

Ricardo Ghisi Tobaldini

**PROJETO DE ARQUITETURAS REGIONAIS BASEADAS EM RECURSOS PARA
SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTES**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Automação e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Automação e Sistemas.

Orientador: Prof. Dr. Werner Kraus Junior

Florianópolis
2013

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Tobaldini, Ricardo Ghisi

PROJETO DE ARQUITETURAS REGIONAIS BASEADAS EM RECURSOS
PARA SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTES / Ricardo Ghisi
Tobaldini ; orientador, Werner Kraus Junior -
Florianópolis, SC, 2013.

198 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Automação e Sistemas.

Inclui referências

1. Engenharia de Automação e Sistemas. 2. Sistemas
Inteligentes de Transporte. 3. Representational State
Transfer. 4. Web. 5. Arquitetura Regional para ITS. I.
Kraus Junior, Werner. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Automação e Sistemas. III. Título.

Ricardo Ghisi Tobaldini

**PROJETO DE ARQUITETURAS REGIONAIS BASEADAS EM
RECURSOS PARA SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTES**

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Automação e Sistemas, área de Concentração em *Controle Automação e Sistemas* e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Automação e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 28 de Fevereiro 2013.

Jomi Fred Hübner, Dr.
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Automação e Sistemas

Werner Kraus Junior, Dr.
Orientador

Banca Examinadora:

Max Hering de Queiroz, Dr.

Paulo Cezar Martins Ribeiro, Dr.

Rosvelter Coelho da Costa, Dr.

Resumo

Os Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS) aplicam tecnologias de telecomunicações e informática à infraestrutura de transportes, realizando tarefas de controle e coordenação de diversos tipos de componentes e colaboradores. Para auxiliar seu planejamento, projeto e implantação foram desenvolvidas arquiteturas de referência específicas, visando utilizar uma linguagem comum para a identificação de seus componentes, sistemas e informações. Entre elas, pode-se destacar a estadunidense *National ITS Architecture* (NIA), que fornece um *framework* para o desenvolvimento de arquiteturas regionais para ITS. Por outro lado, a *World Wide Web*, considerada o maior sistema de informação existente, oferece uma plataforma para sistemas hipermídia distribuídos em escala planetária. Suas propriedades e restrições, formalizadas no estilo arquitetônico *Representational State Transfer* (REST), permitem utilizá-la como solução para uma ampla variedade de problemas de integração. Esta dissertação apresenta uma proposta de método para o desenvolvimento de projetos de ITS derivados da arquitetura de referência NIA e utilizando o estilo da Web, mantendo suas qualidades no tratamento de problemas de escala, comunicação, integração e interoperabilidade entre os seus componentes. O método proposto é então aplicado na modelagem de um Sistema Avançado de Informação ao Viajante (ATIS).

Palavras-chave: Sistemas Inteligentes de Transporte. ITS. National ITS Architecture. Arquitetura Regional para ITS. Web. Representational State Transfer. REST. Arquitetura Orientada a Recursos. ATIS. Sistemas Avançados de Informação ao Viajante.

Abstract

The Intelligent Transportation Systems (ITS) apply telecommunications and information technologies to the transport infrastructure, performing task coordination and control between various types of components and users. To assist in its planning, design and implementation, were developed specific reference architectures, aiming to use a common language to identify its components, systems and informations. Among them, we can highlight the U.S. National ITS Architecture (NIA), which provides a framework for developing regional ITS architectures. On the other hand, the World Wide Web, considered the largest existing information system, provides a platform for distributed hypermedia systems on a planetary scale. Its properties and constraints, formalized by the Representational State Transfer (REST) architectural style, allow its use as a solution for a wide variety of integration problems. This dissertation proposes a method to project NIA based ITS using the Web architectural style, keeping its qualities in handling scale, communication, integration and interoperability problems. The proposed method is then applied to model an Advanced Traveler Information System (ATIS).

Keywords: Intelligent Transportation Systems. ITS. Regional Architecture. World Wide Web. Web Services. Representational State Transfer. REST. Resource Oriented Architecture. Advanced Traveler Information Systems. ATIS.

Sumário

Lista de Figuras	
Lista de Tabelas	
1 Introdução	17
1.1 Objetivos	19
1.1.1 Objetivos Específicos	19
1.2 Aspectos Metodológicos	20
1.3 Organização da Dissertação	21
2 Arquitetura de Referência para Sistemas Inteligentes de Trans- portes	23
2.1 Introdução	23
2.2 A arquitetura de referência National ITS Architecture	24
2.3 Camada de Transportes	28
2.3.1 Serviços de Usuários	29
2.3.2 Arquitetura Lógica	30
2.3.3 Arquitetura Física	32
2.3.4 Pacotes de Serviço	36
2.4 Conclusão	39
3 O Estilo Arquitetônico REST e a Arquitetura Orientada a Re- curso s	41
3.1 Introdução	41
3.2 O Estilo Arquitetônico REST	43
3.2.1 Os Requisitos da Web	43
3.2.1.1 Fácil adoção	43
3.2.1.2 Extensível	43
3.2.1.3 Hipermídia Distribuída	44
3.2.1.4 Requisitos que Evoluem	44
3.2.2 Composição do Estilo Arquitetônico REST	44
3.2.2.1 Cliente-Servidor	44
3.2.2.2 Sem Estado	45
3.2.2.3 Cache	46
3.2.2.4 Interface Uniforme	47
3.2.2.5 Sistema em Camadas	48
3.2.2.6 Código sob Demanda	49
3.2.3 Elementos Arquitetônicos	50
3.2.3.1 Elementos de Dados	50
3.2.3.2 Conectores	52
3.2.3.3 Componentes	53

3.3	Arquitetura Orientada a Recursos	54
3.3.1	Identificadores de Recursos	55
3.3.2	Endereçabilidade	56
3.3.3	Representações	57
3.3.4	Ligações e Conectividade	58
3.3.5	Interface Uniforme	58
3.3.6	Projetando Serviços	61
3.4	Conclusão	62
4	Sistemas Avançados de Informação ao Viajante	63
4.1	Introdução	63
4.2	ATIS segundo a arquitetura de referência NIA	65
4.2.1	Pacote de Serviços ATIS01 - Difusão de Informação ao Viajante	65
4.2.2	Pacote de Serviços ATIS02 - Informação Interativa ao Viajante	66
4.2.3	Pacote de Serviços ATIS03 - Orientação Autônoma de Rotas	67
4.2.4	Pacote de Serviços ATIS04 - Orientação Dinâmica de Rotas .	68
4.2.5	Pacote de Serviços ATIS05 - Orientação de Rotas e Planejamento de Viagem Baseados em PSI	68
4.2.6	Pacote de Serviços ATIS06 - Compartilhamento de Dados Sobre Operações de Transportes	70
4.2.7	Pacote de Serviços ATIS07 - Guias e Reservas	70
4.2.8	Pacote de Serviços ATIS08 - Carona Solidária	71
4.2.9	Pacote de Serviços ATIS09 - Sinalização a Bordo de Veículo .	72
4.2.10	Pacote de Serviços ATIS10 - Informação ao Viajante por Comunicação de Curto Alcance	73
4.3	Conclusão	74
5	Método de Projeto Proposto	77
5.1	Introdução	77
5.2	Definir Requisitos da Arquitetura Regional Pretendida	78
5.3	Casar os Requisitos com os Pacotes de Serviços	78
5.4	Identificar o Conjunto de Dados a partir dos Fluxos de Arquitetura dos Pacotes de Serviços	79
5.5	Definir uma arquitetura baseada no estilo REST a partir deste Conjunto de Dados	80
5.5.1	Particionar o Conjunto de Dados em Recursos	80
5.5.2	Nomear os Recursos através de URIs	80
5.5.3	Definir o subconjunto da Interface Uniforme para cada Recurso	81
5.5.4	Projetar as Representações e Ligações	81
5.5.5	Definir as Respostas fornecidas aos Clientes	82
5.6	Conclusão	84

6 Estudo de Caso de Aplicação do Método Proposto	85
6.1 Introdução	85
6.2 Definir Requisitos da Arquitetura Regional Pretendida	85
6.3 Casar os Requisitos com os Pacotes de Serviços	85
6.4 Identificar o Conjunto de Dados a partir dos Fluxos de Arquitetura dos Pacotes de Serviços	86
6.4.1 Fluxo de Arquitetura “informação de incidente”	88
6.4.2 Fluxo de Arquitetura “informação da pontualidade dos horários de transporte público”	90
6.4.3 Fluxo de Arquitetura “requisição de viajante”	92
6.4.4 Resultados da identificação do Conjunto de Dados	104
6.5 Definir uma arquitetura baseada no estilo REST a partir deste Conjunto de Dados	105
6.5.1 Particionar o Conjunto de Dados em Recursos	105
6.5.1.1 Condições vigentes de tráfego da malha viária	105
6.5.1.2 Incidentes em vigência que podem afetar o trânsito de veículos	109
6.5.1.3 Informações vigentes sobre os serviços de transporte público .	110
6.5.2 Nomear os Recursos através de URIs	116
6.5.3 Definir o subconjunto da Interface Uniforme para cada Recurso	118
6.5.4 Projetar as Representações e Ligações	121
6.5.5 Definir as Respostas fornecidas aos Clientes	128
6.5.5.1 Condições normais para os métodos GET, HEAD e OPTIONS	129
6.5.5.2 Condições normais para o método PUT	130
6.5.5.3 Condições normais para o método DELETE	131
6.5.5.4 Condições de erro para os métodos GET, HEAD e OPTIONS .	132
6.5.5.5 Condições de erro para o método PUT	133
6.5.5.6 Condições de erro para o método DELETE	135
6.6 Conclusão	136
7 Conclusão	137
Referências Bibliográficas	139
APÊNDICE A – Serviços de usuários, subsistemas e fluxos de arquitetura para ATIS baseado em NIA	147
APÊNDICE B – Identificando o conjunto de dados para o ATIS de exemplo - continuação	177

Lista de Figuras

Figura 1	Divisão de camadas que constituem a NIA.....	27
Figura 2	Diagrama representando a organização geral da NIA.....	29
Figura 3	Diagrama de Fluxo de Dados <i>Provide Traveler Guidance</i>	32
Figura 4	Exemplo da decomposição de processos.....	33
Figura 5	Relação da Arquitetura Lógica com a Arquitetura Física.	33
Figura 6	Subsistemas agrupados por classes e seus modos de comunicação.....	36
Figura 7	Relação entre pacotes de serviço, pacotes de equipamentos e subsistemas da arquitetura física.....	37
Figura 8	Exemplo de diagrama de pacote de serviço.....	38
Figura 9	Legenda para os diagramas de Pacotes de Serviço.....	38
Figura 10	Estilo Cliente-Servidor.....	45
Figura 11	Estilo Cliente-Servidor sem Estado.....	46
Figura 12	Estilo Cliente com Cache-Servidor sem Estado.....	47
Figura 13	Estilo Cliente com Cache-Servidor sem Estado e Interface Uniforme.....	48
Figura 14	Estilo Cliente com Cache-Servidor sem Estado e Interface Uniforme com Múltiplas Camadas.....	49
Figura 15	Estilo REST.....	50
Figura 16	Diagrama do pacote de serviço ATIS01.....	66
Figura 17	Diagrama do pacote de serviço ATIS02.....	67
Figura 18	Diagrama do pacote de serviço ATIS03.....	68
Figura 19	Diagrama do pacote de serviço ATIS04.....	69
Figura 20	Diagrama do pacote de serviço ATIS05.....	69
Figura 21	Diagrama do pacote de serviço ATIS06.....	70
Figura 22	Diagrama do pacote de serviço ATIS07.....	71
Figura 23	Diagrama do pacote de serviço ATIS08.....	72
Figura 24	Diagrama do pacote de serviço ATIS09.....	73
Figura 25	Diagrama do pacote de serviço ATIS10.....	74
Figura 26	Fluxos de Arquitetura Selecionados.....	87
Figura 27	Representação gráfica dos fluxos de dados (círculos) e de suas relações de composição (arestas) para os sete fluxos de arquitetura	

selecionados	94
Figura 28 Primeira iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “informação de incidente”	95
Figura 29 Segunda iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “informação de incidente”	96
Figura 30 Terceira iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “informação de incidente”	96
Figura 31 Primeira iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “informação da pontualidade dos horários de transporte público”	97
Figura 32 Segunda iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “informação da pontualidade dos horários de transporte público”	97
Figura 33 Terceira iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “informação da pontualidade dos horários de transporte público”	97
Figura 34 Primeira iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “requisição de viajante”	98
Figura 35 Segunda iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “requisição de viajante”	99
Figura 36 Terceira iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “requisição de viajante”	101
Figura 37 Quarta iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “requisição de viajante”	102
Figura 38 Quinta iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “requisição de viajante”	103
Figura 39 Fluxos de dados e suas relações de composição, com destaque para os fluxos de dados selecionados	104
Figura 40 Recursos criados a partir da arquitetura NIA e as ligações hipermídia definida entre eles	128
Figura 41 Primeira iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “condições da malha de estradas”	178
Figura 42 Segunda iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “condições da malha de estradas”	179
Figura 43 Terceira iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “condições da malha de estradas”	180
Figura 44 Quarta iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “condições da malha de estradas”	181

Figura 45	Quinta iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “condições da malha de estradas”	182
Figura 46	Sexta e última iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “condições da malha de estradas”	182
Figura 47	Primeira iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “informação sobre o transporte público”	183
Figura 48	Segunda iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “informação sobre o transporte público”	184
Figura 49	Terceira iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “informação sobre o transporte público”	184
Figura 50	Quarta iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “informação sobre o transporte público”	185
Figura 51	quinta iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “informação sobre o transporte público”	186
Figura 52	Sexta iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “informação sobre o transporte público”	187
Figura 53	Sétima iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “informação sobre o transporte público”	188
Figura 54	Primeira iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “difusão de informação ao viajante”	189
Figura 55	Segunda iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “difusão de informação ao viajante”	190
Figura 56	Terceira iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “difusão de informação ao viajante”	191
Figura 57	Quarta iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “difusão de informação ao viajante”	192
Figura 58	Primeira iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “informação personalizada para o viajante”	193
Figura 59	Segunda iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “informação personalizada para o viajante”	194
Figura 60	Terceira iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “informação personalizada para o viajante”	195
Figura 61	Quarta iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “informação personalizada para o viajante”	196

Lista de Tabelas

Tabela 1	Exemplo da descrição de um PSPEC.....	34
Tabela 2	Exemplos da Web para conectores REST.....	53
Tabela 3	Exemplos da Web para componentes REST.....	54
Tabela 4	Pacotes de Serviço para ATIS.....	65
Tabela 5	Fluxos de dados que representam uma informação de um Trecho.....	106
Tabela 6	Fluxos de dados que representam uma informação de Condições de Tráfego.....	107
Tabela 7	Fluxos de dados relativos à identificação do usuário em uma requisição para obtenção de informações de tráfego, transporte público e incidentes.....	107
Tabela 8	Fluxos de dados relativos à natureza da requisição para obtenção de informações de tráfego ou transporte público ou incidentes.....	108
Tabela 9	Recursos extraídos do conjunto de dados para o requisito relativo às condições de tráfego de trechos.....	108
Tabela 10	Fluxos de dados que representam uma informação de um incidente em vigência.....	109
Tabela 11	Recursos extraídos do conjunto de dados para o requisito relativo a informações dos incidentes vigentes.....	110
Tabela 12	Recursos extraídos do conjunto de dados para o requisito relativo a informações vigentes sobre os serviços de transporte público - I.....	111
Tabela 13	Recursos extraídos do conjunto de dados para o requisito relativo a informações vigentes sobre os serviços de transporte público - II.....	111
Tabela 14	Recursos extraídos do conjunto de dados para o requisito relativo a informações vigentes sobre os serviços de transporte público - III.....	112
Tabela 15	Fluxos de dados que representam uma informação relativa ao atraso de um veículo de transporte público.....	113
Tabela 16	Recursos extraídos do conjunto de dados para o requisito relativo a informações vigentes sobre os serviços de transporte público - IV.....	115
Tabela 17	Síntese dos componentes do pacote de serviços ATIS01 e seus	

elementos.....	147
Tabela 18 Síntese dos componentes do pacote de serviços ATIS02 e seus elementos.....	148
Tabela 19 Síntese dos componentes do pacote de serviços ATIS03 e seus elementos.....	149
Tabela 20 Síntese dos componentes do pacote de serviços ATIS04 e seus elementos.....	150
Tabela 21 Síntese dos componentes do pacote de serviços ATIS05 e seus elementos.....	151
Tabela 22 Síntese dos componentes do pacote de serviços ATIS06 e seus elementos.....	152
Tabela 23 Síntese dos componentes do pacote de serviços ATIS07 e seus elementos.....	153
Tabela 24 Síntese dos componentes do pacote de serviços ATIS08 e seus elementos.....	154
Tabela 25 Síntese dos componentes do pacote de serviços ATIS09 e seus elementos.....	155
Tabela 26 Síntese dos componentes do pacote de serviço ATIS10 e seus elementos.....	156

1 Introdução

Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS) aplicam tecnologias de telecomunicações e informática à infraestrutura de transportes para garantir segurança e minimizar o tempo de viagem, atendendo um grande número de viajantes e sua grande demanda por informação precisa e pontual (GHOSH; LEE, 2010). Para isto, os ITS precisam prover uma integração contínua dos diferentes modos de transporte através de controle e coordenação entre seus sistemas (GHOSH; LEE, 2000).

As informações envolvidas em ITS têm origem em diversos lugares, são coletadas de várias maneiras e por instituições diferentes, possuindo muitas vezes formatos de representação, taxa de amostragem e significados distintos, formando assim uma rede de sistemas heterogêneos e distribuídos. Estas características dificultam os processos de integração e interoperação destes sistemas, tornando a constituição de um ITS uma tarefa complexa. Para resolver parte destes problemas foram desenvolvidas arquiteturas de referência para ITS, visando uma linguagem comum para a identificação de componentes, sistemas, informações, técnicas e desenvolvimento de ITS.

Entre estas arquiteturas de referência está situada a estadunidense *National ITS Architecture* (NIA), que fornece um *framework* para o desenvolvimento de arquiteturas regionais para ITS, seja para um estado, uma cidade ou uma área que abranja várias cidades ou estados (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2012a). Assim, tais localidades podem construir suas próprias arquiteturas locais para atender às suas necessidades específicas, sem fugir dos padrões e critérios já estabelecidos pela arquitetura de referência.

No final de 2004, segundo levantamento feito pela *Federal Highway Administration*, já havia cerca de 300 arquiteturas regionais para ITS nos EUA, sendo que aproximadamente 200 delas já estavam prontas para utilização. Porém, em estudo (STEINBERG, 2006) realizado pela *National Association of Regional Councils* (NARC), chegou-se à conclusão de que as arquiteturas regionais desenvolvidas no país são divergentes umas das outras, devido a diferenças entre as regiões tais como localização, população, dimensões, interesses políticos, investimentos monetários, conhecimento por parte das equipes técnicas e o arranjo de tecnologias de ITS empregadas. O estudo ainda aponta que o desenvolvimento de arquiteturas compatíveis entre si facilitará a coordenação de esforços que envolvem múltiplas regiões.

Analisando estas características, propostas de soluções e problemas a respeito de ITS, é possível observá-los como um conjunto de sistemas independentes e distribuídos geograficamente, cada um capaz de prover, isoladamente, serviços de transportes e com suas peculiaridades locais, ao

mesmo tempo em que se busca atingir um nível de integração entre eles que os permitam agir de modo colaborativo, como um sistema único e interligado, oferecendo serviços completos e precisos aos seus usuários.

Por outro lado, a Internet (FIELDING; TAYLOR, 2002) interconecta redes de informação entre múltiplas fronteiras organizacionais. Neste ambiente, um sistema precisa estar preparado para atender a cargas imprevistas e dados maliciosos ou incorretos, pois está se comunicando com elementos fora do controle de uma organização e para isso sua arquitetura deve ser favorável a mecanismos que melhoram a visibilidade e a escalabilidade. Ao mesmo tempo, este sistema deve estar preparado para mudanças graduais e fragmentadas, onde implementações novas e antigas devem conviver em harmonia. Então sua arquitetura, como um todo, deve ser projetada para facilitar a implantação de elementos arquitetônicos de maneira parcial e iterativa, pois não é possível forçar a implantação completa de um modo organizado (FIELDING; TAYLOR, 2002).

Uma das aplicações mais bem sucedidas e utilizadas da Internet é a World Wide Web. Ela foi inicialmente projetada como um mundo interativo de informações compartilhadas, onde pessoas poderiam se comunicar com máquinas e também umas com as outras, um espaço abstrato populado por páginas de textos, imagens, animações, sons e vídeos interligados (BERNERS-LEE, 1996), conectando ilhas de informação de um jeito simples e efetivo, sem se preocupar com suas localizações físicas (FIELDING et al., 1998).

A Web evoluiu a partir deste sistema hipermídia (FIELDING; TAYLOR, 2002), onde as páginas web eram a principal forma de representação de recursos, para o que é hoje o maior sistema de informação existente (STIRBU, 2010). Este sucesso se deu, em grande parte, à sua arquitetura, projetada para atender às necessidades de uma aplicação hipermídia distribuída, na escala da Internet (FIELDING; TAYLOR, 2002), com ênfase na escalabilidade da interação entre componentes, generalidade de interfaces de comunicação, implantação independente de componentes e uso de componentes intermediários para reduzir a latência das interações, reforçar a segurança e encapsular sistemas legados (FIELDING; TAYLOR, 2002). Estas qualidades derivam do estilo arquitetônico *Representational State Transfer* (REST).

REST é um conjunto coordenado de restrições arquitetônicas que busca minimizar a latência e a comunicação através da rede ao mesmo tempo em que maximiza a independência e escalabilidade da implementação de componentes (FIELDING; TAYLOR, 2002). Ele ainda permite o uso de *cache* e a reutilização de interações, a substituição dinâmica de componentes e o processamento de ações por intermediários, para atender às necessidades de um sistema hipermídia distribuído em escala planetária. Sua flexibilidade e simplicidade fazem dele uma solução não apenas para sistemas contidos

na Web mas também para uma ampla variedade de problemas de integração (VINOSKI, 2008).

Assim, do lado dos ITS, tem-se a necessidade de coordenar diversos tipos de sistemas para que formem uma rede de serviços integrados para usuários da infraestrutura de transportes. Enquanto isso, o estilo REST proporciona uma série de restrições e princípios que são utilizados na Web para integrar sistemas novos e legados em uma plataforma flexível e extensível constituída de padrões abertos como HTTP, XML, JSON, HTML etc, trazendo a pergunta da pesquisa a ser explorada neste trabalho: Como elaborar uma proposta de ITS projetado de acordo com as restrições do estilo da Web para tirar proveito das características desta última e utilizando-a como uma plataforma para suas aplicações de características de sistemas distribuídos e heterogêneos?

Para resolver esse problema é formulada a seguinte hipótese de pesquisa: O desenvolvimento de ITS baseados na arquitetura de referência NIA pode se beneficiar das restrições e princípios contidos no estilo arquitetônico REST para resolver problemas de escala, comunicação e integração entre seus componentes, utilizando assim a abordagem que tem se mostrado produtiva na Web moderna para a construção de sistemas hipermídia distribuídos de larga escala.

Como experimento prático, será desenvolvida, seguindo REST, uma arquitetura regional baseada em NIA para atender à demandas de usuários por informações sobre a situação do trânsito, informações sobre os serviços de transporte público tais como itinerários, horários e tarifas e também o informe sobre a ocorrência de incidentes que possam afetar as condições de trânsito e os serviços de transporte público. Este tipo de demanda caracteriza uma categoria de ITS chamado Sistemas Avançados de Informação ao Viajante (ATIS).

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral utilizar as restrições e princípios da Web, através do estilo arquitetônico REST, para a construção de arquiteturas regionais para ITS.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Analisar a arquitetura de referência NIA utilizada em ITS.
- Analisar o estilo arquitetônico REST e a arquitetura orientada a recur-

sos (ROA).

- Analisar os Sistemas Avançados de Informação ao Viajante sob a perspectiva de NIA.
- Elaborar um método que permita construir uma arquitetura regional para ITS de acordo com o estilo arquitetônico REST.
- Aplicar o método proposto na construção de uma arquitetura regional de acordo com NIA e voltada para ATIS.

1.2 Aspectos Metodológicos

Como a metodologia de pesquisa define os procedimentos e regras utilizadas por um determinado método ou caminho para a aplicação e conclusão de um trabalho científico (SILVA E. L. D.; MENEZES, 2005), são descritos os seguintes aspectos metodológicos:

Para definir as características desta pesquisa, procurou-se, inicialmente classificá-la quanto a natureza de dados pelo método qualitativo, visto que os dados foram obtidos de modo subjetivo. O método qualitativo (SILVA E. L. D.; MENEZES, 2005) consiste em levantar e registrar descrições detalhadas sobre os eventos, procurando compreender os fenômenos e seus domínios.

