As subseções seguintes mostram o resultado da seleção de documentos com base no planejamento definido. A pesquisa foi realizada no período de Junho de 2012 até Fevereiro de 2013. As máquinas de busca retornaram 679 documentos no total (conforme Tabela F.1). Porém, 183 desses artigos foram considerados duplicados (Mendeley), restando 496 artigos para uma posterior análise.

**Tabela F.1:** *Resumo das palavras-chave aplicadas as bases de dados*

<b>Base</b>	<b>Strings</b>	<b>Identificados em bibliotecas digitais</b>	<b>Seleção final</b>
Google Acadêmico	((("Urban Traffic"OR "Traffic Vehicles"OR "OD Matrix"OR "Origin-Destination Matrix") AND ("Information Visualization"OR "Visual Representation"OR "Human Computer Interface"))))	considerados os primeiros 200)	34
IEEE Xplore	conforme acima	4	2
UFRGS	("Congestionamento de Veículos" OR "Tráfego Urbano") AND "Visualização de Informações"	373	7
Periódicos Capes	"Urban Traffic" And "Information Visualization"	58	12
ACM	(Information +Visualization +Urban +Traffic)	44	10
<b>Total</b>		<b>679</b>	<b>65</b>

### **F.2.1 A - Seleção**

O processo de seleção teve os seguintes passos: leitura do título, sumário, palavras-chave, análise das imagens contidas nos documentos e a aplicação dos critérios de seleção/exclusão. Ao final, desta etapa, houve a rejeição de 326 documentos, restando apenas 170.

### **F.2.2 B - Extração**

Os 170 artigos restantes foram lidos e houve a rejeição de 105 artigos. No total, 65 artigos foram considerados adequados (Tabela F.1).

## **F.3 Análise dos Dados**

### **F.3.1 A - Avaliação da Qualidade da Seleção**

Foi considerado que o resultado do trabalho deveria, preferencialmente, ser aprovado por uma banca examinadora ou aceito em periódicos ou anais, de forma a confirmar a sua qualidade. Isso foi obtido através da elaboração de um artigo científico [76]

### F.3.2 B - Questões de Busca

A seguir são discutidos os achados relacionados às questões levantadas na fase de planejamento.

#### **Q1) Quais são as técnicas utilizadas para representar o cenário do tráfego urbano?**

Foi constatado que grande parte dos trabalhos selecionados utilizam-se de mapas para a representação de dados oriundos do tráfego urbano. O que difere esses trabalhos é a utilização de outras técnicas de Visualização de Informações para agregar valor às localizações geográficas. Logo, as seguintes técnicas foram encontradas: *treemap*, uso de objetos 2D/3D, *heatmap*, coordenadas paralelas e grafos. Entre essas técnicas, a que esteve mais presente nos trabalhos foi a *heatmap*.

#### **Q2) Quais são os principais problemas enfrentados na construção de visualizações para o tráfego urbano?**

O principal problema relatado sobre a construção de visualizações está na dificuldade de se representar todos os dados necessário sem haver conflitos na representação das informações, ou seja, . Porém, nenhum dos autores descreveu algum processo para minimizá-los.

#### **Q3) Quais áreas do tráfego urbano possuem uma maior carência no desenvolvimento de visualizações?**

Para responder a essa questão, resolveu-se classificar as visualizações encontradas por tipo de dados a ser visualizado e tipo de tarefas permitidas. Ao final, houve a seguinte divisão:

Tipo de dados - matrizes OD (representação de demandas modais ou multimodais e variação temporal), infraestrutura fixa de rede (estrutura que necessite de intervenção física), elementos flexíveis de rede (que podem ser mudados com pouca ou nenhuma intervenção de infraestrutura), as medições de fluxo ou estimação do fluxo, e dados de alto nível significativo (tais como informações sobre acidentes de carro e buracos na via, entre outros eventos).

Tarefa alvo - neste caso, as visualizações foram classificadas de acordo com o tipo de tarefa que se destinam a apoiar. Definiu-se três tipos de tarefas. A primeira é simplesmente apresentar os dados de tráfego para a compreensão global e para a identificação de padrões. O segundo tipo de tarefa é a entrada de dados, cogita-se uma maneira mais intuitiva e visualmente orientada de entrada de informações por meio da manipulação direta dos elementos de uma visualização. O terceiro tipo de tarefa é simular e explorar o comportamento (micro, meso ou macroscópica) do tráfego através da exploração de múltiplos cenários das condições da rede viária e do trânsito. Para mais detalhes, veja o Capítulo 4 Ao categorizar os trabalhos com base nesta divisão, percebeu-

se que matrizes OD e a tarefa de entrada de dados apresentavam uma maior carência em suas representações.

## **F.4 Ameaças de Validade**

Uma das possíveis ameaças ao presente processo de revisão sistemática está na cobertura das palavras-chave escolhidas. Como, a área de Visualização de Informações é muito vasta e grande parte dos artigos sobre tráfego de veículos usam técnicas de Visualização de Informações como um recurso secundário, é possível que alguns trabalhos tenham tais técnicas mas não empreguem as palavras-chave definidas na revisão. Outra ameaça é a possibilidade de haver mais artigos sobre o tema, mas indexados apenas por bases bibliográficas diferentes das que foram consultadas.