Quanto aos objetivos da pesquisa, este trabalho utilizou o formato exploratório. Quando os fatos são observados, registrados, analisados, classificados e interpretados, sem que o pesquisador interfira neles, estando presente na hora em que os eventos acontecem ou não. Além de descrever o fenômeno, faz propostas para novas teorias, ou novas observações, novas métricas para medir o fenômeno, além de provar ou contradizer uma teoria particular (TEIXEIRA, 2007).

Como procedimento utilizou-se o conceito de estudo de caso. Descreve (YIN, 2005), que para realização de um estudo de caso há envolvimento de habilidades prévias por parte do pesquisador, para que de forma adequada possa formular a conclusão do trabalho, pois visa explorar certos domínios, proporcionando melhorias, adaptações do existente e estabelecimentos de medidas para avaliar o desempenho de uma situação, tratada como caso.

A estratégia de coleta de dados para esta pesquisa foi obtida pela observação, em que o pesquisador, estando no local onde o evento acontece, exerce o papel de observador e avaliador dos detalhes do evento.

A teorização, no caso deste trabalho, foi em momentos independentes, em que os dados qualitativos foram estabelecidos para posterior proposta de

teorizá-los. Assim, a análise dos estudos (YIN, 2005) consistiu em separar os elementos básicos da informação e examiná-los, de modo a responder as questões citadas no problema de pesquisa e/ou hipótese.

1.3 Organização da Dissertação

O capítulo 2 apresenta os sistemas inteligentes de transporte sob a perspectiva da arquitetura de referência NIA, explorando seus conceitos e características. O capítulo 3 descreve o estilo arquitetônico REST e a Arquitetura Orientada a Recursos que serão utilizados no desenvolvimento deste trabalho. No capítulo 4 são apresentados os componentes da arquitetura NIA que caracterizam os Sistemas Avançados de Informação ao Viajante. Todos estes conceitos são então utilizados no capítulo 5 para a construção de um método para a construção de arquiteturas regionais orientadas a recursos utilizando o estilo REST e a arquitetura NIA como blocos fundamentais. Por fim, no capítulo 6 é apresentado um exemplo de aplicação deste método tendo como tema os Sistemas Avançados de Informação ao Viajante.

2 Arquitetura de Referência para Sistemas Inteligentes de Transportes

2.1 Introdução

Sistemas de transportes cobrem distâncias físicas transportando pessoas e bens de uma localidade para outra, utilizando rotas que passam por um ou mais pontos de troca para embarques e desembarques. A organização desses pontos de troca facilita o compartilhamento de recursos e oferece outras conveniências, como reabastecimento etc (GHOSH; LEE, 2000).

Nas últimas décadas, percebeu-se que a tarefa de transportar pessoas e bens de maneira eficiente é muito mais complexa do que fora imaginado (GHOSH; LEE, 2010). O problema não está confinado apenas ao transporte rodoviário, ele afeta também trens, transporte aéreo, balsas e navios e todos os outros modos de transporte atualmente disponíveis e utilizados. Embora exista uma grande diversidade de modos de transporte, uma característica única emerge (GHOSH; LEE, 2000): o esforço constante durante a história de melhorar sua eficiência através do fornecimento de informação e direcionamentos para as entidades que constituem o sistema.

Com os recentes avanços tecnológicos nas áreas de computação, telecomunicações e engenharias, surgiu a ideia de aliar essas tecnologias para melhorar a eficiência dos sistemas de transporte, constituindo assim os chamados Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS).

A *International Standards Organisation* (ISO) define ITS como a aplicação da tecnologia da informação, tecnologias de comunicações e tecnologias de sensores, incluindo a Internet, para os desafios e oportunidades gerais do transporte de superfície (JAMES; DATE; MCBRIDE, 2010). Seu propósito é se beneficiar de tecnologias apropriadas para criar usuários, veículos e estradas “mais inteligentes” (FIGUEIREDO et al., 2001), aplicando estas tecnologias para resolver problemas de transportes como o crescente congestionamento de tráfego, segurança, eficiência e a conservação do meio ambiente (HUCK et al., 2005). Entre as s tecnologias envolvidas nos ITS pode-se incluir sistemas para controle semaforico, gerenciamento de tráfego, sistemas de posicionamento, transporte público, e o compartilhamento de informações entre modos de transportes, além de sensores de condições de tráfego, processamento e armazenamento de dados e sistemas de software para implementar e otimizar os comportamentos desejados destes sistemas (JAMES; DATE; MCBRIDE, 2010; CONROY et al., 2000).

Juntos, estes sistemas possuem grande potencial para aumentar a efi-

ciência dos transportes, aumentar a segurança e oferecer serviços melhores aos seus usuários. Porém, com a contínua evolução das tecnologias, a complexidade para aplicá-las aumenta, começam a surgir desafios sobre como coordenar e integrar todos estes sistemas, como realizar uma efetiva transferência de conhecimento e cooperação entre diversas áreas de pesquisa para explorar o enorme potencial existente (JAMES; DATE; MCBRIDE, 2010; FIGUEIREDO et al., 2001). Deve-se ainda acrescentar a estes desafios os aspectos políticos, sociais, institucionais e regulatórios envolvidos no desenvolvimento e implantação de ITS.

Para organizar, padronizar e criar uma linguagem comum entre as partes interessadas em ITS, foram criadas arquiteturas específicas para estes sistemas, simplificando o processo de desenvolvimento de aplicações de ITS e permitindo que as partes interessadas identifiquem os serviços requisitados pelos usuários e as fontes de dados e informações para estes serviços (JAMES; DATE; MCBRIDE, 2010).

A implementação de ITS com base nestas arquiteturas também ajuda a vencer obstáculos de integração, identificando (JAMES; DATE; MCBRIDE, 2010) sinergias entre os sistemas e permitindo que trabalhem em conjunto, fornecendo uma gama maior de serviços com melhor qualidade e menor custo.

Um estudo (ITS-ARAB ARCHITECTURE WORKING GROUP, 2009) da Organização árabe para ITS, ITSArab, revela a existência de 31 arquiteturas desse tipo pelo mundo, em estágio de projeto ou já completadas. Entre elas se encontra a estadunidense *National ITS Architecture*, objeto de estudo deste trabalho por ser amplamente utilizada (STEINBERG, 2006) e possuir toda a sua documentação disponível para livre acesso na Internet, através do endereço (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2012b), na forma de hipertexto, volumes de documentos e estruturas de bancos de dados.

2.2 A arquitetura de referência *National ITS Architecture*

A *National ITS Architecture* se posiciona como uma arquitetura de referência para sistemas inteligentes de transportes, fornecendo um *framework* de subsistemas interconectados para prover serviços de ITS através da distribuição de funcionalidades e definições de interfaces (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2007). É aberta e flexível, não impondo restrições quanto as escolhas tecnológicas a serem feitas durante o seu uso e acomoda as mais variadas necessidades dos setores público e privado ao mesmo tempo em que possui uma definição suficientemente precisa de modo que projetos de sistemas de transportes e de comunicação sejam compatíveis e interoperáveis.

Estas propriedades devem perdurar em implantações de ITS em um período de 20 anos em ambientes urbanos, interurbanos e rurais, por todo o país ¹. Assim, nomes genéricos foram dados a locais e componentes físicos do sistema de transporte para acomodar uma variedade de decisões de projetos e mudanças tanto no arranjo institucional como de tecnologias, permitindo que a estrutura da arquitetura se mantenha estável e ao mesmo tempo flexível ao longo do tempo (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2007, 2012a).

Sua especificação consiste de funções que devem ser realizadas para implementar um serviço de usuário, entidades físicas ou subsistemas onde estas funções residem, interfaces e fluxos de informação entre os subsistemas, requisitos de comunicação para que isto aconteça e também os requisitos para os padrões a serem adotados para que haja interoperabilidade a nível nacional e regional. Com isso, obtém-se uma estrutura para o projeto de ITS que permite que várias abordagens de projetos possam ser desenvolvidas de acordo com as necessidades específicas de cada caso, ao mesmo tempo em que se mantém os benefícios de uma arquitetura em comum.

Para alcançar estes benefícios (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2007), a *National ITS Architecture* deve possuir os seguintes atributos e ser implementada da seguinte maneira:

- A arquitetura deve acomodar projetos modulares.
- A interface para os usuários deve ser padronizada a favor de um ITS nacional.
- A arquitetura deve facilitar o compartilhamento de dados entre os subsistemas.
- A arquitetura deve ser flexível para que os sistemas e suas operações acomodem as preferências de cada jurisdição.
- A arquitetura que será implementada deve levar em consideração a infraestrutura já existente e oferecer maneiras de acomodar os avanços tecnológicos.
- A arquitetura deverá ser estruturada para lidar com uma ampla gama de meios e protocolos de comunicação.

No entanto, esta arquitetura, sozinha, não é um projeto de um ITS nem um conceito de projeto, mas sim uma estrutura de apoio e referência para o

¹Em referência aos Estados Unidos da América, país de origem da NIA.

desenvolvimento de arquiteturas regionais para ITS (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2012e, 2012d).

As arquiteturas regionais devem definir um *framework* para a integração de ITS para uma determinada região, como por exemplo um estado ou uma área metropolitana, de acordo com suas necessidades específicas. Isto deve ser feito obtendo-se da arquitetura NIA somente as partes necessárias para se construir uma arquitetura regional específica, em outras palavras, a arquitetura de referência oferece um cardápio de opções que devem ser escolhidas para a construção de uma arquitetura regional. As vantagens (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2012d) em desenvolver uma arquitetura regional desta forma são:

- Diminui a distância entre o planejamento estratégico de um sistema integrado de transportes e projetos de ITS que apóiam esta visão estratégica.
- Oferece um contexto para outros projetos que incluem partes de ITS.
- Oferece uma ferramenta para visualizar e articular um ITS de uma determinada região, fazendo com que as partes interessadas invistam em compatibilidade ao invés de competitividade.
- É útil para o planejamento da infraestrutura de transportes bem como para as fases iniciais de desenvolvimento de projetos de ITS.

Para entender as opções oferecidas pela NIA para a definição de arquiteturas regionais é necessário explorar como a NIA é constituída e organizada.

A arquitetura NIA é dividida em três camadas, onde a base é formada pela camada Institucional que serve de apoio para a camada de Transportes que por sua vez suporta a camada de Comunicação. A figura 1 ilustra esta organização.

A camada institucional é a fonte dos objetivos e requisitos de ITS que guiam o desenvolvimento da NIA (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2012g), chamados de Serviços de Usuários. Ela forma a base para entender as partes envolvidas no desenvolvimento de um ITS e qual o papel de cada um neste processo, levando em conta as instituições, políticas, mecanismos de financiamentos e processos necessários para implantar, operar e manter um ITS (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2012a), além das fronteiras jurisdicionais, companhias privadas e parcerias público-privado (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2012e).

A segunda camada, a de transportes, é a parte principal da NIA (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2012a) e ocupa a maior parte da

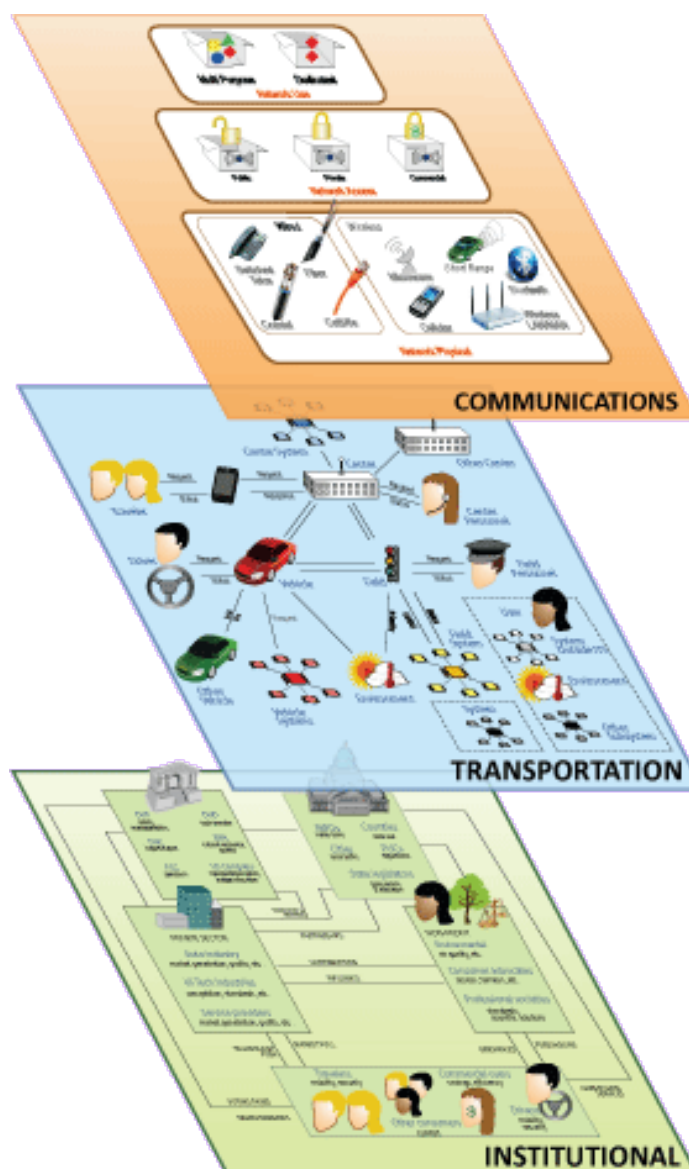


Figura 1: Divisão de camadas que constituem a NIA.
 Fonte: U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2012c)

documentação e da definição desta arquitetura (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2012k). Esta camada provê um *framework* para a aplicação de tecnologias de uma maneira consistente, progressiva e efetiva, definindo as funções que são exercidas por um ITS, os subsistemas que oferecem estas funções e as interfaces necessárias para atender aos serviços de usuários definidos na camada institucional. Devido à importância desta camada na arquitetura de referência, ela servirá de base para este trabalho e será vista em mais detalhes nas seções seguintes.

Com o objetivo de interligar os subsistemas da camada de transportes, a camada de comunicação desempenha um papel crítico (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2007) para o sucesso da NIA, possibili-

tando a troca de informação entre diversas entidades de transportes. Neste contexto estão definidos quatro modos de comunicação:

- ponto-fixo \leftrightarrow ponto-fixo: comunicação somente entre entidades estacionárias utilizando qualquer topologia de rede (estrela, anel, ponto-a-ponto etc) e qualquer tecnologia e meio físico, tais como par trançado, cabo coaxial, fibra ótica, ar (sem fio) etc.
- campo \leftrightarrow veículo: comunicação sem fio de curto alcance para a troca de informações entre os veículos e a infraestrutura de transportes. Pode utilizar qualquer tecnologia para comunicação sem fio que atenda a estes requisitos, como por exemplo Wi-Fi, WiMAX e redes sem fio em malha (*mesh*).
- veículo \leftrightarrow veículo: comunicação sem fio de curto alcance para a troca de informações entre veículos.
- rede sem fio de longa distância: sistemas de comunicação sem fio de ampla cobertura, permitindo que veículos e viajantes tenham acessos aos serviços de um ITS de qualquer localidade, dentro ou fora de infraestrutura de transportes. Esta modalidade abrange tanto comunicações de sentido unidirecional, como por exemplo estações de rádio AM, quando comunicações interativas (bidirecionais). Entre as tecnologias utilizadas, pode-se citar as redes de telefonia móvel, WiMAX e redes sem fio em malha.

2.3 Camada de Transportes

A camada de transporte é a camada predominante da arquitetura NIA; nela estão definidas todas as partes que compõem um ITS baseados nos requisitos e serviços de usuários fornecidos pela camada institucional. A figura 2 apresenta a composição das três camadas e permite ter uma ideia geral da dimensão de cada uma e como funciona o relacionamento entre elas. Os conceitos essenciais envolvidos nesta camada são: Serviços de Usuários, Arquitetura Lógica, Arquitetura Física e Pacotes de Serviço.

No decorrer desta seção serão explorados esses conceitos e como eles se relacionam para compor o cerne da arquitetura NIA.

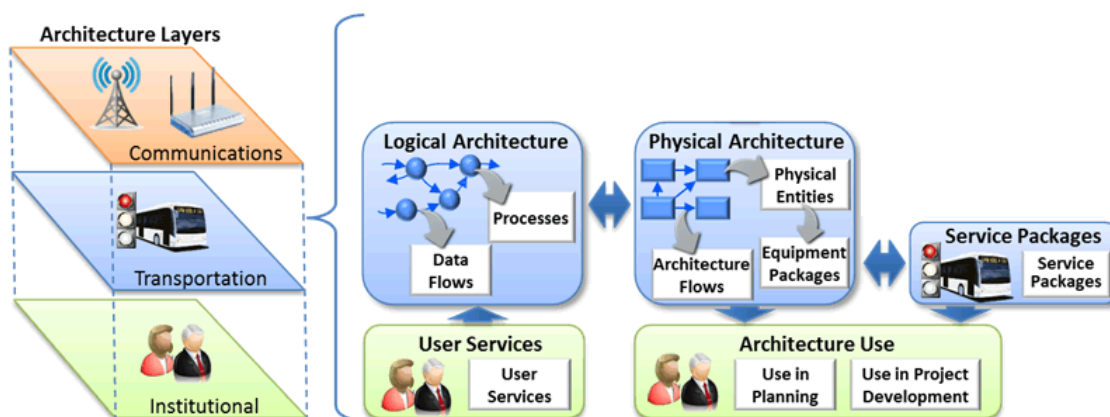


Figura 2: Diagrama representando a organização geral da NIA.
Fonte: U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2012b)

2.3.1 Serviços de Usuários

Os serviços de usuários descrevem o que um ITS baseado em NIA deve fazer do ponto de vista de seus usuários (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2005). Estes serviços formam a base do esforço de desenvolvimento da NIA e torna possível que um projeto de ITS seja definido em através de serviços de alto nível. Apesar de cada serviço de usuário ser único, eles possuem algumas características em comum (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2005):

- Podem ser combinados de diversas maneiras na implantação, dependendo das prioridades, necessidades e do mercado de cada local.
- São compostos por elementos ou funções que podem aparecer também em outros serviços.
- Aparecem em vários estágios do desenvolvimento e são implantados como sistemas de acordo com planejamentos diferentes, guiados pelas políticas e prioridades estabelecidas entre as partes interessadas do setor público e privado e com base em fatores econômicos, condições do mercado e mudanças tecnológicas.
- Os custos e benefícios de um serviço de usuário dependerão de cada cenário de implantação. Uma vez que a infraestrutura básica para seu funcionamento esteja operacional, ela poderá atender também, com pouco ou nenhum custo adicional, outros serviços de usuários e oferecer benefícios adicionais.

- Suas funções podem adaptadas para atenderem às condições e necessidades de cada local, entretanto, não há nada que os prenda à implantação a algum local em particular.

Um ITS pode ser implantado oferecendo apenas um serviço de usuário, porém em muitos casos, um serviço é combinado a outros serviços relacionados, formando agrupamentos de serviços de usuário.

A categorização dos serviços de usuário através de agrupamentos fornece uma forma conveniente para a discussão dos requisitos entre as partes interessadas (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2012f). Ao todo, os 33 serviços de usuários definidos na NIA formam 8 agrupamentos:

1. Gerenciamento de Tráfego e Viagens (10 serviços aos usuários)
2. Gerenciamento de Transporte Público (4 serviços aos usuários)
3. Pagamento Eletrônico (1 serviço ao usuário)
4. Operações de Veículos Comerciais (6 serviços aos usuários)
5. Gerenciamento de Emergência (3 serviços aos usuários)
6. Sistemas Avançados de Segurança para Veículos (7 serviços aos usuários)
7. Gerenciamento da Informação (1 serviço ao usuário)
8. Gerenciamento de Construções e Manutenções (1 serviço ao usuário)

2.3.2 Arquitetura Lógica

Arquitetura Lógica é uma ferramenta que auxilia na organização das entidades e relacionamentos complexos de um sistema (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2012a), proporcionando uma representação formal dos conceitos envolvidos em ITS (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2012h) através da definição de processos e fluxos de dados baseados nos requisitos estabelecidos pelos serviços de usuários.

Seu desenvolvimento é baseado na metodologia de análise estruturada (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2012h) e é realizado independente de quaisquer tecnologias e instituições, ou seja, não deve estabelecer onde e por quem as funções serão executadas nem como devem ser implementadas.

Nesta metodologia, diagramas de fluxo de dados (DFDs) são utilizados para ilustrar o fluxo de dados entre os elementos funcionais que compõem

a arquitetura (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2012h) e que podem ser:

- Terminadores: representam entidades externas que produzem informações para serem processadas pelo sistema ou consomem informações resultantes do processamento pelo sistema. São representados no DFD por retângulos (PRESSMAN, 2004).
- Depósitos de Dados: representam coleções organizadas de dados e são representados por linhas duplas (PRESSMAN, 2004).
- Especificações de Processos (PSPECs): representam processos, ou transformações, que são aplicadas aos dados recebidos (entrada), produzindo resultados (saídas) (PRESSMAN, 2004; U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2012h). São representados no DFD através círculos.

Os fluxos de dados, que ligam os terminadores, depósitos de dados e PSPECs, aparecem como flechas rotuladas com seus nomes. A figura 3 mostra um exemplo de DFD que contém os processos relacionados ao fornecimento de informações de direções aos viajantes. Neste exemplo é possível observar três PSPECs, 17 fluxos de dados e um depósito de dados.

A composição dos DFDs é feita através de níveis de abstração; assim, um processo de alto nível pode ser decomposto em vários outros processos sucessivas vezes até que chegue a uma forma primitiva, se tornando uma PSPEC. A figura 4 ilustra a sequência, da direita para a esquerda, de decomposição do processo *Process Traffic Surveillance* do DFD *1.Manage Traffic*. Neste exemplo, o processo *Process Traffic Surveillance*, representado pelo círculo destacado no DFD da direita, é decomposto no DFD central que exhibe mais sete processos. Este DFD, por sua vez, tem o processo *Process and Store Traffic Data* decomposto no DFD da esquerda, dando origem a mais sete processos. Neste último passo está destacado o processo *Process Traffic Data 1.1.2.2*, que não pode mais ser decomposto e portanto é um PSPEC.

As PSPECs são utilizadas para descrever todos os processos em seus níveis finais de refinamento (PRESSMAN, 2004) e seu conteúdo pode ser preenchido por textos, algoritmos, equações matemáticas, tabelas, diagramas e ilustrações. Na arquitetura NIA, são representados por um texto explicativo que fornece uma visão de alto nível e enumera as associações com outras partes da arquitetura e os requisitos de serviços de usuários que atendem. A tabela 1 mostra a descrição completa do PSPEC *6.8.1.1.1 - Determine Personal Portable Device Guidance Method*, presente também no exemplo de DFD da figura 3.

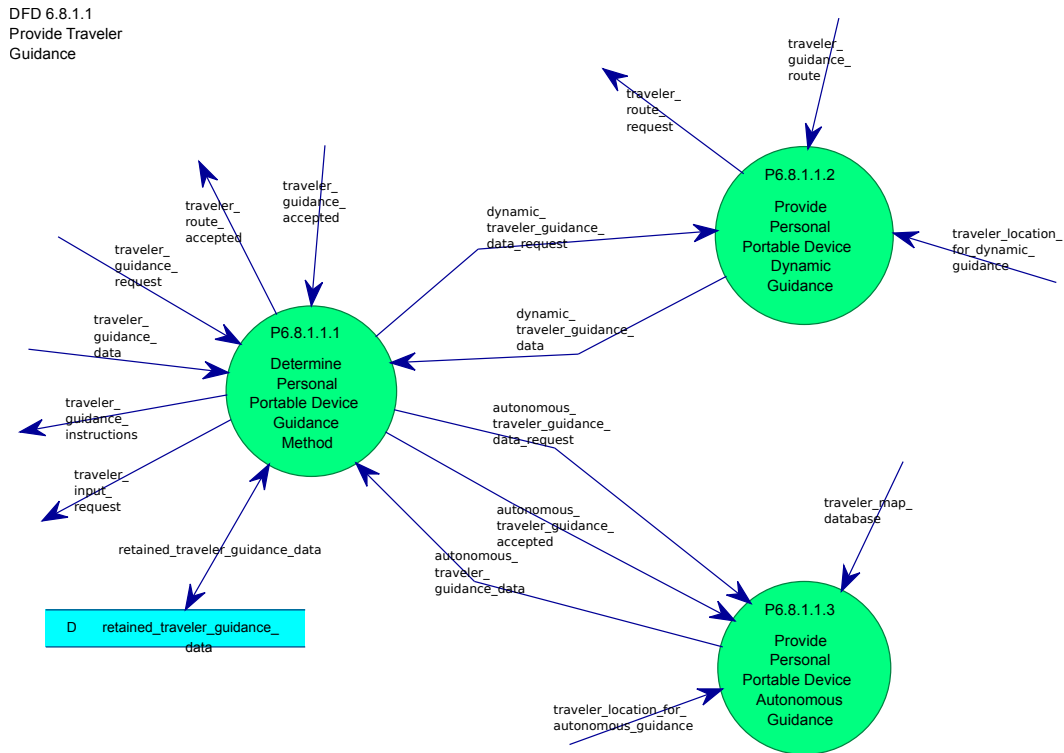


Figura 3: Diagrama de Fluxo de Dados *Provide Traveler Guidance*.
Fonte: U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2012b)

2.3.3 Arquitetura Física

A arquitetura física define o *framework* de toda a arquitetura NIA (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2012i) e contém os componentes onde os padrões e estratégias para implementação e implantação são realizados. Ela proporciona uma visão física, ao invés da visão funcional proporcionada pela arquitetura lógica, dos componentes do sistema e oferece às partes interessadas uma representação física de como um ITS deve prover suas funcionalidades (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2012a).

Os processos (PSPECs) desenvolvidos na arquitetura lógica são atribuídos a entidades físicas, chamadas pela NIA de subsistemas, e os fluxos de dados são agrupados em fluxos de arquitetura, também chamados de fluxos de informação.

Os subsistemas são os componentes estruturais primários da arquitetura física (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2012i) e são determinados com base nas necessidades de cada instituição e nas capacidades e limitações tecnológicas, de modo que cada subsistema exerça

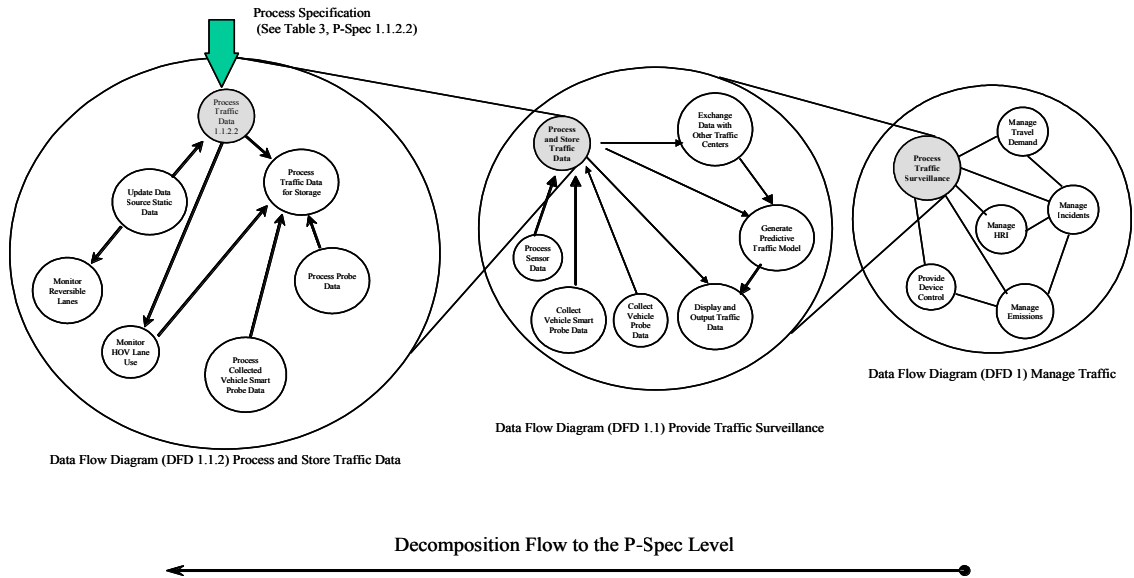


Figura 4: Exemplo da decomposição de processos.
 Fonte: U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2012a)

somente funções que possam ser agrupadas e assim, operados por uma única instituição. Os processos da arquitetura lógica são então designados a cada um dos subsistemas de acordo com as necessidades das partes interessadas.

As trocas de informação entre cada subsistema, representadas através dos fluxos de arquitetura, são determinadas de acordo com os fluxos de dados de seus processos e formam, juntamente com seus requisitos de comunicação, as interfaces de comunicação entre os subsistemas.

A figura 5 ilustra a relação entre os elementos da arquitetura lógica e física. As linhas tracejadas mostram como os processos são agrupados para formar um subsistema e os traços pontilhados exibem como os fluxos de dados são agrupados para formar fluxos de arquitetura.

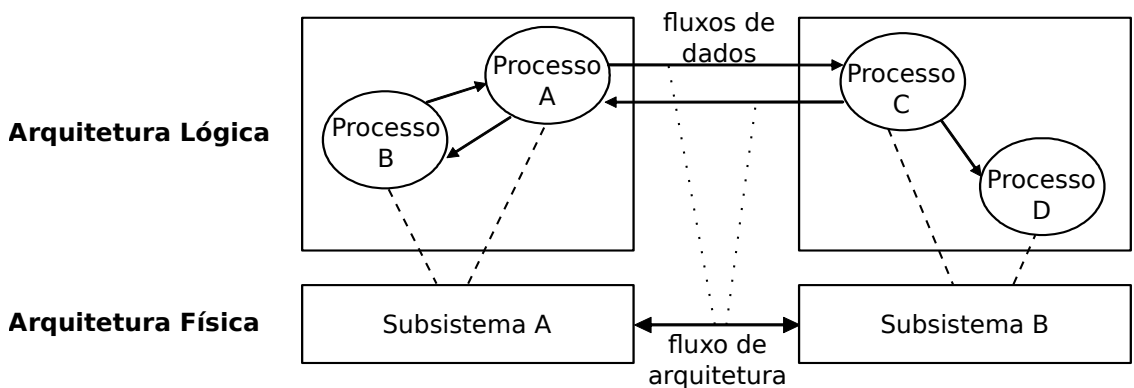


Figura 5: Relação da Arquitetura Lógica com a Arquitetura Física.
 Fonte: adaptado de U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2012a)

6.8.1.1.1 Determinar Método de Orientação para Dispositivo Pessoal Portátil	
Descrição: Este processo deve agir como interface para as requisições de direções pessoais feitas pelos viajantes em seus dispositivos pessoais portáteis. Deve ser selecionado o melhor método para o direcionamento pessoal baseado nas informações fornecidas pelo viajante. Dois métodos devem estar disponíveis: direções fornecidas pela infraestrutura e autônomo - onde o dispositivo atua apenas com os dados que possui internamente. Se a comunicação com a infraestrutura falhar, o dispositivo deve utilizar o modo autônomo.	
Fluxos de Entrada: autonomous_traveler_guidance_data, dynamic_traveler_guidance_data, traveler_guidance_data retained_traveler_guidance_data , traveler_guidance_accepted, traveler_guidance_request	
Fluxos de Saída: autonomous_traveler_guidance_accepted, autonomous_traveler_guidance_data_request dynamic_traveler_guidance_data_request, retained_traveler_guidance_data traveler_guidance_instructions, traveler_input_request, traveler_route_accepted	
Requisitos Atendidos: 1.0, 1.3, 1.3.0, 1.3.1, 1.3.1.1, 1.3.1.2, 1.3.1.2.1, 1.3.1.3, 1.3.2, 1.3.2.2, 1.3.2.3, 1.3.2.3.1, 1.3.3, 1.3.3.2, 1.3.3.2.2, 1.3.3.3, 1.3.4, 1.3.4.1, 1.3.4.1(d), 1.3.4.1(e), 1.3.4.2, 1.3.4.2.1, 1.3.4.2.2, 1.3.4.3	

Tabela 1: Exemplo da descrição de um PSPEC.

Fonte: adaptado de U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2012b)

Além dos subsistemas, que fazem parte do núcleo da arquitetura NIA, os terminadores são compartilhados entre a arquitetura lógica e física e representam os sistemas periféricos como pessoas (usuários), outros sistemas e o ambiente que se comunica com ITS. Outro aspecto que diferencia um terminador de um subsistema é que nenhum (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2012a) requisito funcional é alocado aos terminadores, embora as interfaces entre eles e os subsistemas sejam definidas pela NIA.

As entidades que compõem a arquitetura física, os subsistemas e os terminadores, podem ser agrupados em quatro classes (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2012i):

- Centro: gerência, administração e suporte para os sistemas de transporte. Cada centro pode se comunicar com outros centros para coordenação de atividades ou com subsistemas em campo ou em veículos, para obtenção e provimento de informações e controle.
- Campo: funções tipicamente distribuídas ao longo da infraestrutura de transporte para prover informações e execução de planos de controle. Os subsistemas de campo se comunicam com um ou mais subsistemas centrais, que governam a operação dos subsistemas de campo. Geralmente incluem interfaces direcionadas a motoristas e usuários do sistema de transporte.
- Veículos: se comunicam com os subsistemas de centro e campo para o fornecimento de informações gerais aos motoristas, navegação e sistemas de segurança.
- Viajantes: possui acesso a sistemas de informações oferecidos por provedores situados nos subsistemas de centro.

Outro modo de categorizar as entidades é através de seus tipos (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2012i):

- Sistema: um sistema computacional que aceita entradas, produz saídas e exerce funções relacionadas ou não a transportes. Um subsistema de gerenciamento de tráfego, por exemplo, controla o tráfego de uma região e cobra pedágios, disparando transações financeiras que são tratadas por uma instituição financeira (terminador);
- Humanos: pessoas que interagem com as implementações da arquitetura. Podem ser tanto viajantes que utilizam ITS quanto operadores dos sistemas, que realizam ajustes e modificações para a melhora dos serviços. Cada interface com um usuário envolve interações de humanos com o sistema.
- Outros sistemas: pode haver múltiplas instâncias de cada um dos subsistemas da arquitetura. Este tipo é utilizado para modelar a interação entre essas múltiplas instâncias;
- Ambiente: o mundo físico/real.

As classes de subsistemas podem ser vistas na figura 6 que representa os subsistemas da arquitetura NIA e a comunicação entre eles. Em retângulos brancos são mostrados os subsistemas dentro de suas classes (retângulos coloridos) e se comunicando através das 4 modalidades gerais de comunicação.

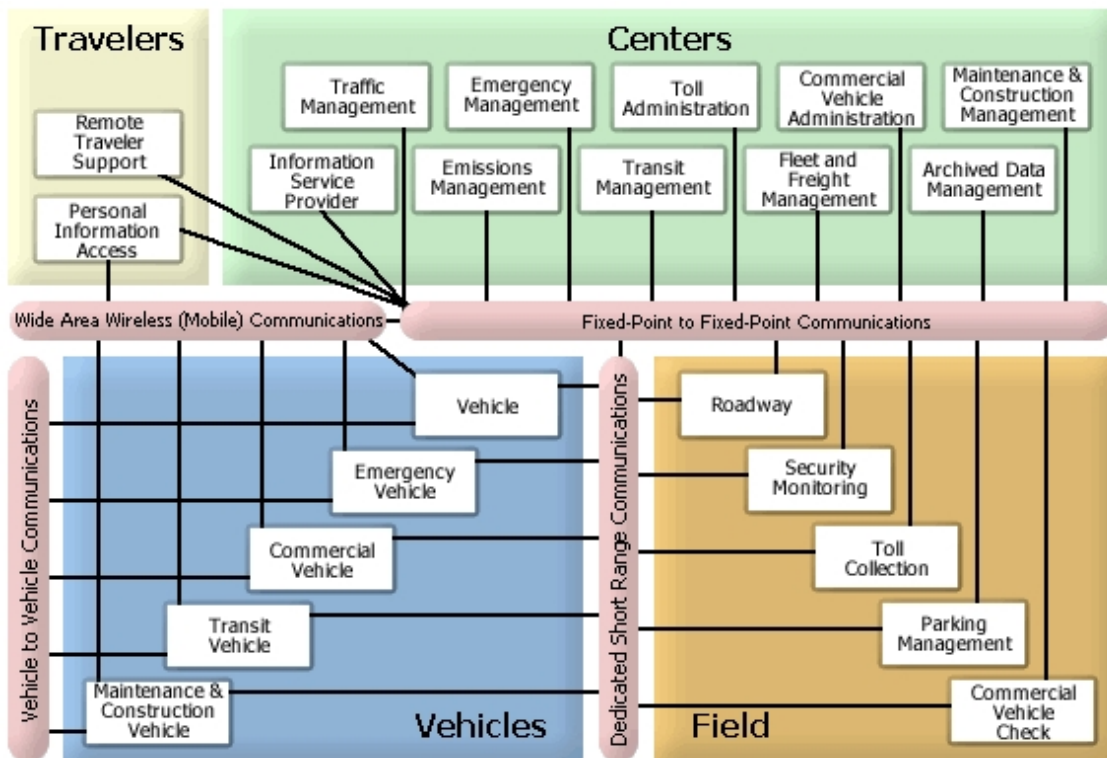


Figura 6: Subsistemas agrupados por classes e seus modos de comunicação.
 Fonte: U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2012a)

Ao todo, compõem a arquitetura NIA 22 subsistemas, 76 terminadores e 536 fluxos de arquitetura.

Os processos similares que constituem um subsistema são agrupados em pacotes de equipamentos, que também consideram os serviços de usuário e a necessidade de acomodar vários níveis de funcionalidade entre eles (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2012f). Cada pacote de equipamento, então, agrupa funcionalidades similares de um subsistema em um pacote de recursos de hardware e software que podem ser implementados. No total, a arquitetura NIA é composta por 233 pacotes de equipamentos (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2012a).

2.3.4 Pacotes de Serviço

Muitos dos serviços de usuários da arquitetura NIA tem seus escopos muito abrangentes, dificultando o planejamento de implantações de ITS (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2012a). Além disso eles as vezes não se traduzem facilmente em ambientes institucionais existentes (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2012a). Para resolver estes

problemas, foi criado um conjunto de elementos voltados para a implantação de ITS e definidos a partir dos serviços de usuário. Estes elementos são chamados pacotes de serviço.

Um pacote de serviço tem como função agrupar os pacotes de equipamentos que precisam trabalhar em conjunto, e os fluxos de arquitetura que os conectam, para fornecer um serviço em um ITS. Em outras palavras, cada pacote de serviço identifica fragmentos da arquitetura física que são necessários para a implantação de um serviço em particular, fornecendo uma visão orientada a serviços da arquitetura NIA (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2012j). A figura 7 ilustra as relações que existem entre os subsistemas da arquitetura física, os pacotes de equipamentos e os pacotes de serviço.

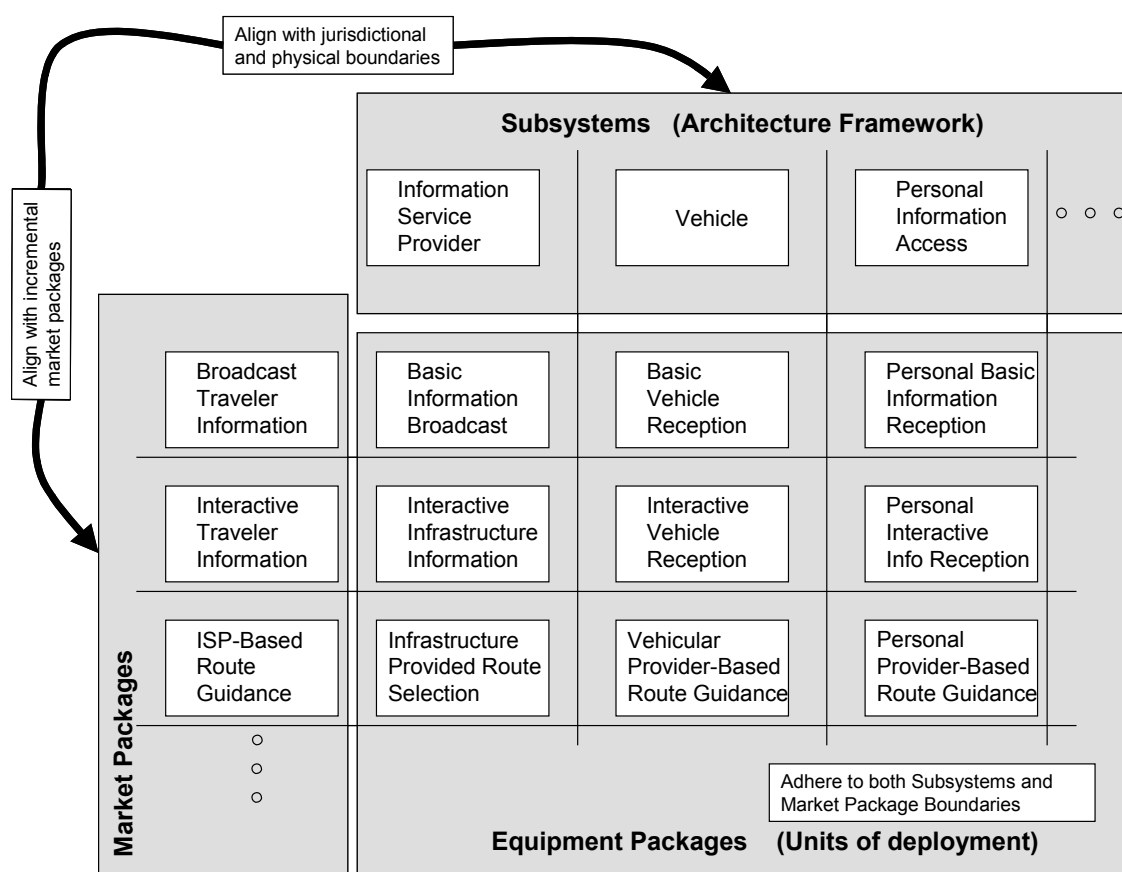


Figura 7: Relação entre pacotes de serviço, pacotes de equipamentos e subsistemas da arquitetura física.

Fonte: U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2012i)

Cada pacote de serviço possui um diagrama de pacote de serviço que apresenta as partes relevantes (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, d) da NIA que o constituem, incluindo seus subsistemas, pacotes de equipamentos, terminadores e fluxos de arquitetura, focando e simplificando

sua apresentação. A figura 8 mostra um exemplo deste tipo de diagrama. Para facilitar sua leitura, é fornecido também uma legenda para os elementos gráficos, como mostra a figura 9.

CVO09 - CVO Fleet Maintenance

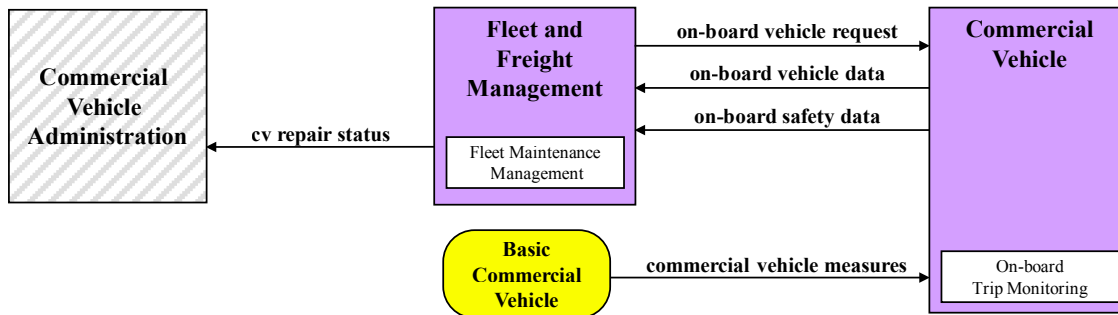


Figura 8: Exemplo de diagrama de pacote de serviço.

Fonte: U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2012b)

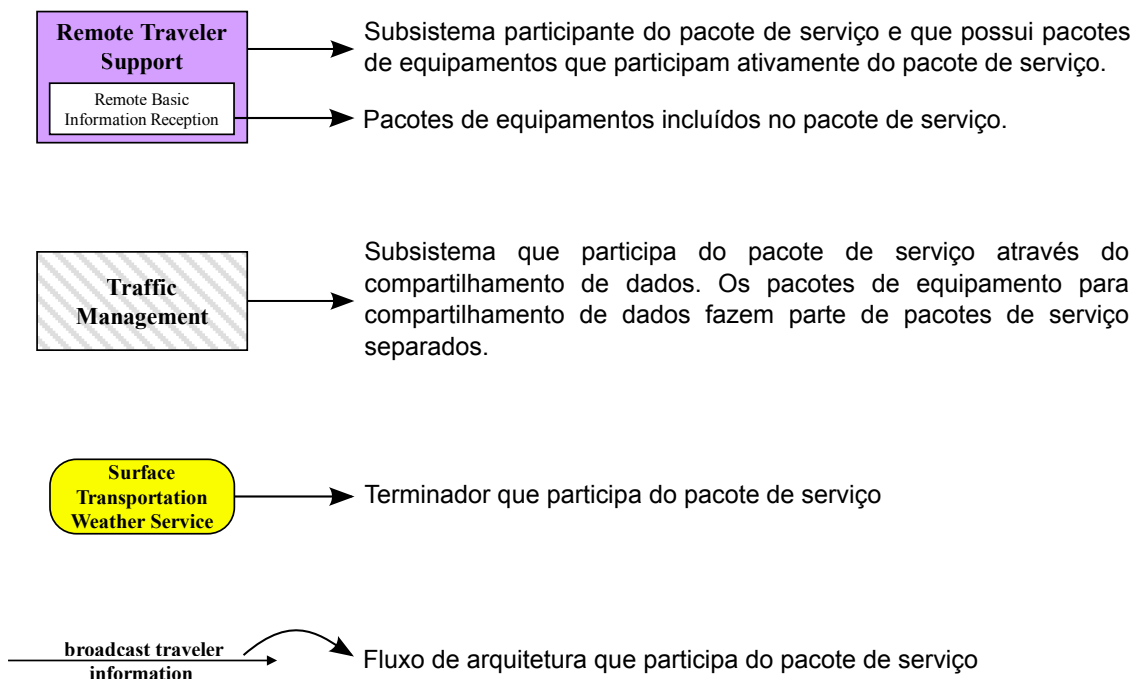


Figura 9: Legenda para os diagramas de Pacotes de Serviço.

Fonte: U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2012b)

A arquitetura NIA é formada, ao todo, por 97 pacotes de serviço. Em sua maioria (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2012a) são constituídos por pacotes de equipamentos que participam de dois ou mais subsistemas. Este conjunto de pacotes de serviço, porém, não representa a única maneira de combinar funções e equipamentos para constituir um ITS,

podendo ser personalizados ou constituídos de acordo com as necessidades de cada caso.

2.4 Conclusão

O conteúdo apresentado neste capítulo procurou focar na conceituação e abrangência dos ITS. Por serem voltados à melhoria da eficiência da infraestrutura de transportes, integra diferentes tecnologias: sistemas de informação, comunicação e gerenciamento. A fusão destas tecnologias na composição de ITS reverte-se em benefícios tanto para usuários quanto para a infraestrutura de transportes, buscando amenizar ou resolver problemas de congestionamento de tráfego, garantir a segurança e a conservação do meio ambiente.

A NIA é uma arquitetura específica para ITS e, embora tenha sido projetada para a realidade dos Estados Unidos, constitui uma referência relevante por apresentar uma estrutura bastante abrangente e oferecer um *framework* para o planejamento, desenvolvimento e implantação de ITS.

O próximo capítulo aborda arquitetura da Web a partir do estilo REST e apresenta a Arquitetura Orientada a Recursos como um método para a criação de aplicações com o estilo da Web.

3 O Estilo Arquitetônico REST e a Arquitetura Orientada a Recursos

3.1 Introdução

O estilo arquitetônico *Representational State Transfer* (REST) foi criado para representar um modelo abstrato da arquitetura da Web (FIELDING; TAYLOR, 2002), focado em proporcionar escalabilidade da interação entre os componentes, interfaces de comunicação genéricas, implantação independente de componentes e a utilização de componentes intermediários para reduzir a latência das interações, reforçar a segurança e encapsular sistemas legados (FIELDING, 2000).

A Web foi inicialmente projetada por Berners-Lee (BERNERS-LEE, 1996) como um mundo interativo de informações compartilhadas, onde pessoas poderiam se comunicar com máquinas e também umas com as outras, um espaço abstrato populado por páginas de textos, imagens, animações, sons e vídeos interligados, conectando ilhas de informação de um jeito simples e efetivo, sem se preocupar com suas localizações físicas (FIELDING et al., 1998).

Este espaço deveria ser inclusivo, ao invés de exclusivo, e servir a sistemas públicos e privados, incluindo materiais de alto valor, cuidadosamente confeccionados e verificados, assim como ideias obscuras que fazem sentido apenas para poucas pessoas (BERNERS-LEE, 1996).

Com base nesses objetivos, foi estabelecido (BERNERS-LEE, 1996) um conjunto de princípios que a Web deveria satisfazer:

- Um sistema de informação precisa estar apto a fazer associações aleatórias entre objetos arbitrários.
- A criação de ligações entre sistemas deve ser um esforço incremental, dispensando operações não-escalonáveis como a fusão de bases de dados de ligações.
- Limitar os usuários a linguagens ou sistemas operacionais específicos levará ao fracasso.
- A informação deve estar disponível a partir de todas as plataformas de software.
- Forçar os usuários a lidar com a informação do mesmo jeito que os computadores o fazem, levará ao fracasso.

- Para garantir fidelidade, a informação deve ser fácil de ser incluída corretamente.

A Web idealizada por Berners-Lee (BERNERS-LEE, 1996) seria um lugar onde as pessoas pudessem criar e guardar suas informações, compartilhá-las com outras pessoas e também utilizar as informações disponibilizadas por outras pessoas através da criação de ligações entre elas. Estas pessoas estariam conectadas à Internet a partir de qualquer lugar do planeta e utilizando computadores completamente diferentes uns dos outros, com arquiteturas e sistemas operacionais incompatíveis entre si. O desafio (FIELDING; TAYLOR, 2002) seria então construir este sistema, que ofereceria uma interface universal e consistente para acesso à informação, disponível a partir de qualquer plataforma, e incrementalmente expansível, permitindo que novas pessoas e organizações se juntassem a ele com um mínimo de esforço.

O estudo realizado por Fielding em (FIELDING, 2000) resultou na definição do REST, o estilo arquitetônico da Web. O autor fez um apanhado dos princípios e requisitos da Web que a tornaram um sucesso (ANDERSON, 1997) e utilizou estilos arquitetônicos para definir as restrições e os elementos que compõem a arquitetura da Web.

Porém, estilos arquitetônicos não são arquiteturas concretas, são maneiras de se julgar uma arquitetura (RICHARDSON; RUBY, 2007), categorizando-as, definindo suas características, fornecendo uma abstração para as interações entre seus componentes e capturando a essência de seus padrões de interação (FIELDING, 2000).

Em (RICHARDSON; RUBY, 2007) Richardson e Ruby propõem a Arquitetura Orientada a Recursos (ROA), uma arquitetura concreta para o desenvolvimento de sistemas para a Web seguindo o estilo arquitetônico REST. A arquitetura ROA se apresenta como um conjunto de regras e boas práticas para a implementação de serviços que utilizam todo o potencial oferecido pela Web (RICHARDSON; RUBY, 2007).

Este capítulo apresenta os requisitos da Web, a base para o desenvolvimento do estilo REST, e avança para a identificação dos seus elementos de dados e componentes e a sua composição, feita a partir de estilos arquitetônicos já existentes. Por fim, a Arquitetura Orientada a Recursos é exposta como uma ferramenta para guiar a implementação de sistemas Web seguindo as restrições de REST.

3.2 O Estilo Arquitetônico REST

3.2.1 Os Requisitos da Web

O grande sucesso da Web se deve, em grande parte, à sua arquitetura, projetada para atender às necessidades de uma aplicação hipermídia distribuída em escala planetária. Para melhor entender como o estilo REST pode oferecer um modelo abstrato da sua arquitetura é preciso, antes, compreender os requisitos que compõem a Web.

3.2.1.1 Fácil adoção

A criação e estruturação da informação disponibilizada na Web é feita voluntariamente pelos seus leitores, autores e desenvolvedores de aplicações. Por isso a adoção da Web deveria ser facilitada o máximo possível para incentivar a participação de um grande número de usuários. A hipermídia foi então escolhida como interface devido a sua simplicidade e generalidade (FIELDING; TAYLOR, 2002), assim a mesma interface pode ser utilizada independente da informação que se deseja expressar e as relações hipermídia (ligações ou *hiperlinks*) permitem estruturá-las de maneiras inimagináveis (FIELDING; TAYLOR, 2002), guiando o leitor por entre a aplicação.

Para os autores, a linguagem para a construção de hipermídia precisa ser simples e deve permitir que sejam utilizadas ferramentas de edição já existentes, como por exemplo editores de texto. Além disso, as referências para acesso ao conteúdo produzido precisam ser fáceis de serem passadas a outras pessoas, por exemplo, através de mensagens de correio eletrônico ou como uma anotação em um pedaço de papel.

Para os desenvolvedores, a simplicidade de ter todos os protocolos definidos através de textos possibilita utilizar ferramentas já existentes para analisar e testar a comunicação, permitindo a rápida adoção dos protocolos.

3.2.1.2 Extensível

Além da simplicidade, a capacidade de extensão de um sistema permite acompanhar as mudanças de requisitos ao longo do tempo. Um sistema que busca uma longa vida, como a Web, precisa estar preparado para mudança (FIELDING; TAYLOR, 2002).

3.2.1.3 Hipermissão Distribuída

A hipermissão distribuída permite que as informações sejam armazenadas em locais remotos (FIELDING; TAYLOR, 2002), assim, as ações de um usuário envolve a transferência de uma quantidade grande de dados do lugar onde estão armazenados até ele.

Para comportar essa demanda, a arquitetura da Web precisa ser projetada para a transferência de uma grande quantidade de dados e ainda fazer com que o tempo de resposta de cada interação seja mínimo.

3.2.1.4 Requisitos que Evoluem

Conforme a Web amadureceu, novos requisitos foram incorporados como para oferecer a criação de distribuída e colaborativa de documentos (FIELDING et al., 1998). Acomodar novos requisitos apresenta um desafio (FIELDING; TAYLOR, 2002): como introduzir novas funcionalidades a uma arquitetura que já foi amplamente implantada? E como assegurar que essas mudanças não causem um impacto negativo às outras propriedades da arquitetura?

3.2.2 Composição do Estilo Arquitetônico REST

REST é um estilo arquitetônico híbrido derivado de outros estilos arquitetônicos voltados para redes e que, juntos, lhe conferem as características e restrições desejadas para que atenda as necessidades de aplicações hipermissas distribuídas de grande escala. Cada um dos estilos que compõem REST são expostos a seguir.

3.2.2.1 Cliente-Servidor

No estilo Cliente-Servidor, o servidor é um processo reativo que fica esperando por requisições de clientes. Um cliente faz uma requisição no momento em que desejar e o servidor pode rejeitar ou aceitar a requisição e responder da maneira apropriada.

O servidor geralmente é um processo sem fim, isto é, está sempre pronto para receber requisições. Quando recebe uma requisição, ele a trata e responde e torna a esperar por novas requisições. Sua única responsabilidade é atender às requisições dos clientes. O cliente, por sua vez, é responsável por

iniciar a conversa com o servidor, sempre que julgar necessário, e processar as respostas que recebe e produzir os resultados ao usuário. A figura 10 ilustra a relação do cliente com o servidor, interligados por algum meio de comunicação representado pela aresta, no centro da imagem, permitindo que o servidor (representado pelo retângulo), exponha seus artefatos internos (representados pelo conteúdo inserido dentro do retângulo) através de uma interface ligada ao meio de comunicação com o cliente. Este tipo de ilustração será utilizada durante a composição do estilo REST e será incrementada conforme novos estilos vão sendo adicionados.

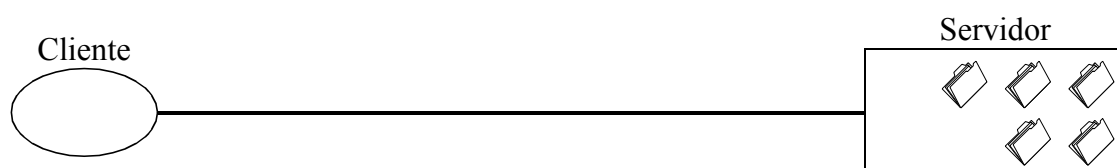


Figura 10: Estilo Cliente-Servidor.
Fonte: adaptado de FIELDING (2000)

O princípio por trás deste estilo é a separação de responsabilidades (FIELDING, 2000), que melhora a portabilidade da interface do usuário entre múltiplas plataformas, simplifica os componentes do servidor - que melhora também a escalabilidade - e, talvez o benefício mais significativo para a Web (FIELDING, 2000), permite que os componentes (servidor e cliente) evoluam independentemente, satisfazendo o requisito de escala da internet da Web.

3.2.2.2 Sem Estado

Ao estilo Cliente-Servidor adiciona-se uma restrição na interação entre os dois componentes fazendo com que o cliente envie, a cada requisição, todas as informações necessárias para que o servidor possa atender a requisição. Assim, o estado da sessão entre o cliente e o servidor é mantido apenas pelo cliente. Este estilo se chama Cliente-Servidor sem Estado.

Esta restrição induz as propriedades de confiabilidade, escalabilidade e visibilidade. A confiabilidade do sistema é melhorada pois simplifica a recuperação de falhas parciais (FIELDING, 2000). Como o servidor não precisa armazenar o estado entre as requisições, ele pode rapidamente liberar recursos, melhorando a escalabilidade e ainda simplificando sua implementação (FIELDING, 2000). A visibilidade também é beneficiada pois um sistema de monitoramento não precisa observar além de uma requisição para saber sua natureza, já que ela contém todos os dados necessários para ser

processada.

Por outro lado, a cada nova requisição feita por um cliente, algumas informações que já foram passadas ao servidor em outra ocasião podem precisar ser retransmitidas. A repetição do envio de dados pode impactar o desempenho na rede pois recursos computacionais são utilizados para transmitir novamente o que já fora transmitido antes. Além disso, deixar o cliente responsável pelo estado da aplicação reduz o controle que o servidor exerce sobre o seu comportamento e torna a aplicação dependente da implementação correta das semânticas das operações entre os diversos clientes. A figura 11 ilustra a relação de vários clientes com um servidor sem estado que, como não precisa guardar o estado de cada comunicação com seus clientes, não necessita de mecanismos adicionais para tratar mais de um cliente, por isso as arestas que representam estas comunicações se conectam ao servidor pelo mesmo ponto.

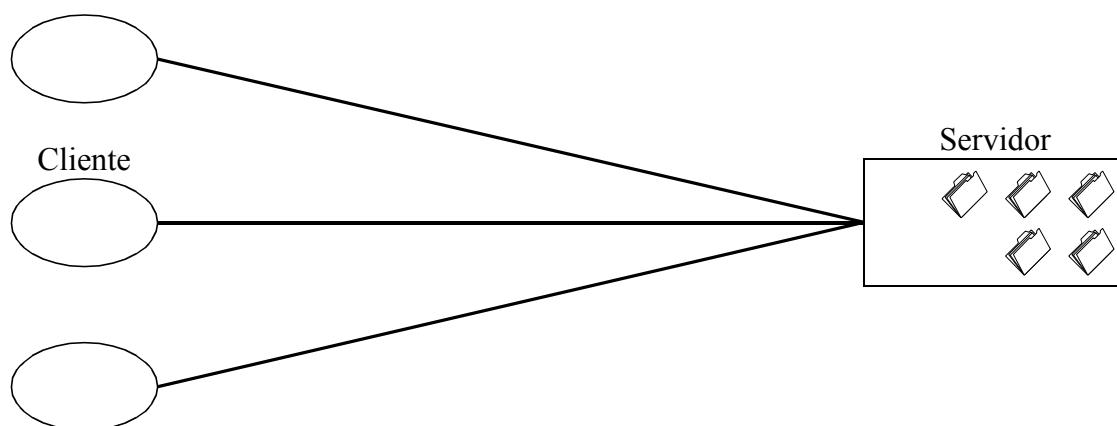


Figura 11: Estilo Cliente-Servidor sem Estado.

Fonte: adaptado de FIELDING (2000)

3.2.2.3 Cache

Ao permitir que um cliente armazene as respostas de um servidor para reutilizá-las futuramente, chega-se ao estilo Cache, que torna possível eliminar algumas interações (FIELDING, 2000) entre o cliente e o servidor, melhorando a eficiência da utilização da rede, a performance percebida pelo usuário - pois o tempo de resposta entre as requisições é menor - e a escalabilidade.

Porém, pode diminuir a confiabilidade da comunicação se uma informação armazenada passa a ficar desatualizada em relação à informação existente no servidor. Para evitar que isso ocorra é necessário que o servidor

marque todas as suas respostas indicando se o seu conteúdo é passível de *cache* ou não. Assim, chega-se ao estilo Cliente com Cache-Servidor sem Estado, ilustrado na figura 12 onde é possível identificar os clientes que utilizam cache através do símbolo “\$”.

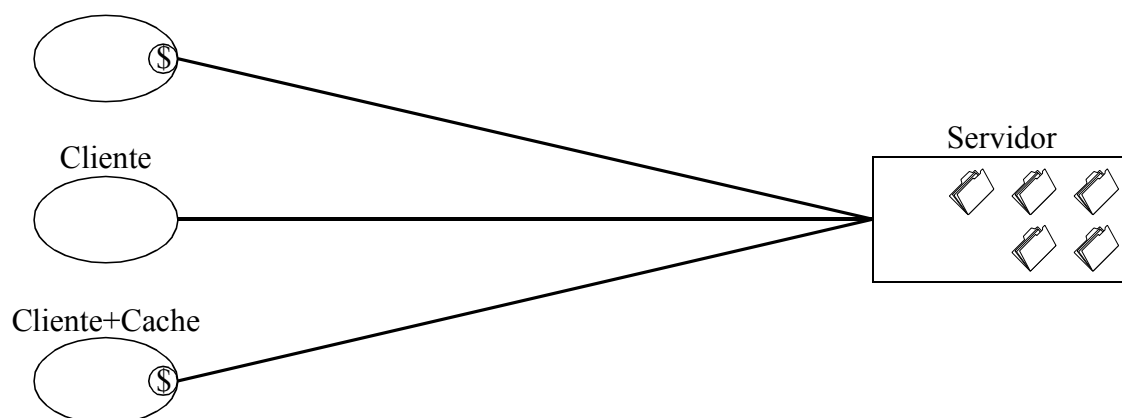


Figura 12: Estilo Cliente com Cache-Servidor sem Estado.
Fonte: adaptado de FIELDING (2000)

3.2.2.4 Interface Uniforme

A característica central que distingue REST de outros estilos baseados em rede é a sua ênfase em uma interface uniforme entre os componentes (FIELDING, 2000), ou seja, a comunicação utilizada por todos os componentes de um sistema ocorre através de um mesmo conjunto de operações. Por existir somente uma maneira de os componentes se comunicarem, a arquitetura é simplificada e a visibilidade das interações é melhorada (FIELDING, 2000), pois a semântica da comunicação é sempre a mesma e conhecida por todos. Esta abordagem busca otimizar o caso comum da Web, sendo eficiente na transferência de dados hipermídia de grande volume mas não ótima para outras formas de interações (FIELDING, 2000). A figura 13 ilustra a adição desta nova característica através do uso de conectores de interface uniforme, simbolizados por cilindros, entre os componentes.

A desvantagem desta abordagem fica por conta da perda de eficiência da comunicação (FIELDING, 2000), pois toda informação precisa ser transferida em um formato padronizado ao invés de serem formatadas de acordo com as necessidades específicas da aplicação.

Para que a interface uniforme seja possível, é necessário impor restrições adicionais para guiar o comportamento dos componentes (FIELDING, 2000). Estas restrições serão vistas mais adiante, nos elementos arquitetôni-

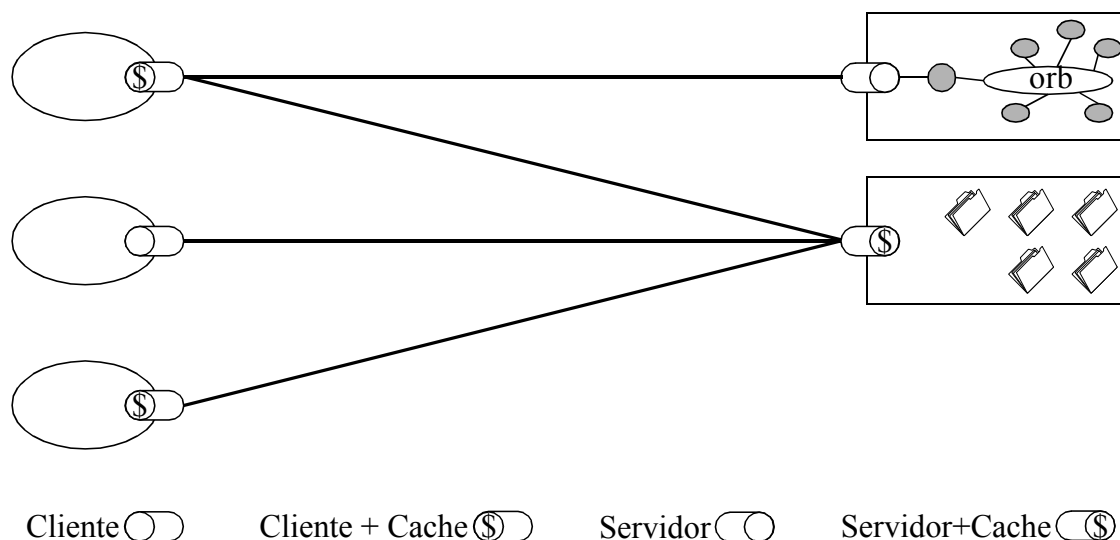


Figura 13: Estilo Cliente com Cache-Servidor sem Estado e Interface Uniforme.

Fonte: adaptado de FIELDING (2000)

cos de REST, que compreendem: a identificação dos recursos, manipulação dos recursos através de representações, mensagens auto-descritivas e hiper-mídia como máquina do estado da aplicação.

3.2.2.5 Sistema em Camadas

O estilo Sistema em Camadas permite que uma arquitetura seja composta por camadas hierárquicas restringindo o comportamento dos componentes de tal forma que não seja possível que cada componente consiga observar além da camada adjacente (FIELDING, 2000).

A utilização de camadas permite que um sistema legado, não-REST por exemplo, seja encapsulado e exposto na Web, e torna possível a utilização de técnicas de balanceamento de carga entre servidores e melhorando a escalabilidade. Camadas intermediárias também permitem acomodar *caches* compartilhados, aumentando a eficiência das interações, ou podem ser usadas como filtros para a implementação de políticas de segurança. A principal desvantagem do uso de camadas é que, existindo intermediários para receber e processar uma requisição, o tempo de resposta aumenta ao mesmo tempo em que a performance percebida pelo usuário cai (FIELDING, 2000).

Com a adoção do sistema em camadas, o estilo composto passa a ser Cliente com Cache-Servidor sem Estado e Interface Uniforme com Múltiplas Camadas, como mostra a figura 14. Nela, as camadas são representadas por componentes de formas arredondadas colocados entre os clientes e os

servidores.

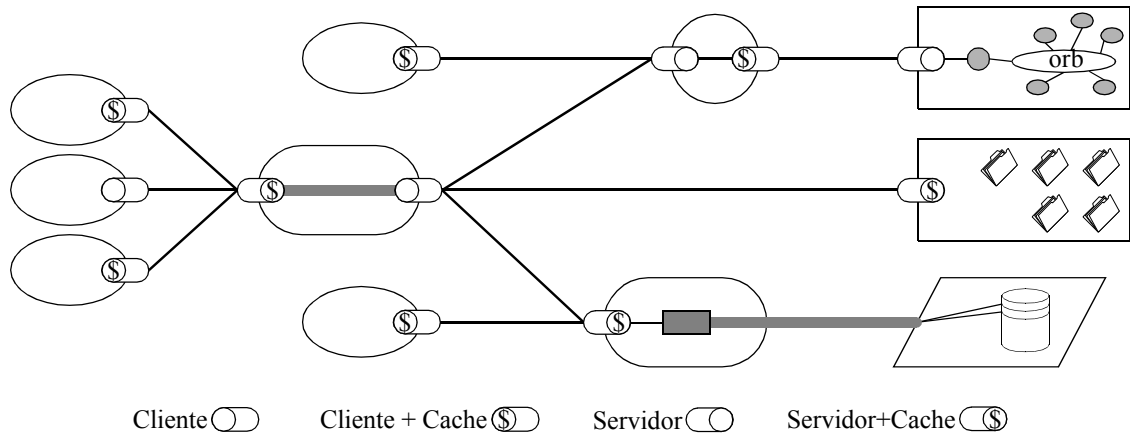


Figura 14: Estilo Cliente com Cache-Servidor sem Estado e Interface Uniforme com Múltiplas Camadas.

Fonte: adaptado de FIELDING (2000)

3.2.2.6 Código sob Demanda

A adição do estilo Código sob Demanda finaliza a composição dos estilos e forma o que se chama de estilo REST. Esta adição torna possível ampliar as funcionalidades do cliente através da obtenção de código executável a partir do servidor, possibilitando que o cliente mantenha sua implementação simplificada, pois reduz o número necessário de funcionalidades pré-implementadas, ao mesmo tempo em que permite a implantação de extensões. Um exemplo de uso desta técnica é a execução de *scripts* e *Applets Java*. Entretanto, sua utilização reduz a visibilidade, pois introduz artifícios que só podem ser interpretados pelo cliente durante a execução do código sob demanda e por isso esta é uma restrição arquitetônica opcional (FIELDING, 2000).

A figura 15 ilustra o estilo arquitetônico REST em sua composição final, com os estilos Cliente-Servidor, Sem Estado, Cache, Interface Uniforme, Sistema em Camadas e Código sob Demanda. O código sob demanda é representado pelos símbolos adicionados dentro das elipses que representam os clientes.

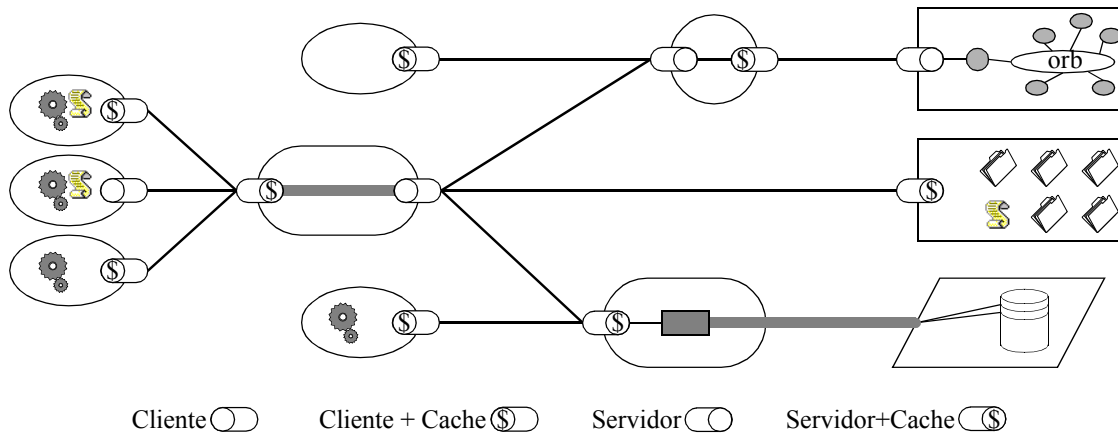


Figura 15: Estilo REST.

Fonte: adaptado de FIELDING (2000)

3.2.3 Elementos Arquitetônicos

O estilo REST é uma abstração dos elementos que compõem uma arquitetura para sistemas hipermídia distribuídos e por isso foca na definição dos papéis dos componentes, nas restrições entre suas interações e a como cada componente deve interpretar os dados. Cobrindo assim as restrições fundamentais, aplicadas aos componentes, conectores e dados, e que definem a base da arquitetura da Web (FIELDING, 2000).

3.2.3.1 Elementos de Dados

A abstração chave de REST é chamada recurso. Um recurso é qualquer informação que possa receber um nome, pode ser um conceito, uma ideia, um objeto abstrato ou concreto. Geralmente, um recurso pode ser qualquer coisa que pode ser armazenada em um computador, representada como uma sequência de bits e que possa ser referenciada por hipertexto (RICHARDSON; RUBY, 2007; FIELDING, 2000). Exemplos de recursos são: um documento de texto, o resultado de um algoritmo, uma imagem, uma pessoa, a discografia de um músico, a coleção de troféus de um piloto de Fórmula 1, a previsão do tempo de hoje para Florianópolis-SC etc.

Cada recurso é associado a um conjunto de entidades (ou valores), que podem ser representações ou identificadores de recursos. Este conjunto pode ser estático, ou seja, ao longo do tempo o recurso possuirá o mesmo conjunto de valores, pode ser vazio, permitindo que sejam feitas referências para um recurso antes mesmo de ele existir - característica esta que não existia na maioria dos sistemas hipertexto anteriores à Web, ou pode variar,

permitindo que um recurso assuma novos valores. No entanto é necessário que a semântica deste conjunto seja sempre a mesma, pois é isso que distingue um recurso de outro (FIELDING, 2000).

Toma-se como exemplo os recursos “O último campeão do campeonato brasileiro de futebol” e “O campeão do campeonato brasileiro de 2011”. O primeiro muda com o tempo, geralmente a cada ano, quando um outro time conquista o campeonato. Enquanto isso, o segundo recurso é estático pois o campeão do campeonato brasileiro de 2011 foi o Sport Club Corinthians Paulista. Embora os dois recursos sejam mapeados para o mesmo conjunto de valores, a semântica é diferente e por isso são necessários dois recursos diferentes.

A definição abstrata do que é um recurso proporciona à arquitetura da Web algumas características-chave (FIELDING, 2000):

- fornece generalidade, englobando muitas fontes de informação sem distingui-las artificialmente por tipo ou implementação;
- permite que a referência esteja desacoplada da representação de um recurso, tornando possível que o conteúdo seja negociado com base nas características da requisição;
- as referências apontam para conceitos ao invés de alguma representação destes conceitos, assim, quando uma representação muda as referências não precisam ser atualizadas;

Para distinguir um recurso de outro, REST utiliza o conceito de identificador de recurso. Cada identificador de recurso tem a função de identificar um recurso em particular envolvido em uma interação entre componentes. Através deles, os conectores podem localizar um recurso e manipular o seu conjunto de valores, independente de como este conjunto está definido ou do tipo de software que está tratando a requisição (FIELDING, 2000).

O autor de um recurso é o responsável pela criação e manutenção do seu identificador, dando o nome que melhor se encaixa à semântica do conceito e por manter esta semântica ao longo do tempo, garantindo que o seu conjunto de valores seja consistente com a sua proposta.

Entre os valores associados a um recurso podem estar estes identificadores de recursos ou suas representações. Uma representação é composta por uma sequência de bytes, que representam o conceito por trás do recurso, e metadados que descrevem estes bytes. Exemplos de representações são documentos HTML, imagens JPEG, arquivos de áudio PCM etc e cada um destes tipos são chamados Tipo de Mídia (Media Type). Quando um recurso possui mais de uma representação disponível ou seja, mais de um tipo de mídia, deve ser utilizado um mecanismo de negociação de conteúdo

permitindo que o cliente sinalize os tipos de mídia de sua preferência para que o servidor envie o tipo de mídia mais adequado e que seja capaz de produzir. Os metadados são representados como pares de chave-valor sendo que a chave deve seguir um padrão que descreva a sua semântica e como o valor deve ser estruturado.

3.2.3.2 Conectores

Os conectores são responsáveis pelas conexões de rede e encapsulam (FIELDING, 2000) as atividades de acesso aos recursos e a transferência de suas representações, fornecendo uma interface abstrata para a comunicação entre componentes.

Em REST toda interação é dita sem-estado, ou seja, elas contém - sempre - todas as informações necessárias para que possam ser processadas. Do ponto de vista do conector, isso significa que ele terá, em cada interação, todas as informações necessárias para que a execute, independente de interações passadas. A restrição sem-estado, neste contexto, tem quatro funções (FIELDING, 2000):

- remove dos conectores qualquer necessidade de reter o estado da aplicação entre cada requisição, reduzindo o consumo de recursos e melhorando a escalonabilidade;
- permite que interações sejam feitas em paralelo, dispensando que o mecanismo que as executa tenha conhecimento sobre a semântica das interações;
- possibilita que um intermediário observe e entenda uma requisição isoladamente, o que pode ser necessário quando os serviços são reorganizados dinamicamente;
- força que toda informação que possa ser utilizada para marcar uma resposta passível de cache, esteja presente em cada requisição;

A tabela 3.2.3.2 mostra exemplos de conectores REST utilizados na Web. O conectores primários (FIELDING, 2000) são o Cliente e o Servidor e a diferença entre eles está no fato de que o Cliente inicia uma interação, fazendo uma requisição, enquanto o servidor está sempre esperando por conexões e respondendo à requisições.

Um terceiro tipo de conector, chamado *cache* é ao mesmo tempo um cliente e um servidor, assim ele pode intermediar as requisições de um usuário qualquer, atuando como um conector servidor, e as repassar ao servidor

Conector	Exemplos da Web
Cliente	libwww, libwww-perl
Servidor	libwww, Apache API, NSAPI
Cache	cache do navegador
Resolução de nomes	bind (biblioteca de resolução de nomes DNS)
Túnel	SOCKS, HTTP sobre SSL

Tabela 2: Exemplos da Web para conectores REST.

Fonte: adaptado de FIELDING (2000)

desejado por este usuário, atuando como um cliente. Neste caso, como este intermediário está atuando como um *cache*, ele pode armazenar respostas que já obteve em situações anteriores para fornecer ao usuário, sem a necessidade de uma nova consulta ao servidor. Este *cache* pode estar presente no mesmo software cliente ou dispositivo do usuário, atuando como um *cache* local, ou estar disponível para diversos computadores através da rede, configurando assim um *cache* compartilhado. Porém, como exposto pelo estilo *cache*, é necessário que a resposta esteja marcada apropriadamente para que isto aconteça.

Um outro tipo de conector, cuja responsabilidade é traduzir um identificador de recurso em um endereço de rede, é chamado Resolvedor. Quando entramos um endereço em um navegador Web, é o resolvedor que analisa este endereço, que nada mais é do que o identificador de um recurso, e extrai a parte relativa ao nome do servidor para consulta junto aos serviços de DNS. Após saber o endereço de rede onde o recurso deve ser encontrado é que um conector cliente pode fazer a requisição.

O conector Túnel, mostrado na tabela 3.2.3.2, permite que as requisições transpassem limites impostos pela rede, tais como *firewalls* e *gateways* de outros protocolos.

3.2.3.3 Componentes

Cada parte de uma aplicação que utiliza conectores REST para iniciar uma requisição ou elaborar uma resposta, é chamada de Componente. Seu tipo é definido pelo papel que exerce na aplicação, como mostram os exemplos da tabela 3.2.3.3.

O agente de usuário, também conhecido como navegador Web, é o exemplo mais comum de componente (FIELDING, 2000), é ele que provê

Componente	Exemplos da Web
servidor de origem	Servidor HTTP (Apache, Nginx, Microsoft IIS)
gateway	Squid, CGI, Proxy reverso
proxy	CERN Proxy, Gauntlet
agente do usuário	Navegador (Chrome, Firefox, Safari, Internet Explorer)

Tabela 3: Exemplos da Web para componentes REST.

Fonte: adaptado de FIELDING (2000)

o acesso aos serviços de informação da Web (recursos), através do conector cliente, e desenha as respostas para o usuário de acordo com as necessidades.

Um servidor de origem é a fonte de representações e o destino de todas as requisições para seus recursos. Cada servidor de origem fornece uma interface genérica para a manipulação dos seus recursos (FIELDING, 2000) utilizando um conector do tipo servidor.

Os componentes intermediários, que atua ao mesmo tempo como cliente e como servidor, repassam as requisições e respostas dos agentes de usuários e servidores de origem, podendo antes fazer algum tipo de tradução ou transformação das mensagens. Quando um intermediário é escolhido explicitamente pelo usuário ele recebe o nome de *proxy*, e pode ser usado para (FIELDING, 2000) encapsular serviços, melhora de performance ou segurança. Caso o usuário seja submetido a um intermediário por uma imposição da rede ou do servidor de origem, seu nome passa a ser *gateway* mas suas funções são iguais as de um *proxy*.

3.3 Arquitetura Orientada a Recursos

A Arquitetura Orientada a Recursos (ROA), proposta em (RICHARDSON; RUBY, 2007), apresenta um conjunto de regras concretas para a construção de serviços Web em conformidade com o estilo REST, utilizando as tecnologias da Web, tais como HTTP, URIs e XML, para a implementação de serviços que funcionam como a Web.

Os conceitos presentes nesta arquitetura são os recursos, seus nomes (identificadores), suas representações e a ligação entre eles. Além disso, são estabelecidas as propriedades: endereçabilidade dos recursos, a ausência de estado na comunicação, a conectividade entre os recursos e a interface uniforme.

Os recursos da Arquitetura Orientada a Recursos são exatamente como

visto nos recursos dos elementos de dados do estilo REST, isto é, podem ser qualquer coisa (um conceito, uma ideia, um objeto etc) que possa ser representada por uma sequência de bits e que seja suficientemente importante para ser referenciada (RICHARDSON; RUBY, 2007).

São exemplos de recursos:

- Um número primo qualquer
- O número primo após 5
- Os números primos entre 5 e 200
- Informações sobre tainha
- Os números de venda de automóveis no mês de março

3.3.1 Identificadores de Recursos

Os identificadores de recursos fornecem um mecanismo para dar nome e lugar aos recursos, possibilitando que sejam encontrados e então, operados. Na arquitetura orientada a recursos estes identificadores são realizados através de Identificadores Uniformes de Recursos (URIs, do inglês *Uniform Resource Identifier*).

Cada URI deve possuir uma estrutura e ser descritivo, variando previsivelmente e intuitivamente para que o usuário possa perceber como os URIs são construídos e a semântica de cada recurso torne-se clara. Estas características possibilitam que o usuário descubra URIs para os recursos que lhe interessam mesmo que ele não possua conhecimento prévio da existência destes recursos (RICHARDSON; RUBY, 2007).

Tomando como exemplo o recurso “Informações sobre tainha”, suponha-se que esteja localizado no URI `/informacoesSobre/tainha`. Caso queira-se obter informações sobre anchova ao invés de tainha e seguindo o padrão deste URI, o recurso “Informações sobre anchova” poderia ser encontrado em `/informacoesSobre/anchova`. Estendendo este raciocínio, um usuário poderia encontrar informações sobre outros tipos de peixes anexando ao final do URI `/informacoesSobre/` o nome do peixe que ele deseja.

Caso alguns tipos de peixes não fossem acessíveis através do URI `/informacoesSobre/<tipoDePeixe>`, mas sim de URIs seguindo outro padrão como `/sobre0Peixe/<tipoDePeixe>`, seria mais trabalhoso para o usuário encontrar as informações sobre um peixe desejado pois teria que acertar qual das estruturas é a correta para aquele peixe.

É possível utilizar várias estruturas diferentes de URIs mas para isto, é necessário que todos os recursos acessíveis através de uma estrutura também sejam acessíveis a partir de todas as outras. Esta prática pode facilitar o acesso aos recursos porém cada nova URI acaba “diluído” o valor de todas as outras pois alguns usuários irão utilizar um tipo de URI enquanto outros irão utilizar outros tipos (RICHARDSON; RUBY, 2007).

3.3.2 Endereçabilidade

Em uma aplicação Web que segue a Arquitetura Orientada a Recursos, todas as suas informações interessantes devem ser expostas através de recursos (RICHARDSON; RUBY, 2007) e como cada recurso possui um URI para acessá-lo, esta aplicação terá então um URI para cada uma das informações que ela fornece. Esta relação entre recursos e URIs (“um recurso para cada URI e um URI para cada recurso”) é chamada de endereçabilidade e permite que um recurso seja acessado diretamente através da digitação do seu endereço em um navegador Web, adicionado aos “favoritos” para acessos futuros, ter seu endereço anotado em um papel, enviado por e-mail ou falado a alguém para a disseminação deste recurso.

Um exemplo de serviço Web endereçável é o buscador Google. O recurso que contém o resultado da pesquisa por “peixes da amazônia” possui o URI

`www.google.com/search?q=peixes+da+amazônia`. A representação deste recurso irá conter ligações para os recursos relacionados à pesquisa (os resultados da pesquisa) e ligações para as outras páginas de resultados da pesquisa. Todas estas ligações são possíveis porque os recursos aos quais as ligações promovem o acesso são endereçáveis.

Continuando a explorar os resultados da busca por “peixes da amazônia”, para acessar a segunda página de resultados é necessário clicar na ligação rotulada como “2”, no rodapé da página. Esta ação levará ao recurso “segunda página do resultado da pesquisa por peixes da amazônia” que está no URI

`www.google.com/search?q=peixes+da+amazônia&start=10`. Prosseguindo para a terceira página de resultados, o endereço passará a ser `www.google.com/search?q=peixes+da+amazônia&start=20`. Seguindo a estrutura do endereço destes recursos, é possível acessar diretamente a trigésima página de resultados entrando o URI `http://www.google.com/search?q=peixes+da+amazônia&start=290` no navegador, sem a necessidade de seguir a ligação com rótulo “30”. Com a página 30 de resultados, ou qualquer outra, é possível guardar o endereço

para acessá-la mais tarde ou repassar a alguém para que veja a mesma página a partir do seu navegador preferido.

Caso o buscador Google não fosse endereçável, toda vez que fosse necessário obter o recurso “primeira página do resultado da pesquisa por peixes da amazônia” a página principal do Google teria que ser acessada em `www.google.com`, o campo de busca teria que ser preenchido com a frase “peixes da amazônia” e o botão “Google Search” clicado. Só a partir deste ponto seria possível chegar à trigésima página de resultados, seguindo as ligações apropriadas até a página 30. Guardar para acesso futuro ou repassar esta página de resultados a alguém não seria possível, pois não há um endereço para acessá-la e a única maneira de obter um resultado semelhante seria passar ou guardar estas mesmas instruções de acesso e repeti-las.

3.3.3 Representações

A Arquitetura Orientada a Recursos permite que sejam utilizados quaisquer tipos de mídia para a representação de recursos, porém recomenda que estes formatos sejam capazes de expressar a semântica de seus dados e que atendam prioritariamente as necessidades dos seus usuários (RICHARDSON; RUBY, 2007).

Com base nestes requisitos, o autor sugere a utilização do formato XML, permitindo que sejam criados documentos específicos para atender os requisitos de cada aplicação. Existem também diversos formatos padrão baseados em XML que podem ser utilizados, tais como XHTML, Atom, SVG, MathML, OpenDocument e Chemical Markup Language.

Em algumas situações pode ser necessário oferecer mais de um tipo de representação para um mesmo recurso, como quando um texto é oferecido em mais de um idioma, por exemplo. O mecanismo para a escolha da representação mais adequada pode ser implementado de diversas maneiras dentro das restrições do estilo REST (RICHARDSON; RUBY, 2007).

Na Arquitetura Orientada a Recursos a recomendação é de que cada representação existente tenha seu próprio URI, tornando explícito, em cada requisição, o tipo de representação que está sendo trocada entre cliente e servidor. Entretanto, este método tem a desvantagem de diluir o valor de cada URI, pois um mesmo recurso poderá passar a ter mais de um URI de acesso, como já mencionado em 3.3.1.

Outra abordagem aceita para a escolha de representação é a “negociação de conteúdo”. Neste caso o recurso só possui um URI porém, quando um cliente faz uma requisição ele pode fornecer cabeçalhos do tipo *Accept* para sinalizar os tipos de mídia, idiomas e codificações desejadas (WORLD

WIDE WEB CONSORTIUM,). O servidor então analisa estes cabeçalhos e fornece a representação mais adequada que ele possui em relação ao que o cliente indicou.

3.3.4 Ligações e Conectividade

Alguns tipos de representações irão conter apenas informações serializadas para serem facilmente processadas e descartadas (RICHARDSON; RUBY, 2007), como acontece com imagens do tipo JPEG, PNG, GIF etc. Porém outras representações poderão oferecer conteúdo hipermídia, ou seja, documentos que possuem ligações para outros recursos, tal como acontece em páginas HTML.

O conteúdo hipermídia torna possível ao usuário interagir com outros recursos existentes sem a necessidade de que ele conheça a relação completa destes recursos pois poderá seguir estas ligações para se deslocar de um recurso para outro.

O termo “conectividade” é atribuído pela Arquitetura Orientada a Recursos como a qualidade de um recurso em possuir ligações para outros recursos. Segundo (RICHARDSON; RUBY, 2007), a Web é fácil de ser utilizada por humanos devido a sua alta conectividade, pois permite que um usuário acesse um endereço como seu ponto de partida e, a partir daí, encontra seus recursos de interesse seguindo as ligações disponíveis. A Arquitetura Orientada a Recursos recomenda que cada recurso tenha ligações para outros recursos sempre que for possível, ou seja, sempre que essas ligações fizerem sentido dentro do contexto da aplicação.

3.3.5 Interface Uniforme

Na Web, o *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP) é protocolo padrão para comunicação entre cliente e servidor, oferecendo seis métodos que constituem a interface uniforme da Web. A semântica de cada um destes métodos é definida em (FIELDING et al., 1999) e reforçada pela arquitetura orientada a recursos conforme a listagem abaixo.

- GET: obtém uma representação de um recurso.
- HEAD: obtém apenas os metadados de um recurso.
- DELETE: remove um recurso.

- **OPTIONS**: obtém a relação dos métodos disponíveis para um determinado recurso.
- **PUT**: cria um novo recurso ou modifica a representação de um recurso existente.
- **POST**: cria um novo recurso subordinado a outro recurso ou acrescenta conteúdo a um recurso existente.

O método **GET** é utilizado para obter a representação de um recurso localizado em um **URI**. Quando uma requisição deste tipo é feita, o servidor envia ao cliente a representação do recurso indicado pelo **URI**. Caso seja necessário obter apenas os metadados da representação do recurso, sem que toda a representação seja transferida ao cliente, deve-se utilizar o método **HEAD**. A remoção de um recurso, ou seja, a destruição de todas as suas representações existentes, é feita através do método **DELETE**.

Através do método **OPTIONS** é possível que o cliente consulte o servidor sobre quais métodos são permitidos para um determinado recurso. A resposta, contendo uma listagem dos métodos permitidos, pode variar dependendo dos parâmetros que o cliente passou na requisição ao servidor. Um exemplo típico deste uso é quando o cliente envia suas credenciais de acesso que possibilitam modificar o recurso através de **PUT** ou **DELETE**, caso contrário o recurso estaria disponível apenas para leitura (métodos **GET** e **HEAD**).

Para mudar a representação de um recurso existente, deve-se utilizar o método **PUT**, que também pode ser utilizado para a criação de um novo recurso, desde que o cliente tenha controle sobre a **URI** em que este recurso deverá ser alocado.

Quando um cliente precisa criar um recurso em que a atribuição do **URI** fica a cargo do servidor, é utilizado o método **POST**, na ideia de se criar um novo recurso subordinado a um outro pré-existente, atuando este como uma “fábrica” de novos recursos. Um exemplo de uso deste método é quando deseja-se criar um novo *post* em um *blog*. O formulário de criação de *posts* é preenchido com o conteúdo desejado e então enviado ao recurso `/postsDoBlog` através do método **POST**. Depois de processado, este novo *post* recebe o **URI** `/postsDoBlog/43` atribuído pelo servidor.

O método **POST** também pode ser utilizado quando se deseja acrescentar uma informação à representação de um recurso pré-existente, sem que novos recursos subordinados sejam criados. Como exemplo, pode-se imaginar uma aplicação que possua um recurso que contém um registro de todos os visitantes de um *blog*. A cada novo visitante é realizada uma requisição **POST** ao registro de visitas em `/registroDeVisitas`, acrescentando ao final deste registro esta nova visita.

Utilizando a interface uniforme do HTTP seguindo essas semânticas obtém-se duas propriedades importantes: segurança nas requisições GET e HEAD e idempotência nas requisições GET, HEAD, PUT e DELETE.

Os métodos GET e HEAD devem servir apenas para a leitura de informações e não devem provocar mudanças no estado de um recurso. O ato de realizar uma requisição GET em um recurso deve ter o mesmo efeito de se realizar dez requisições para este mesmo recurso, ou de se realizar nenhuma requisição (RICHARDSON; RUBY, 2007). Então, o cliente deve se sentir seguro de que possa realizar estes tipos de requisições sobre quaisquer URIs que desejar, mesmo aquelas que desconhece, que nada de desastroso irá acontecer (RICHARDSON; RUBY, 2007).

A idempotência é uma propriedade que certas operações possuem e que permite que sejam aplicadas múltiplas vezes sem que o resultado seja diferente do obtido na primeira aplicação. É o que acontece quando se multiplica um número qualquer por zero e depois se multiplica este resultado por zero outra vez. Pode se repetir a multiplicação por zero quantas vezes se desejar que o resultado será sempre o mesmo: zero. Assim, uma operação sobre um recurso é idempotente se, ao realiza-la uma vez ou repeti-la várias vezes, o recurso se mantém no mesmo estado em que a primeira execução o deixou.

Com base no conceito de segurança, é possível observar também que os métodos GET e HEAD são idempotentes pois jamais alterarão o estado de um recurso. Já o PUT e o DELETE são idempotentes por conta dos seus conceitos.

Quando um PUT é utilizado, o cliente está transferindo para o servidor a nova representação para que o recurso deve possuir, sobrescrevendo a representação existente no servidor. Suponha-se que existe um recurso `/xpto` e sua representação atual é A. Um cliente define uma nova representação para este recurso, com conteúdo B. Ao realizar um PUT da representação B no recurso `/xpto` a representação A é sobrescrita e passa a ser B. Caso o cliente repita o PUT da representação B em `/xpto`, este recurso continuará tendo B como sua representação. Independente do número de vezes que o cliente faça o PUT de B em `/xpto`, a representação deste recurso será B.

Para o método DELETE a situação é equivalente. Se existe o recurso `/xpto` e um cliente faz um DELETE nele, o recurso deixa de existir. Ao repetir o DELETE em `/xpto`, o recurso continuará não existindo.

3.3.6 Projetando Serviços

Para auxiliar no projeto de serviços Web seguindo a Arquitetura Orientada a Recursos é apresentado em (RICHARDSON; RUBY, 2007) uma sequência de passos que podem ser aplicados a um conjunto de dados a fim de construir uma aplicação Web orientada a recursos. A execução deste roteiro pode ser feita quantas vezes forem necessárias para refinar, a cada execução, o projeto dos recursos e suas ligações, os URIs e as representações. A enumeração abaixo apresenta esta sequência de forma resumida, seguida de uma descrição deste método.

1. Descubra o conjunto de dados
2. Particione o conjunto de dados em recursos
Para cada tipo de recurso:
3. Nomeie os recursos através de URIs
4. Exponha um subconjunto da interface uniforme
5. Projete as representações recebidas pelo servidor
6. Projete as representações servidas aos clientes
7. Integre o recurso aos já existentes utilizando ligações hipermídia e formulários
8. Considere o curso normal dos eventos: o que deve acontecer?
9. Considere as condições de erro: o que pode dar errado?

O primeiro passo consiste da análise do conjunto de dados que se deseja expor como recursos. Neste momento são levantadas todas as ideias e informações que serão tratadas pela aplicação que se deseja implementar.

A partir do conjunto de dados deve-se estabelecer os recursos da aplicação, identificando e transformando estas informações em coisas que podem ser batizadas através de um substantivo. Este processo é semelhante ao utilizado na modelagem orientada a objetos (RICHARDSON; RUBY, 2007), onde as classes de objetos são as coisas que compõem o sistema e tem seus comportamentos expostos através de métodos. Entretanto, na Arquitetura Orientada a Recursos o conjunto de métodos está restrito à interface uniforme.

Após identificar e modelar os recursos, é necessário atribuir endereços para que sejam acessíveis na Web ou seja, definir seus URIs. Além das recomendações já citadas para a criação dos URIs, pode-se usar as seguintes regras a fim de manter um mesmo padrão por toda a aplicação:

Codificar a hierarquia através de fragmentos variáveis da URI

Exemplo: /automóveis/fiat

Colocar caracteres de pontuação onde a hierarquia não se aplica

Exemplo: /comparaçãoDeAutomóveis/fiat;toyota;honda;ford

Utilizar variáveis de consulta para fornecer parâmetros a algoritmos

Exemplo: /busca?termo=tainha

Com os recursos definidos e nomeados através dos URIs define-se suas representações, tanto aquelas que o servidor envia ao cliente quanto as que o cliente envia ao servidor, conforme o subconjunto da interface uniforme utilizado em cada recurso e de acordo com as necessidades das aplicações envolvidas. Ao definir as representações deve-se também levar em consideração a relação existente entre os recursos e expressá-las através de ligações hipermídia e formulários (para quando a relação depende de uma entrada do usuário), visando o máximo possível de conectividade.

Os dois últimos passos tratam dos códigos de resposta HTTP dados aos clientes que, basicamente, podem ser de dois tipos: quando o processamento das requisições é realizado com sucesso ou quando acontece algum problema. De maneira resumida, no primeiro caso são utilizados códigos de status da série 2xx, caso contrário o código deverá ser das séries 3xx, 4xx ou 5xx. Na versão atual do HTTP, a 1.1, são disponibilizados para uso 41 códigos de status descritos no documento RFC2616 (FIELDING et al., 1999), devendo o projetista dos recursos utilizar os códigos mais apropriados para descrever cada caso de sucesso ou insucesso em cada uma das variações de interação entre cliente e servidor.

3.4 Conclusão

A Web proporciona um ambiente democrático e ubíquo para aplicações que possibilitam que instituições públicas e privadas, pessoas e máquinas troquem informações através de uma variedade de plataformas computacionais e formatos de dados, de maneira distribuída e descentralizada.

Pelo seu sucesso e características únicas, suas propriedades e restrições foram formalizadas no estilo aquitetônico REST e, mais tarde, dando origem a Arquitetura Orientada a Recursos, que oferece um conjunto de regras para a construção de aplicações utilizando o estilo da Web e suas tecnologias, tais como HTTP, URL e XML.

A seguir é apresentado o conceito de Sistemas Avançados de Informação ao Viajante e como esta categoria de ITS é apresentado pela arquitetura NIA.

4 Sistemas Avançados de Informação ao Viajante

4.1 Introdução

Manter o tráfego fluído é um grande desafio (KUMAR; REDDY; SINGH, 2003); viajantes privados, usuários com propósito comercial e o setor público buscam continuamente por novas e mais rápidas rotas de viagem. Esforços para a utilização da instrumentação existente em rodovias, bem como avanços da tecnologia em ITS levaram ao desenvolvimento de aplicações voltadas ao público usuário da infraestrutura de transporte (CAMPBELL et al., 2011). Entre estas aplicações estão os Sistemas Avançados de Informação ao Viajante (ATIS), uma das respostas de pesquisadores para o congestionamento de tráfego (GHOSH; LEE, 2010; TARGA; KHATTAK; YIM, 2003).

Os ATIS têm como objetivo fornecer informações aos usuários da infraestrutura de transportes, ajudando-os a planejar suas rotas para diminuir o tempo de viagem e evitar congestionamentos da forma mais segura possível (CAMPBELL et al., 2011; GHOSH; LEE, 2010; WU et al., 2003; TARGA; KHATTAK; YIM, 2003; U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2003). De acordo com (DEVELOPING..., 1998), um ATIS deve fornecer os seguintes serviços:

Planejamento multimodal de viagem: informações regionais para auxiliar os viajantes no planejamento de viagens envolvendo as modalidades de transporte disponíveis, tais como veículos privados, transporte público, trens e transporte aéreo.

Serviços de informações e direcionamento de rotas: direcionamentos autônomos ou dinâmicos fornecem planejamento de rotas e assistências de navegação como instruções curva-a-curva. Informações atualizadas em tempo-real sobre a duração de cada trecho podem ser fornecidas diretamente aos motoristas, permitindo uma seleção de rotas mais apropriada para evitar os piores congestionamentos ou outras condições adversas.

Avisos: podem incluir alertas de incidentes, notificações de atrasos, antecipação da hora de viagem ao destino, condições adversas de viagem, identificação dos próximos pontos de parada (no caso de transporte público), pedágios etc.

Interfaces com outros sistemas: para obter informações sobre tráfego, incidentes e condições de estradas (sistema de gerenciamento de tráfego) bem como informações relativas à malha de transporte público (sistemas de gerenciamento de transporte público) e poder fornecer os serviços anteriores com a maior fidelidade possível. Estas informações poderão ainda ser enriquecidas com dados provenientes de outros sistemas para que o usuário tenha uma experiência ainda mais integrada.

As informações providas aos usuários devem ser precisas, pontuais e atualizadas (KUMAR; REDDY; SINGH, 2003; WU et al., 2003) e devem envolver variáveis tais como a velocidade em que o trânsito flui, o acontecimento de acidentes, condições e fechamentos de pistas e índices de congestionamento, além de dados sobre a infraestrutura de transporte público, como por exemplo: itinerários das linhas de transporte, horários, interconexões etc.

Estudos (ZHANG; VERHOEF, 2006) apontam que os viajantes equipados com ATIS podem ter seus tempos de viagem reduzidos de 7% a 20% além de outros benefícios (KUMAR; REDDY; SINGH, 2003) como a redução no nível de estresse e, talvez o mais importante, evitar situações que possam ser perigosas. As melhorias na qualidade do uso da infraestrutura de transporte também alcançam os viajantes que não utilizam ATIS, que podem ter a duração das suas viagens reduzidas entre 1% e 55% (LEVINSON, 2003). Outro benefício significativo do uso deste tipo de sistema, no longo prazo, é a redução da necessidade de expansão ou construção de novas rodovias, ruas, avenidas etc (LEVINSON; GILLEN; CHANG, 1999; LEVINSON, 2003), já que é possível tirar melhor proveito da infraestrutura já existente.

As tecnologias utilizadas como plataforma para os ATIS podem variar dependendo do tipo de serviço oferecido. A arquitetura NIA (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, a) cita a Internet como plataforma predominante para a difusão das informações, além (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, b, c) de transmissões de rádio FM, rádio por satélite, rede de telefonia celular, equipamentos do tipo Assistente Digital Pessoal (do inglês *Personal Digital Assistant*), computadores pessoais e uma variedade de dispositivos a bordo de veículos capazes de oferecer mapas, interfaces interativas, planejamento de rotas etc.

Uma descrição mais precisa em torno dos requisitos de um ATIS, e de como os vários componentes de um ITS devem atuar para fornecer serviços de informação aos usuários do sistema de transporte, é oferecida pela arquitetura de referência NIA.

4.2 ATIS segundo a arquitetura de referência NIA

A arquitetura NIA agrupa os serviços de usuários, subsistemas e fluxos de arquitetura relativos a ATIS em dez pacotes de serviços. Cada um deles é responsável por um conjunto de funcionalidades específicas que podem ser implantados de maneira independente. A tabela 4 apresenta a relação destes pacotes de serviços.

Identificador	Nome completo
ATIS01	Difusão de Informação ao Viajante
ATIS02	Informação Interativa ao Viajante
ATIS03	Orientação Autônoma de Rotas
ATIS04	Orientação Dinâmica de Rotas
ATIS05	Orientação de Rotas e Planejamento de Viagem Baseados em PSI
ATIS06	Compartilhamento de Dados Sobre Operações de Transportes
ATIS07	Guias e Reservas
ATIS08	Carona Solidária
ATIS09	Sinalização a Bordo de Veículo
ATIS10	Informação ao Viajante por Comunicação de Curto Alcance

Tabela 4: Pacotes de Serviço para ATIS

Cada pacote é representado por um diagrama que elenca seus componentes mais importantes e relevantes (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2012b) e a relação entre eles. Estes diagramas formam a base das descrições apresentadas a seguir, e complementadas com a relação dos serviços de usuário, subsistemas e fluxos de arquitetura presentes no pacote e que podem ser vistos em mais detalhes no apêndice A.

4.2.1 Pacote de Serviços ATIS01 - Difusão de Informação ao Viajante

O primeiro pacote de serviço para sistemas de informação ao viajante, ilustrado na figura 16, trata da coleta e difusão de informações para os usuários da infraestrutura de transporte.

A difusão pode ser feita utilizando sistemas de envio de dados através de tecnologias como rádio FM (via subportadora específica para envio de

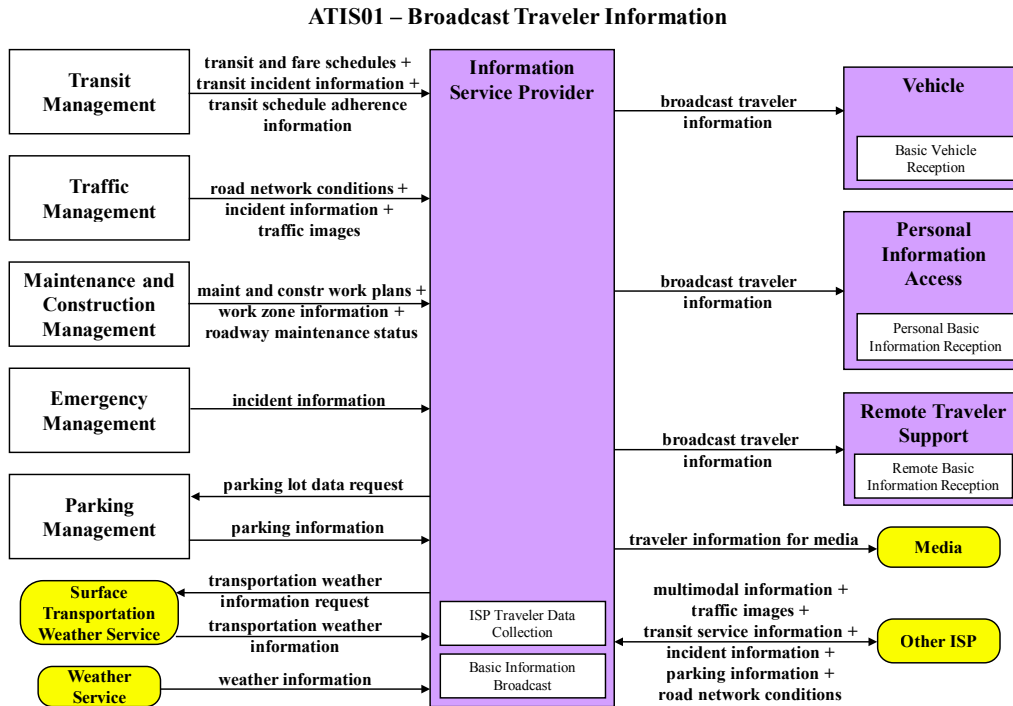


Figura 16: Diagrama do pacote de serviço ATIS01
 Fonte: U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2012b)

dados), rádio por satélite, redes de telefonia celular e Web.

As informações coletadas são relativas às condições de tráfego, transporte público, incidentes, manutenções e construções em estradas, qualidade do ar e condições meteorológicas. O sucesso da implantação deste pacote de serviço depende da disponibilidade de informações atualizadas em tempo-real provenientes da instrumentação instalada nas estradas, em veículos-sonda etc (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2012b).

Esta maneira de informar os usuários oferece informações apenas partindo da infraestrutura em direção aos usuários e por isso não permite que estes obtenham informações específicas ou personalizadas. Assim, todos os usuários, independente da sua situação, precisam discernir e filtrar apenas o que lhes são úteis.

4.2.2 Pacote de Serviços ATIS02 - Informação Interativa ao Viajante

Este pacote de serviço, ilustrado pela figura 17, inclui uma extensão ao SAIV01 que permite aos usuários interagir com o sistema para obter informações personalizadas, daí o termo “interativo” no lugar de “difusão”. As informações são obtidas pelos usuários através de sistemas do tipo requisição/resposta ou pelo envio de informações baseadas no perfil de cada

usuário.

Por estas características, o meio predominante de acesso às informações providas por este pacote de serviço é a Internet. Entretanto é possível utilizar outras maneiras de comunicação conforme as modalidades suportadas pela NIA.

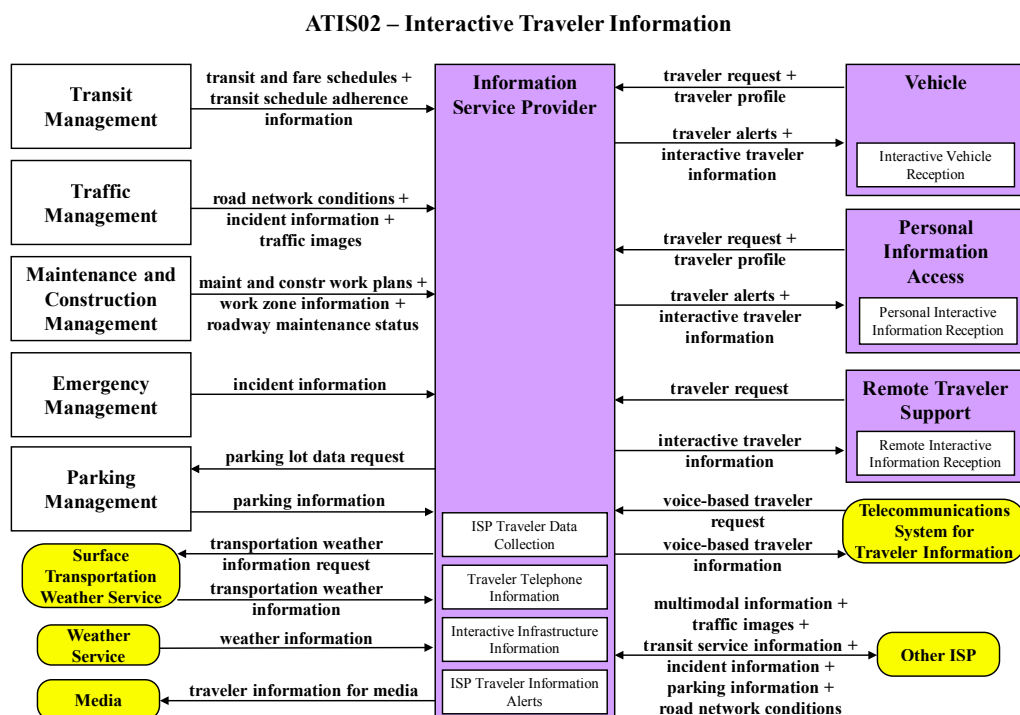


Figura 17: Diagrama do pacote de serviço ATIS02

Fonte: U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2012b)

4.2.3 Pacote de Serviços ATIS03 - Orientação Autônoma de Rotas

Os serviços oferecidos neste pacote permitem planejar as rotas até um destino e servir de guia durante a execução do trajeto. Isto é possível através do processamento de mapas detalhados da região e a localização do viajante, obtidos de sensores e sistemas computacionais presentes no veículo ou do próprio equipamento, no caso de um dispositivo portátil com tais funcionalidades embutidas.

Nesta modalidade não é considerado nem necessário qualquer tipo de comunicação com a infraestrutura de transportes, já que todas informações necessárias são armazenadas localmente e não sofrem mudanças com o passar do tempo.

A figura 18 ilustra a relação entre os principais componentes envolvidos neste pacote.

ATIS03 – Autonomous Route Guidance

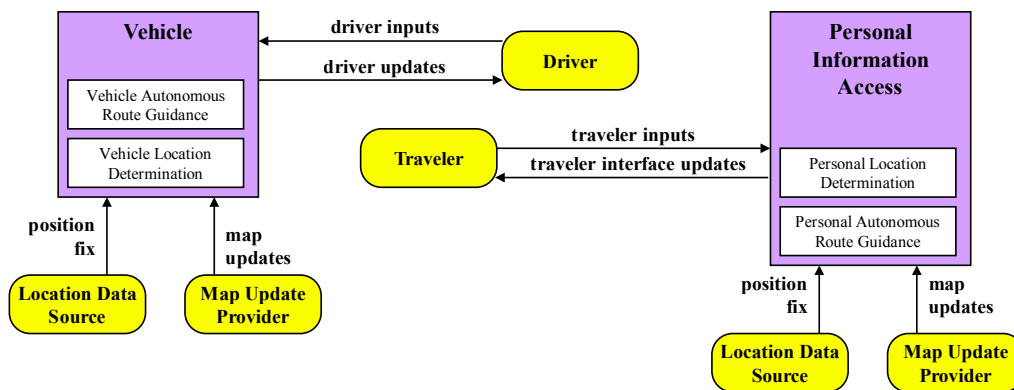


Figura 18: Diagrama do pacote de serviço ATIS03

Fonte: U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2012b)

4.2.4 Pacote de Serviços ATIS04 - Orientação Dinâmica de Rotas

Este pacote de serviço, ilustrado pela figura 19, tem propósito semelhante ao do pacote SAIV03, porém acrescenta a possibilidade de receber informações atualizadas em tempo real através de redes de telecomunicação, como evidenciado pela presença do subsistema “Provedor de Serviços de Informação”. A chegada de dados atualizados, como a situação do trânsito, transporte público, e condições das vias, permite que a rota escolhida possa se adaptar às condições da infraestrutura de transportes, oferecendo um caminho mais eficiente até o destino.

4.2.5 Pacote de Serviços ATIS05 - Orientação de Rotas e Planejamento de Viagem Baseados em PSI

O quinto pacote de serviço para ATIS permite o planejamento de viagens e o cálculo de rotas de maneira diferente das oferecidas nos pacotes SAIV03 e SAIV04. A principal mudança em relação a estes outros dois é que todo o processamento para a determinação da viagem ou rota é realizado remotamente, por um Provedor de Serviços de Informações (PSI) como mostra a figura 20.

ATIS04 – Dynamic Route Guidance

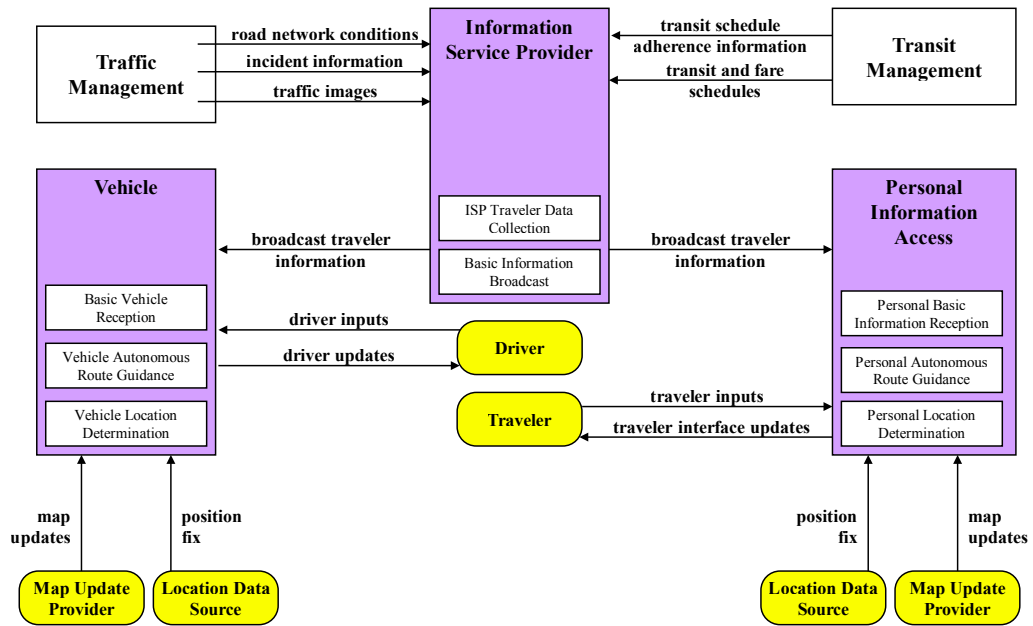


Figura 19: Diagrama do pacote de serviço ATIS04
 Fonte: U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2012b)

ATIS05 – ISP Based Trip Planning and Route Guidance

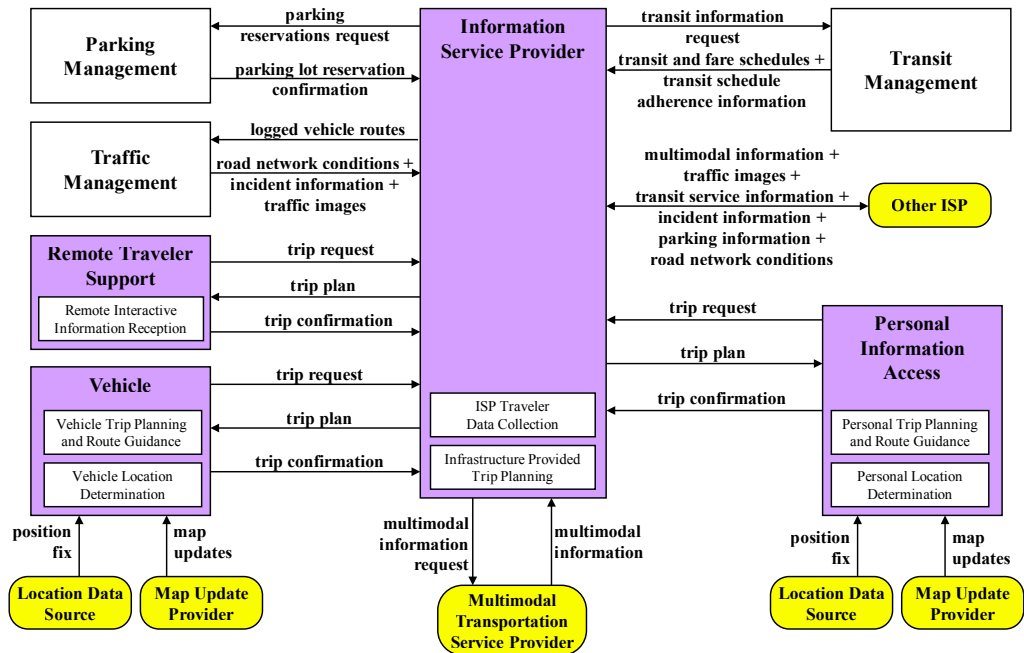


Figura 20: Diagrama do pacote de serviço ATIS05
 Fonte: U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2012b)

4.2.6 Pacote de Serviços ATIS06 - Compartilhamento de Dados Sobre Operações de Transportes

O pacote de serviço SAIV06, mostrado na figura 21, engloba os serviços oferecidos para a troca de informações entre os subsistemas de gerência da infraestrutura de transporte. Um PSI coleta, processa e armazena informações atuais sobre as condições de tráfego e viagem e outras informações a respeito da infraestrutura de transportes e as torna disponível para operadores do sistema, facilitando a troca de informações em tempo real (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2012b) e oferecendo uma visão geral da situação da infraestrutura de transportes de uma região.

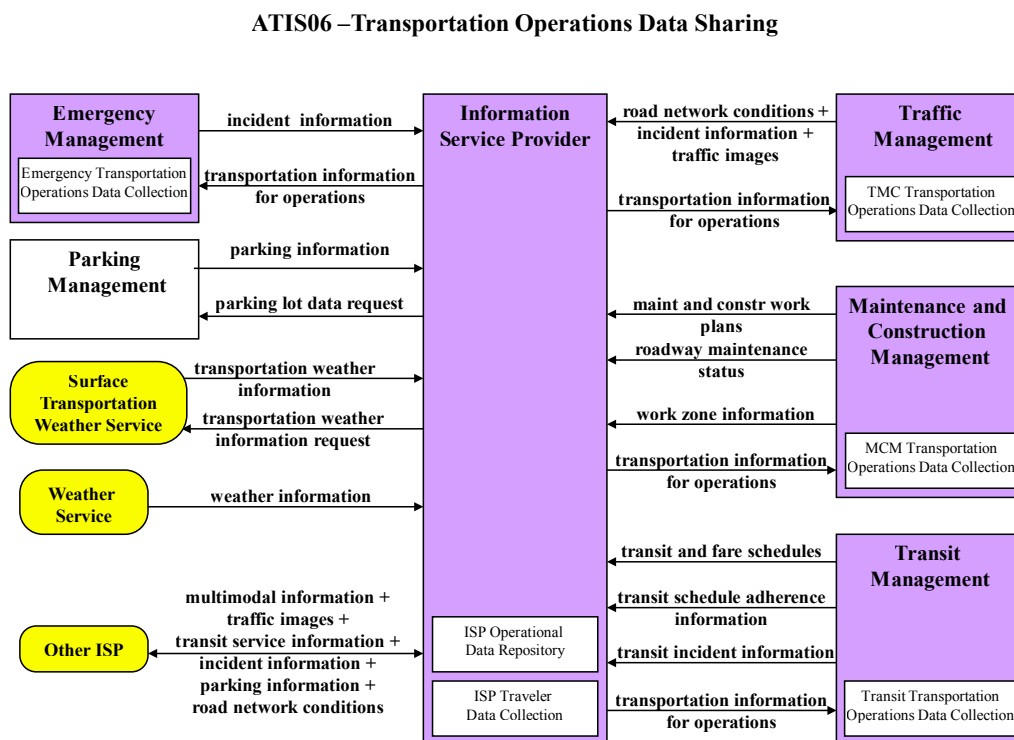


Figura 21: Diagrama do pacote de serviço ATIS06
Fonte: U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2012b)

4.2.7 Pacote de Serviços ATIS07 - Guias e Reservas

O pacote SAIV07 oferece acesso a serviços de reserva e guia através de comunicação com ou sem-fio, permitindo que sejam utilizados antes do início ou durante uma viagem, como mostra a figura 22.

ATIS07 – Travel Services Information and Reservation

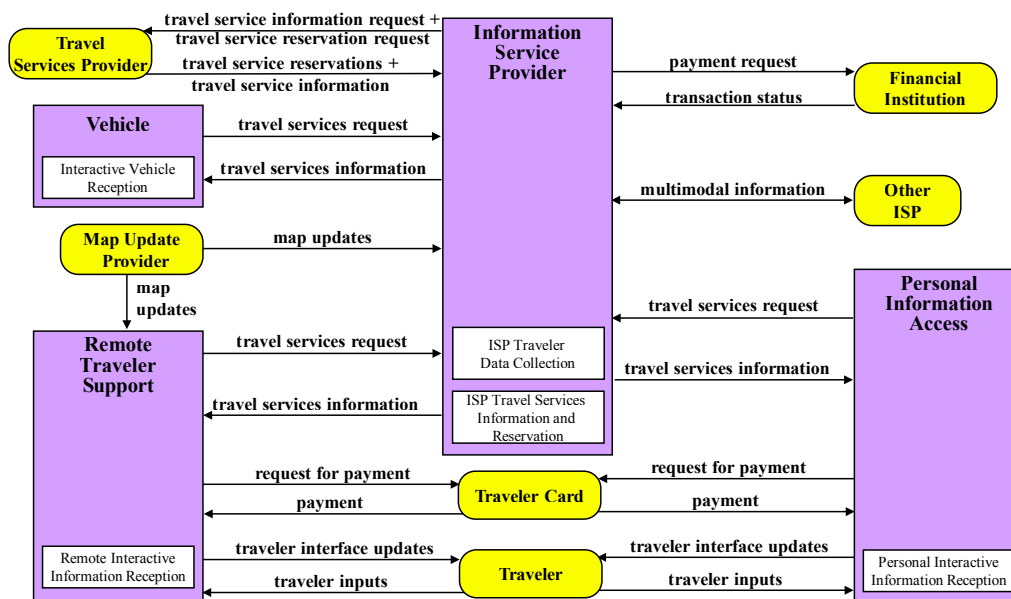


Figura 22: Diagrama do pacote de serviço ATIS07
 Fonte: U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2012b)

4.2.8 Pacote de Serviços ATIS08 - Carona Solidária

Este pacote de serviço oferece serviços para a organização de caronas solidárias, permitindo que se façam reservas em tempo real através dos mesmos equipamentos utilizados no pacote de serviço SAIV02. Também está incluída a possibilidade de fazer conexões com outros serviços de transporte público para complementar os trechos em que a carona solidária não pode atender.

Os principais componentes que constituem este pacote de serviço podem ser vistos através do diagrama de pacote de serviço representado pela figura 23.

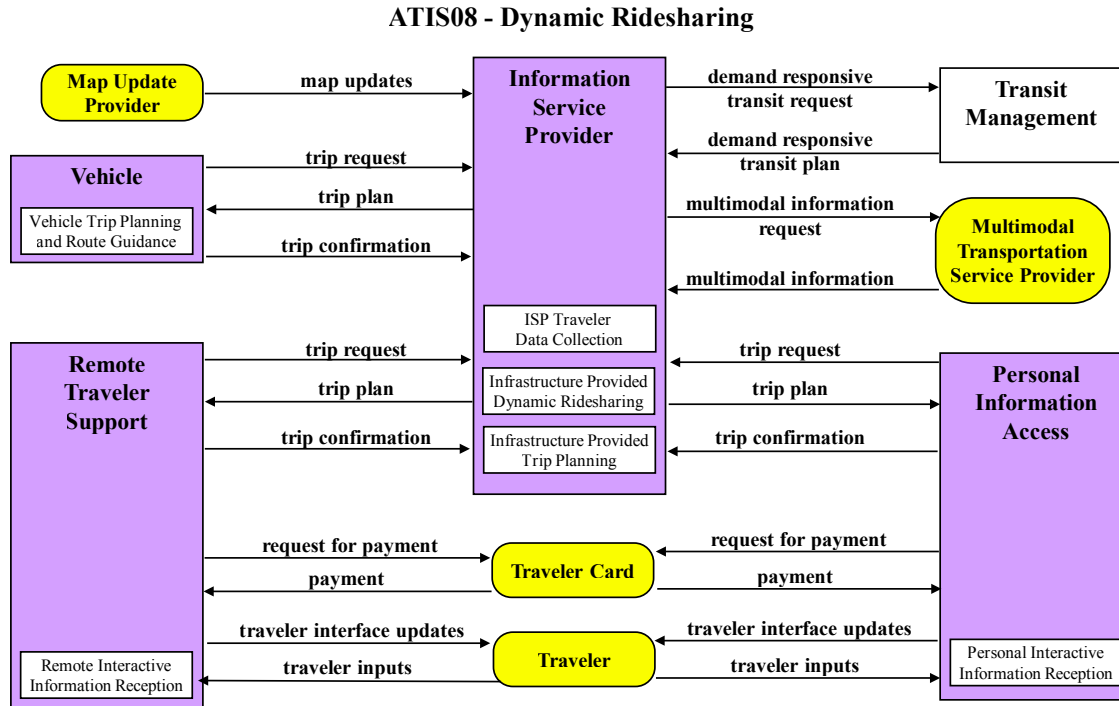


Figura 23: Diagrama do pacote de serviço ATIS08

Fonte: U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2012b)

4.2.9 Pacote de Serviços ATIS09 - Sinalização a Bordo de Veículo

O pacote de serviço SAIV09, representado no diagrama de pacote de serviço mostrado na figura 24, é responsável por serviços de sinalização regulatória, avisos e sinais de trânsito diretamente aos motoristas através de equipamentos a bordo dos veículos. Entre as informações oferecidas estão: sinais de trânsito (ex: PARE, avisos de curvas, sinais de serviços, sinais de direção etc), informações dinâmicas (ex: estado atual da estrada, alertas das condições locais etc), além de possibilitar o recebimento de informações de manutenção e obras, condições de tráfego e veículos de emergência.

ATIS09 - In Vehicle Signing

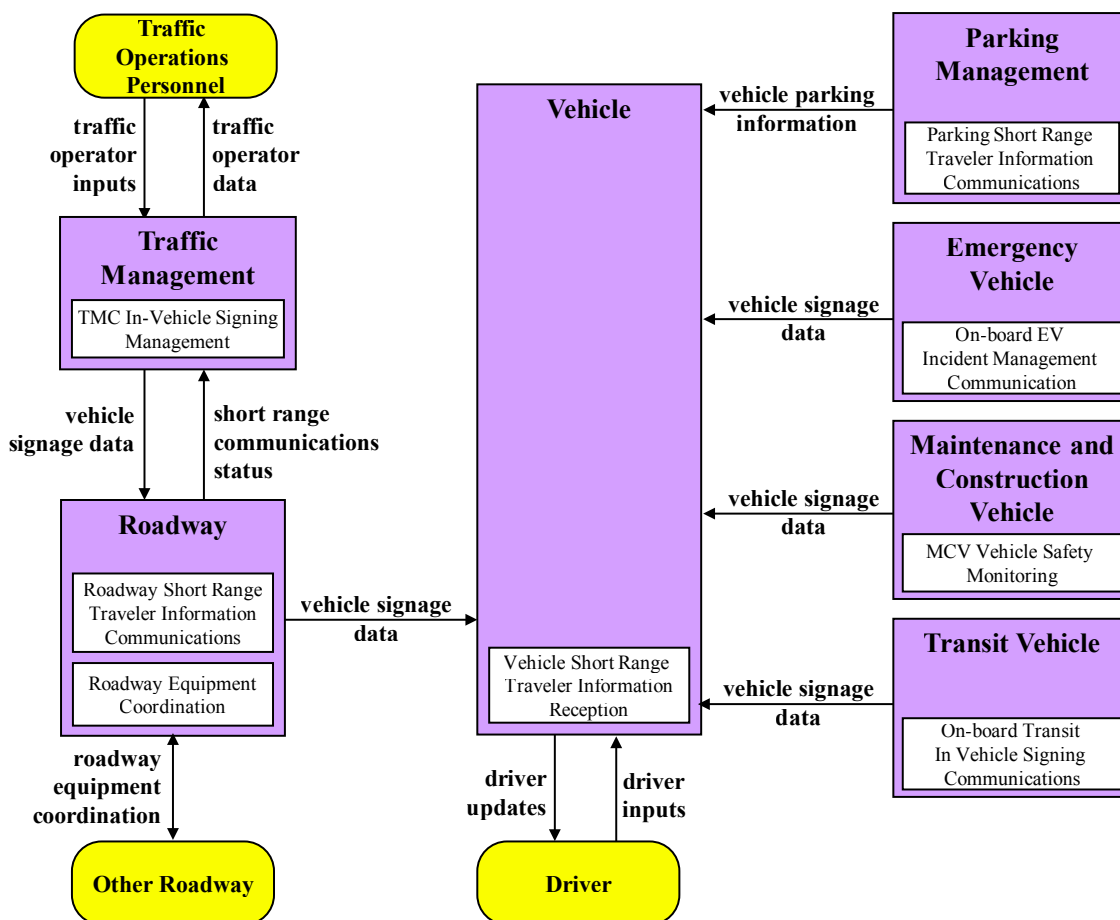


Figura 24: Diagrama do pacote de serviço ATIS09
 Fonte: U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2012b)

4.2.10 Pacote de Serviços ATIS10 - Informação ao Viajante por Comunicação de Curto Alcance

O décimo e último pacote de serviço permite que os viajantes se beneficiem da infraestrutura de Comunicação Dedicada de Curta Distância (CDCD) para obter informações de acordo com a localização, tais como: tempos de viagens, informações sobre incidentes e condições da via. A CDCD consiste de equipamentos espalhados pelas estradas que trocam informações contextualizadas com veículos conforme estes passam dentro do seu alcance.

A figura 25 apresenta seu diagrama de pacote de serviço, evidenciando os principais componentes que o constituem.

ATIS10 – Short Range Communications Traveler Information

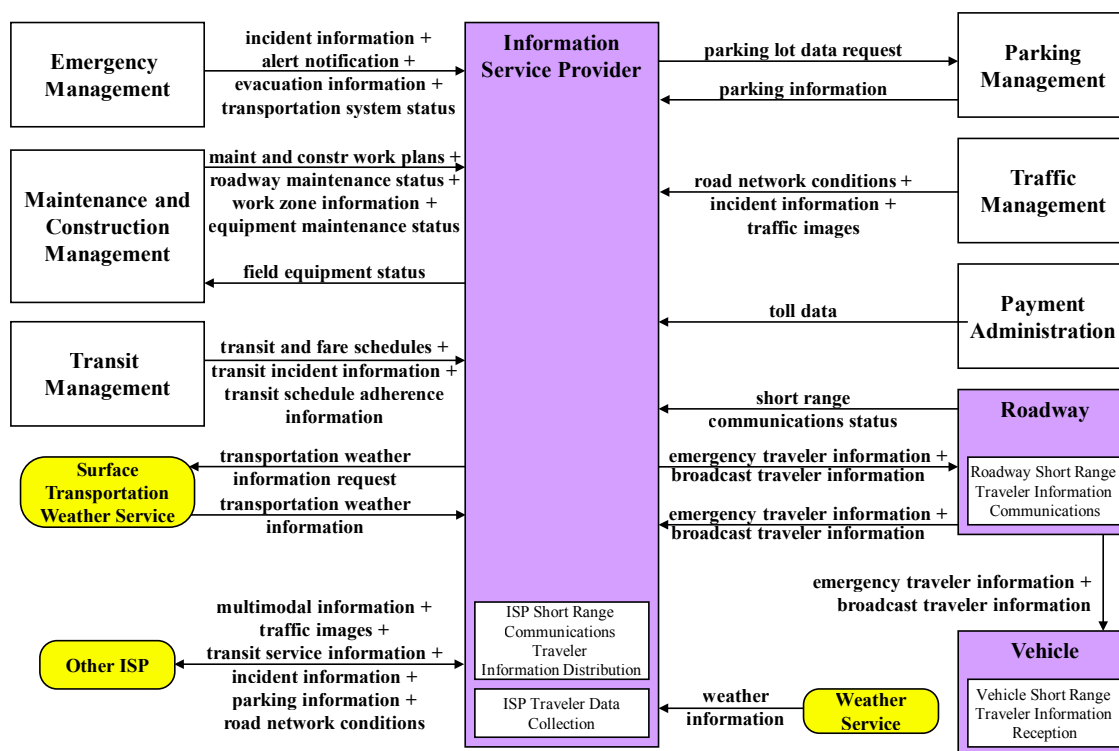


Figura 25: Diagrama do pacote de serviço ATIS10

Fonte: U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2012b)

4.3 Conclusão

Os Sistemas Avançados de Informação ao Viajante são Sistemas Inteligentes de Transportes específicos para o fornecimento de informações relativas à infraestrutura de transportes aos seus usuários, ajudando-os a utilizá-la com eficiência através da diminuição dos tempos de viagens, redução de congestionamentos, economia de recursos e preservação do meio-ambiente.

No escopo dos ATIS, a arquitetura NIA oferece um conjunto contento dez pacotes de serviços específicos e seus serviços de usuários, subsistemas, fluxos de arquitetura e fluxos de dados para o planejamento, projeto e implementação de instâncias deste tipo de sistema.

Encerra-se neste capítulo os pressupostos teóricos que contribuíram para a formação conceitual dos principais temas: Sistemas Inteligentes de Transportes, NIA, Web, REST, ROA e ATIS.

A próxima etapa mostra a aplicação dos aspectos metodológicos para a obtenção de informações que responderão ao problema de pesquisa. Assim, com base nesta questão norteadora buscou-se registrar a obtenção dos dados qualitativos por meio da pesquisa exploratória baseada nestas tecnologias e que, da análise dos dados, pode-se teorizar sobre a proposta de utilização

da arquitetura de referência NIA sob o ponto de vista da Web através da arquitetura ROA, congregando dois domínios: a Web e os ITS.

5 Método de Projeto Proposto

5.1 Introdução

Nos sistemas inteligentes de transportes tanto os produtores de informações, tais como equipamentos de campo e sistemas de gerência e operação, quanto os consumidores destas informações - os usuários da infraestrutura de transportes, os seus operadores, pesquisadores e colaboradores - estão distribuídos e possuem responsabilidades distintas para alcançar o objetivo comum de permitir deslocamentos com rapidez, segurança e menor consumo de energia. É desejável então que todos estes atores consigam se comunicar sem barreiras (interoperabilidade) e estejam aptos a conviver neste ambiente de natureza distribuída.

Conforme visto no capítulo 3, a Web, em sua forma original descrita pelo estilo arquitetônico REST, forma um sistema distribuído de larga escala, compatível com uma grande quantidade de plataformas computacionais e capaz de fornecer informações formatadas de acordo com a necessidade de cada usuário ou cliente. Utilizando a Arquitetura Orientada a Recursos é possível projetar e desenvolver, a partir de um conjunto de dados, aplicações de acordo com o estilo da Web, tirando proveito das suas qualidades e restrições.

Com o conhecimento teórico e da observação sobre os ITS e do estilo da Web, buscou-se de maneira exploratória teorizar sobre a junção destes dois conceitos, visando apresentar uma proposta que permite analisar a arquitetura de referência NIA sob o ponto de vista da Arquitetura Orientada a Recursos, na tentativa de extrair interações e dados e transformá-los em recursos e representações. Com isso, espera-se obter uma arquitetura regional de um sistema que atenda as especificações da NIA e de acordo com o estilo da Web.

A proposta apresentada nas seções seguintes constituem uma sequência de passos para guiar a construção de uma arquitetura regional para ITS de acordo com NIA e baseada na Arquitetura Orientada a Recursos.

1. Definir Requisitos da Arquitetura Regional Pretendida
2. Casar os Requisitos com os Pacotes de Serviços
3. Identificar o Conjunto de Dados a partir dos Fluxos de Arquitetura dos Pacotes de Serviços
4. Definir uma arquitetura baseada no estilo REST a partir deste Conjunto

de Dados

- (a) Particionar o Conjunto de Dados em Recursos
- (b) Nomear os Recursos através de URIs
- (c) Definir o subconjunto da Interface Uniforme para cada Recurso
- (d) Projetar as Representações e Ligações
- (e) Definir as Respostas fornecidas aos Clientes

5.2 Definir Requisitos da Arquitetura Regional Pretendida

O primeiro passo consiste em estabelecer os requisitos funcionais desejados para a arquitetura regional de ITS pretendida, ou seja, quais as funcionalidades ou serviços ela deve fornecer aos seus clientes. O objetivo é utilizar estes requisitos para guiar e restringir a análise da arquitetura de referência de ITS, mantendo o foco nos componentes de interesse.

5.3 Casar os Requisitos com os Pacotes de Serviços

Os pacotes de serviços oferecidos pela NIA oferecem uma abstração para a implantação de serviços de ITS, agrupando e identificando os componentes da arquitetura física necessários para a realização de cada serviço, conforme exposto no capítulo 2.

Partindo dos requisitos estabelecidos no passo anterior, é possível identificar os pacotes de serviços, de um total de 97 disponíveis, os que realizam as funções desejadas. O pareamento dos requisitos com os pacotes de serviços permite situar a arquitetura regional pretendida no âmbito da NIA podendo então se beneficiar de todo o *framework* fornecido por esta arquitetura para a construção de ITS.

Este passo dá início a exploração da arquitetura de referência para ITS em direção à construção da arquitetura regional orientada a recursos. Ao todo, a partir dos 97 pacotes de serviços da NIA, estão disponíveis 535 fluxos de arquitetura e 5857 fluxos de dados.

Após selecionar os pacotes de serviços é necessário identificar os componentes da NIA que farão parte do ITS responsável por atender aos requisitos definidos no primeiro passo, mais especificamente seus subsistemas, os fluxos de arquitetura que estabelecem as interfaces de comunicação entre eles e os fluxos de dados, que representam as informações trocadas através destas interfaces de comunicação.

5.4 Identificar o Conjunto de Dados a partir dos Fluxos de Arquitetura dos Pacotes de Serviços

O método proposto por (RICHARDSON; RUBY, 2007) e mostrado no capítulo 3 tem como primeira etapa a identificação das informações relevantes que constituem o sistema Web orientado a recursos desejado. Elas formam o que é chamado de “conjunto de dados”.

No método apresentado neste capítulo, a construção deste conjunto de dados se dá a partir dos elementos da arquitetura de referência se baseia nos fluxos de arquitetura e fluxos de dados que compõem de cada um dos pacotes de serviços identificados no passo anterior.

Os fluxos de arquitetura proporcionam uma perspectiva de alto nível de como ocorre a comunicação entre os vários subsistemas, porém não fornecem detalhes suficientes para esta tarefa e por isso os fluxos de dados que constituem estes fluxos de arquitetura também precisam ser explorados.

É importante observar que, como visto no capítulo 2, os fluxos de dados pode ser composto por um ou mais outros fluxos, que por sua vez podem ser compostos por um ou mais outros fluxos dados e assim sucessivamente. Seguindo este raciocínio, a análise de um fluxo de arquitetura através dos seus fluxos de dados pode se tornar uma tarefa exaustiva pois o número de informações pode crescer a cada novo nível explorado.

Em vez de lidar com este grande número de informações, decidiu-se criar um procedimento para reduzir a quantidade de fluxos de dados que influenciarão a definição do conjunto de dados. O aspecto chave desta redução é eliminar o mais cedo possível os fluxos de dados que encapsulam informações que excedem os requisitos propostos para o estudo de caso, buscando contornar seu crescimento acelerado sem prejudicar o resultado esperado. Este procedimento consiste nos seguintes passos:

```

1 Dado um fluxo de arquitetura FA
2 Obter o conjunto de fluxos de dados FD que o compõem
3 Para cada elemento Efd de FD:
4   Analisar a descrição e composição de Efd e decidir:
5     Se Efd se encaixar nos requisitos determinados:
6       Submeter Efd ao passo 2
7     Senão:
8       Eliminar Efd

```

A cada iteração podem ser criados diagramas, a partir das informações disponibilizadas pela arquitetura de referência NIA, para ilustrar o processo, buscando maior clareza para seu entendimento e também para auxiliar nas etapas seguintes do método proposto por (RICHARDSON; RUBY, 2007).

5.5 Definir uma arquitetura baseada no estilo REST a partir deste Conjunto de Dados

A partir deste ponto o conjunto de dados obtido com base nos requisitos estipulados e na arquitetura de referência NIA deve ser submetido ao método especificado pela Arquitetura Orientada a Recursos e exposto no capítulo 3. Este método consiste nas etapas apresentadas a seguir:

1. Particionar o Conjunto de Dados em Recursos
2. Nomear os Recursos através de URIs
3. Definir o subconjunto da Interface Uniforme para cada Recurso
4. Projetar as Representações e Ligações
5. Definir as Respostas fornecidas aos Clientes

5.5.1 Particionar o Conjunto de Dados em Recursos

O particionamento do conjunto de dados em recursos é uma tarefa que pode depender da experiência do analista, ou da equipe de analistas, que está projetando um sistema orientado a recursos. Cada um dos requisitos estabelecidos no primeiro passo pode ser tratado isoladamente, buscando identificar as partes do conjunto de dados que os atendam e particioná-las em recursos conforme a necessidade.

Como regra, sempre que um novo conceito for identificado a partir do conjunto de dados, um novo recurso poderá ser criado. A ideia desta abordagem é criar o maior número de recursos possíveis de tal maneira que possam ser reutilizados através de ligações com outros recursos e buscando diminuir a ocorrência de informações duplicadas entre as representações utilizadas por todo o sistema.

5.5.2 Nomear os Recursos através de URIs

Após definir os recursos, é necessário atribuir a cada um deles um endereço único na Web para permitir que sejam acessados e utilizados. Como visto no capítulo 3, a tecnologia da Web para definir estes endereços é o Identificador Uniforme de Recursos (URI).

Para tornar a apresentação mais compacta, podem ser utilizados URIs no formato relativo, isto é, omitindo a parte que referencia o servidor específico que atende as requisições, evitando-se a repetição desta informação.

5.5.3 Definir o subconjunto da Interface Uniforme para cada Recurso

Neste passo devem ser definidos quais métodos da interface uniforme cada recurso deverá atender e em quais condições cada um destes métodos deve estar disponível. Estas decisões devem ser tomadas levando em consideração o papel de cada usuário perante a cada recurso bem como a semântica de cada recurso em si. Por exemplo, se determinado recurso tem suas representações baseadas em resultados de algoritmos, provavelmente não será possível realizar modificações nele (PUT, POST ou DELETE) restando assim somente os métodos para a obtenção de representações (GET e HEAD).

Alguns recursos podem ser criados ou devem permitir a modificação da sua representação e por isso irão atender a um ou mais dos métodos para isto (POST, PUT e DELETE). Pode também ocorrer de um recurso atender a todos os métodos da interface uniforme mas que concede utilização dos métodos de escrita apenas determinados usuários através de mecanismos de autenticação que irão protegê-los de modificações por pessoas não autorizadas.

5.5.4 Projetar as Representações e Ligações

Até este ponto foram projetados os recursos, atribuídos URIs a cada um deles e selecionado o subconjunto da interface uniforme que cada um deverá atender. O próximo passo consiste na definição das representações destes recursos, tanto aquelas que os servidores enviam aos clientes como as que os clientes enviam ao servidor.

Para criar as representações de um recurso é preciso entender qual o papel deste recurso na aplicação sendo projetada, quais informações devem ser fornecidas aos seus clientes e em quais formatos os clientes desejam trocar estas informações com o servidor. O papel de cada recurso e as suas informações são provenientes das especificações fornecidas pela arquitetura de referência NIA, restando então projetar como estas informações serão trocadas entre clientes e servidores.

O tipo de mídia escolhido para as representações neste trabalho foi o XML, por ser um padrão de formato bastante conhecido e difundido, criado pelo *World Wide Web Consortium (W3C)* - entidade responsável pelo

desenvolvimento dos padrões da Web - e por possuir algumas características interessantes: é flexível, permitindo que se crie documentos dirigidos ao domínio da aplicação; pode ser facilmente lido por pessoas assim como por máquinas e possui uma vasta gama de ferramentas e bibliotecas para diversas plataformas e linguagens de programação, além de ter grande aceitação na Web e ser recomendado pela Arquitetura Orientada a Recursos (HAROLD; MEANS, 2002).

Para criar as representações neste formato serão analisadas a semântica de cada recurso e as informações que ele deve conter com base nas especificações fornecidas pela NIA. Com isso é possível estabelecer os nomes para as marcações XML (os contêineres de informação) e a organização destas marcações dentro de cada documento. É desejável que o nome dado a cada marcação identifique claramente que tipo de informação ela encapsula para facilitar a leitura e entendimento do documento. Além de seus valores (dados), cada marcação poderá possuir uma propriedade “href” representando um ligação hipermídia para outro recurso. Esta forma de expressar ligações é a mesma utilizado em documentos HTML e outros formatos derivados do XML tais como XHTML, Atom e SVG.

A listagem 6.1 apresenta um exemplo de documento XML elaborado desta maneira e mostra os elementos com nomes descritivos (“umXMLDeExemplo”, “umaMarcaçãoApenasComValor” e “umaMarcaçãoComLigação”), os valores encapsulados pelos elementos (“aqui vai alguma informação” e “aqui vai outra informação”) e a propriedade “href” para expressar ligações.

```

1 <umXMLDeExemplo >
2   <umaMarcaçãoApenasComValor >
3     aqui vai alguma informação
4   </umaMarcaçãoApenasComValor >
5   <umaMarcaçãoComLigação href="/umaligacao">
6     aqui vai outra informação
7   </umaMarcaçãoComLigação >
8 </umXMLDeExemplo >

```

Listing 5.1: Exemplo de documento XML para representação

5.5.5 Definir as Respostas fornecidas aos Clientes

Após definir os recursos, seus endereços e especificações das suas representações, é necessário estabelecer como será indicado ao cliente a maneira como o servidor tratou cada requisição, informando se ocorreu tudo bem, se um recurso foi criado ou não foi encontrado, entre outras situações. Para isto, o protocolo HTTP oferece 40 códigos de status, que podem ser divididos em dois grupos: códigos no formato 1xx e 2xx representam condições

normais de resposta e indicam que uma requisição foi compreendida e aceita pelo servidor e foi, está ou será processada de acordo; códigos no formato 3xx, 4xx ou 5xx indicam a ocorrência de algum problema no conteúdo ou no processamento da requisição e informam, quando necessário, quais medidas o cliente deve tomar.

A atribuição dos códigos de status adequados a cada resposta está relacionada a requisição feita pelo cliente, envolvendo a representação enviada, o endereço especificado (URI), junto com seus parâmetros, e o método da interface uniforme utilizado. A partir das especificações destes itens, feitas nas seções anteriores, sabe-se quais são os endereços corretos, o formato e o conteúdo de uma representação válida para um determinado recurso e como os parâmetros utilizados nos URIs devem ser especificados. Com isso, a identificação das condições de operação de um recurso pode ser expressa através de padrões de requisições.

Propõe-se que as situações que poderão ocorrer na manipulação de recursos sejam analisadas e criados, a partir delas, padrões de requisição contendo estas situações, o código de status que deve ser utilizado e quais recursos se enquadram em cada caso. Esta análise pode ser feita em duas etapas coincidentes com os dois grupos de códigos de status: condições normais de resposta e condições de erro.

Como visto no capítulo 3, os métodos GET, HEAD e OPTIONS são ditos seguros e idempotentes. Além disso, tem funções com propósito parecido: fornecer algum tipo de representação de um recurso. O método GET, o caso mais comum, fornece a representação do recurso no tipo de mídia solicitado pelo cliente. O HEAD funciona igual ao GET porém a representação enviada ao cliente contém apenas os metadados da resposta (cabecçalhos HTTP, código de status, tipo de mídia etc) e suprime o corpo da representação, ou seja, o documento no formato especificado pelo tipo de mídia. Para o método OPTIONS, a representação é padronizada para conter uma lista dos métodos da interface uniforme disponíveis para o recurso.

Embora a representação utilizada nestes três métodos sejam diferentes, o tratamento dado à requisição, do aspecto dos códigos de status, pode ser o mesmo. Por exemplo, se um determinado recurso suporta os métodos GET e HEAD e a resposta para uma determinada requisição GET tem o código de status “200”, ao fazer a mesma requisição porém utilizando o método HEAD o código de status também será “200”. Isso permite que sejam utilizados os mesmos códigos de status entre requisições onde a diferença é apenas o método utilizado, ou seja, tanto o URI quanto os parâmetros enviados pelo cliente são os mesmos.

5.6 Conclusão

Neste capítulo propôs-se um método para análise de uma arquitetura regional para ITS de acordo com a NIA a fim de se obter, baseado em seus requisitos funcionais, um conjunto de dados para aplicação no método de construção de sistemas seguindo a Arquitetura Orientada Recursos. Esta solução tem como finalidade permitir o uso da Web como plataforma para a construção de ITS de acordo com a NIA e com as restrições e propriedades do estilo arquitetônico REST.

6 Estudo de Caso de Aplicação do Método Proposto

6.1 Introdução

Este capítulo apresenta a aplicação do método proposto no capítulo anterior para a obtenção de uma arquitetura regional de ITS em conformidade com o estilo arquitetônico da Web. Esta aplicação de exemplo terá como foco os ATIS, sistemas especializados no fornecimento de informações sobre a infraestrutura de transportes aos seus usuários, conforme definido pela NIA e exposto no capítulo 4.

Nas seções seguintes serão executadas as etapas do método proposto no capítulo anterior.

6.2 Definir Requisitos da Arquitetura Regional Pretendida

O objetivo desta aplicação de exemplo é atender a casos típicos de utilização de ATIS, fornecendo informações aos usuários dos serviços de transporte público e também aos utilizadores de veículos privados. Mais especificamente, seus requisitos consistem em fornecer as seguintes informações:

1. Condições vigentes de tráfego da malha viária.
2. Incidentes em vigência que podem afetar o trânsito de veículos.
3. Informações vigentes sobre os serviços de transporte público, incluindo:
 - (a) linhas de transporte público;
 - (b) seus itinerários;
 - (c) seus pontos de parada;
 - (d) suas escalas de horários;
 - (e) suas tarifas;
 - (f) informações relativas a atrasos.

6.3 Casar os Requisitos com os Pacotes de Serviços

A partir destes requisitos foram selecionados, conforme as descrições apresentadas no capítulo 4, os pacotes de serviço ATIS01, ATIS02, ATIS04,

ATIS05, ATIS06 e ATIS10 e que são compostos, no total, por 78 fluxos de arquitetura. Entre estes fluxos de dados, e com base nos requisitos estipulados, foram selecionados sete cujas descrições pode ser vista na listagem a seguir.

difusão de informação ao viajante: fornece informações gerais para os viajantes, incluindo condições de tráfego, tempos de viagens, incidentes, avisos, restrições, serviços de transporte público, meteorologia, estacionamentos etc.

requisição de viajante: uma requisição para obtenção de informações personalizadas sobre as condições de tráfego, tempos de viagens, incidentes, avisos, restrições, serviços de transporte público etc. A requisição pode incluir filtros para especificar o tipo de informação desejada, a área de interesse etc.

informação personalizada para o viajante: fornece informações específicas para um viajante para atender aos critérios especificados em uma requisição de informação personalizada.

informação de incidente: informações sobre a existência de incidentes contendo a localização, gravidade, momento em que ocorreu natureza. Estas informações são atualizadas na medida em que um incidente evolui.

condições da malha de estradas: condições vigentes e previstas de tráfego, meteorologia e outras informações ligadas às estradas e rodovias.

informação sobre o transporte público: informações sobre itinerários, horários e tarifas dos serviços de transporte público.

informação da pontualidade dos horários de transporte público: informações dinâmicas sobre a localização e os desvios de horários (atrasos e adiantamentos) de um veículo de transporte público.

A figura 26 mostra, através de um diagrama de pacote de serviços, os componentes que utilizam estes fluxos de arquitetura e a relação entre eles.

6.4 Identificar o Conjunto de Dados a partir dos Fluxos de Arquitetura dos Pacotes de Serviços

O ponto de partida para identificar o conjunto de dados deste exemplo está nos fluxos de arquitetura selecionados, que proporcionam uma perspectiva de alto nível de como ocorre a comunicação entre os vários subsistemas

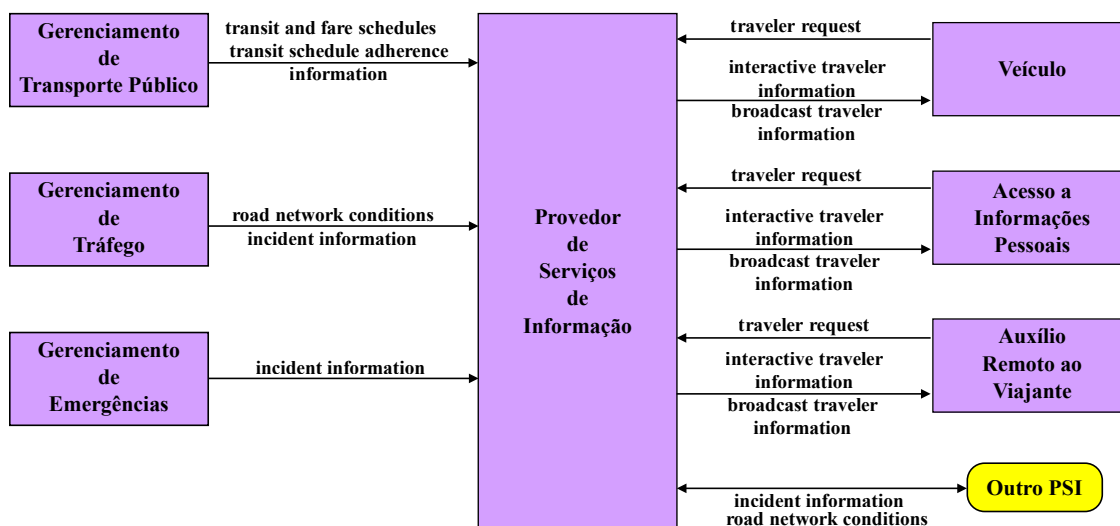


Figura 26: Fluxos de Arquitetura Seleccionados

envolvidos. Para obter as informações com o maior nível de detalhes possível, os fluxos de dados que constituem estes fluxos de arquitetura precisam ser explorados. Entretanto não basta analisar apenas os fluxos de dados isoladamente, pois como visto no capítulo 2, cada um deles pode ser composto por um ou mais outros fluxos, que por sua vez podem ser compostos por um ou mais outros fluxos e assim sucessivamente.

No caso específico deste ATIS, a expansão de todos os seus sete fluxos de arquitetura revelará 679 fluxos de dados organizados em mais de 1300 composições. A figura 27, criada a partir deste levantamento, mostra os fluxos de dados revelados (representados por círculos) e a relação de composição entre eles (arestas).

Através deste exemplo, é possível observar a complexidade enfrentada por analistas de sistemas quando se defrontam com a NIA. Um conjunto simples de requisitos como aqueles listados no início deste capítulo implica numa crescente teia de relações que estão representadas na arquitetura geral.

Para contornar este problema, será utilizado o método para a redução do número de fluxos de dados proposto no capítulo 5. A cada iteração serão criados, a partir das informações disponibilizadas pela arquitetura de referência NIA, diagramas para ilustrar o processo, buscando maior clareza para seu entendimento e também para auxiliar nas etapas seguintes. Espera-se, através destes diagramas, poder identificar agrupamentos do conjunto de dados que constituem tipos de informações e como estas informações são trocadas entre os subsistemas e usuários do ATIS de exemplo.

As subseções seguintes abordarão os fluxos de arquitetura “informação de incidente”, “informação da pontualidade dos horários de transporte público” e “requisição de viajante”. Os quatro fluxos de arquitetura restantes

são abordados na seção B do apêndice.

6.4.1 Fluxo de Arquitetura “informação de incidente”

O fluxo de arquitetura “informação de incidente” realiza a notificação da existência de incidentes, informando dados como a gravidade, localização, momento do acontecimento e sua natureza. É utilizado por 17 pares de subsistemas; entretanto no caso específico deste ATIS de exemplo ele aparece quatro vezes e permite que três subsistemas troquem informações sobre incidentes conforme apresentado na figura 26.

O primeiro diagrama extraído a partir das informações disponíveis sobre este fluxo de arquitetura pode ser visto na figura 28. É possível identificar, através dos destaques coloridos, os subsistemas que se comunicam através deste fluxo de arquitetura, que fazem parte da seleção mostrada na figura 26, e seus fluxos de dados. Desta maneira esta comunicação entre os subsistemas que não participam do ATIS de exemplo, junto com seus fluxos de dados, podem ser descartadas do restante desta análise.

As três comunicações selecionadas e o primeiro nível de fluxos de dados são:

1. **De:** Gerenciamento de Emergências **Para:** Provedor de Serviços de Informação

incident_information: informações requisitadas sobre incidentes.

2. **De:** Provedor de Serviços de Informação **Para:** Outros PSI

toisp-incident_data: informações sobre incidentes ou eventos ativos ou planejados na região do PSI.

3. **De:** Outros PSI **Para:** Provedor de Serviços de Informação

foisp-incident_data: informações sobre incidentes ou eventos ativos ou planejados na região de outro PSI.

Ao expandir o próximo nível de fluxos de dados chega-se a 11 novos elementos, mostrados na figura 29 e listados a seguir:

incident_duration: duração esperada de um incidente a partir de seu início até o momento em que não tenha mais efeito nas condições de tráfego

incident_location: coordenadas geográficas da localização do incidente

incident_number: número identificador de cada incidente em curso ou que já terminou

incident_severity: gravidade do acidente

incident_start_time: momento (data e hora) em que um incidente teve início

incident_traffic_impact: detalhes sobre os impactos no tráfego de veículos causados pelo incidente

incident_type: identifica o tipo de um incidente

incident_description: descrição de um incidente

planned_events_data: contém dados a respeito de eventos planejados

planned_incident_response: detalhes sobre o que deve ser feito em resposta a cada um dos tipos de incidentes

source_identity: identificador lógico de uma fonte de informações

Entre estes fluxos de dados, cinco são primitivos (PSPECs), três terão que ser expandidos e outros três são descartados. Foi decidido pelo descarte dos fluxos **planned_events_data**, **planned_incident_response** e **source_identity** por excederem os requisitos do ATIS de exemplo.

A próxima iteração consiste da expansão dos fluxos **incident_location**, **incident_duration** e **incident_start_time**, mostrada na figura 30, e resulta em três novos PSPECs:

duration: contém a duração esperada de uma atividade. É utilizado em várias funções da NIA.

location_identity: contém a localização de qualquer coisa, entidade ou evento de maneira compreensível e não ambígua. É utilizado em várias funções da NIA.

time: encapsula o horário (hora, minuto, segundo). Também é utilizado em várias funções da NIA.

Como todos os fluxos de dados possíveis, para este fluxo de arquitetura, já foram visitados e tratados, o processo chega ao fim. A última figura (30) representa o estado final da análise dos fluxos de dados do fluxo de arquitetura “informação de incidente”.

6.4.2 Fluxo de Arquitetura “informação da pontualidade dos horários de transporte público”

Este fluxo de arquitetura realiza a comunicação entre o subsistema de Gerenciamento de Transporte Público e o Provedor de Serviços de Informação e fornece a ele detalhes atualizados sobre os desvios de horários e rotas dos veículos de transporte público. Estas informações permitem verificar, por exemplo, quanto um ônibus está atrasado ou adiantado em relação ao horário planejado para chegar até um determinado ponto de parada.

Nesta primeira iteração, o único fluxo de dados disponível, e ilustrado na figura 31, é o **transit_vehicle_deviations_details**, que serve apenas como uma transição entre o fluxo de arquitetura e o fluxo de dados.

Ao expandir este fluxo obtém-se seis novos elementos (figura 32), que fornecem informações que podem satisfazer o requisito “atrasos de veículos de transporte público” (item 3.f) do ATIS de exemplo. Abaixo a descrição de cada um destes fluxos.

transit_vehicle_deviation_update: contém o horário estimado de chegada de veículos de transporte público nos pontos de parada programados em seus itinerários.

transit_vehicle_eta: contém o horário estimado de chegada de um veículo de transporte público até o próximo ponto de parada do seu itinerário.

transit_vehicle_location: fornece a localização exata de um veículo de transporte público.

transit_vehicle_passenger_loading: número de passageiros transportados por um veículo de transporte público em cada parte de seu percurso.

transit_vehicle_running_times: horário esperado de chegada de um veículo de transporte público em cada ponto de parada do seu itinerário.

transit_vehicle_schedule_deviations: contém informações sobre o quanto atrasado ou adiantado um veículo de transporte público passou por seus pontos de parada.

Analisando-os é possível concluir que o fluxo de dados mais interessante do ponto de vista do requisito 3.f é aquele que fornece informações atualizadas sobre o horário previsto de chegada de um veículo de transporte público até seus pontos de parada (fluxo **transit_vehicle_deviation_update**). Isto cobre, por exemplo, um caso de uso em que um viajante precisa saber a que horas o ônibus que ele precisa irá passar pelo ponto da parada mais perto de sua casa.

Os demais fluxos de dados são então descartados e passa-se à próxima iteração, expandindo o fluxo **transit_vehicle_deviation_update** (figura 33).

Nesta etapa, todos os fluxos de dados obtidos são PSPECs e são mantidos. Abaixo a descrição de cada um deles.

list_size: este PSPEC representa o tamanho de uma coleção de fluxos de dados e é utilizado em diversas partes da NIA. Geralmente quando aparece, todos os seus fluxos de dados irmãos (que estão no mesmo nível hierárquico) compõem os elementos da coleção.

transit_route_number: representa o número de identificação de uma rota ou serviço de transporte público. Exemplos: 135-8D, 44, 140 e 895A.

transit_route_segment_number: contém o código de identificação de um trecho do itinerário de um veículo de transporte público. Esta informação é utilizada para identificar o ponto de parada a qual o tempo estimado de chegada (**transit_vehicle_time**, abaixo) está se referindo.

transit_vehicle_identity: identificação do veículo de transporte público referenciado nas outras informações dos fluxos de dados irmãos.

transit_vehicle_time: horário estimado de chegada do veículo referenciado por **transit_vehicle_identity** no ponto de parada final do segmento do itinerário especificado por **transit_route_segment_number**.

6.4.3 Fluxo de Arquitetura “requisição de viajante”

O fluxo de arquitetura “requisição de viajante” permite a comunicação entre três pares de subsistemas e proporciona aos viajantes (usuários do ITS) a possibilidade de requisitar informações personalizadas sobre as condições da infraestrutura de transportes, tais como tempos de viagens, incidentes, avisos, restrições, serviços de transporte público etc. As requisições são direcionadas a um provedor de serviços de informação (PSI) e podem incluir filtros para adequá-las às necessidades de cada usuário através da especificação do tipo de informação desejada, área geográfica de interesse e parâmetros para priorizar e ordenar os resultados.

A primeira iteração de análise, ilustrada pela figura 34, revela dez fluxos de dados:

advanced_fares_and_charges_request: função para transferir requisições de pagamentos antecipados feitas pelo motorista em equipamentos a bordo do veículo.

advanced_tolls_and_charges_roadside_request: função para transferir requisições de pagamentos antecipados de pedágios e estacionamento realizadas em equipamentos disponíveis ao longo de estradas.

advanced_tolls_and_fares_request: função para transferir requisições de pagamentos antecipados realizadas em dispositivos situados em estacionamentos.

driver_map_update_payment_request: contém uma requisição para que um pagamento seja realizado para se obter uma base de dados atualizada de um mapa navegável para utilização a bordo de veículos.

driver_display_update_payment_request: contém uma requisição de pagamento para liberar acesso a mapas gráficos digitalizados para exibição de informações de tráfego e viagem em dispositivos a bordo de veículos.

traveler_information_request: requisição de informações de tráfego, transporte público, incidentes etc, por um viajante e através de quiosques ou outros dispositivos situados nas estradas.

traveler_map_update_payment_request: contém uma requisição para que um pagamento seja realizado para se obter uma base de dados atualizada de um mapa navegável para utilização através de dispositivos pessoais utilizados por viajantes.

traveler_personal_information_request: requisição de informações de tráfego, transporte público, incidentes etc, por um viajante e através de dispositivos pessoais utilizados por viajantes.

traveler_personal_display_update_payment_request: contém uma requisição de pagamento para liberar acesso a mapas gráficos digitalizados para exibição de informações de tráfego e viagem em um dispositivo pessoal do viajante.

vehicle_information_request: requisição de informações de tráfego, transporte público, incidentes etc, por um viajante e através de dispositivos a bordo de veículos.

Entre estes fluxos de dados, três se enquadram nos requisitos do SAIV de exemplo por tratarem especificamente de informações de tráfego, transporte público e incidentes. São eles: **traveler_information_request**, **traveler_personal_information_request**, **vehicle_information_request**

Através das suas descrições, foi possível perceber que estes três fluxos desempenham essencialmente a mesma função: representam a requisição de informações de tráfego, transporte público e incidentes. Mudando apenas o tipo de dispositivo de onde são utilizados, partindo de aparelhos a bordo de veículos, dispositivos pessoais ou dispositivos instalados ao longo de estradas.

Ao expandir estes fluxos de dados chega-se a três grupos de 8 novos fluxos, formando um total de 24, mostrados na figura 35.

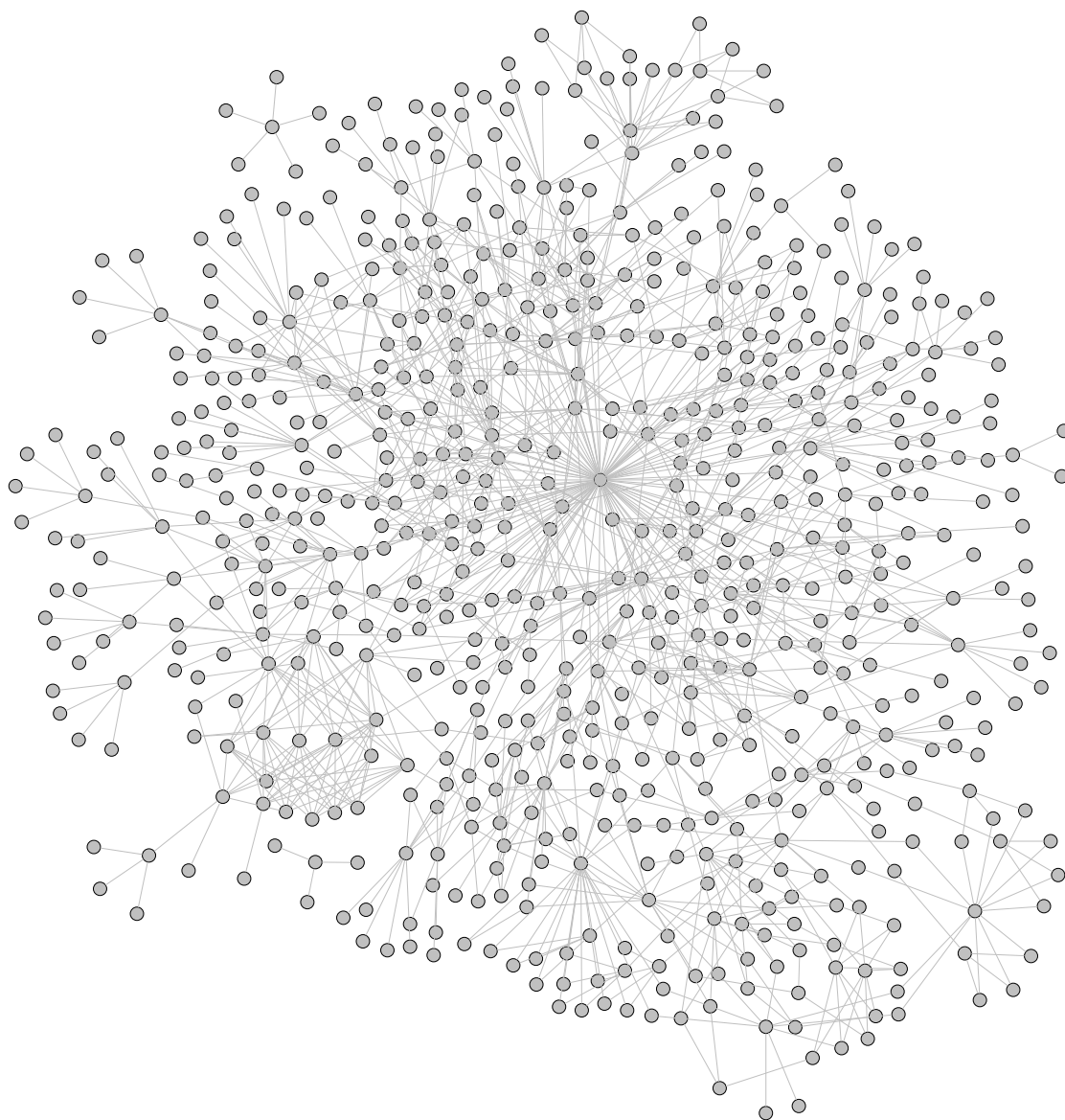


Figura 27: Representação gráfica dos fluxos de dados (círculos) e de suas relações de composição (arestas) para os sete fluxos de arquitetura selecionados

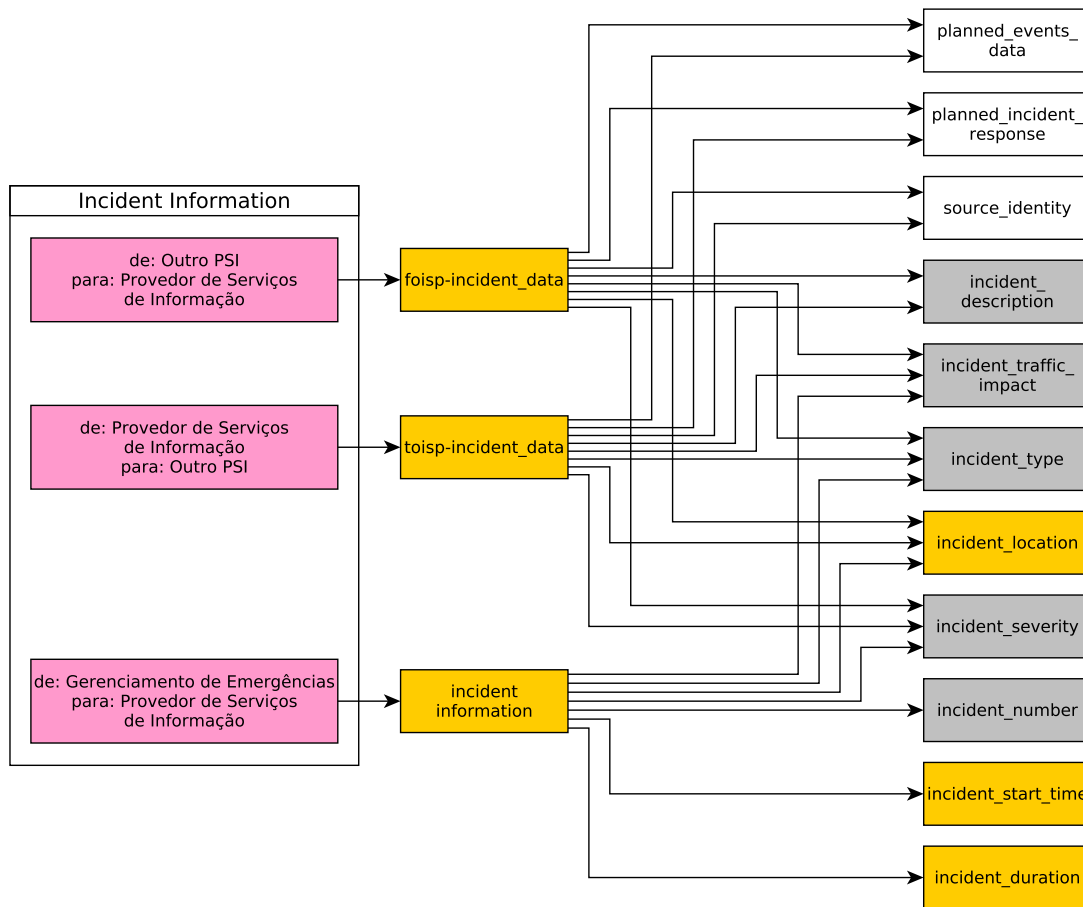


Figura 29: Segunda iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “informação de incidente”

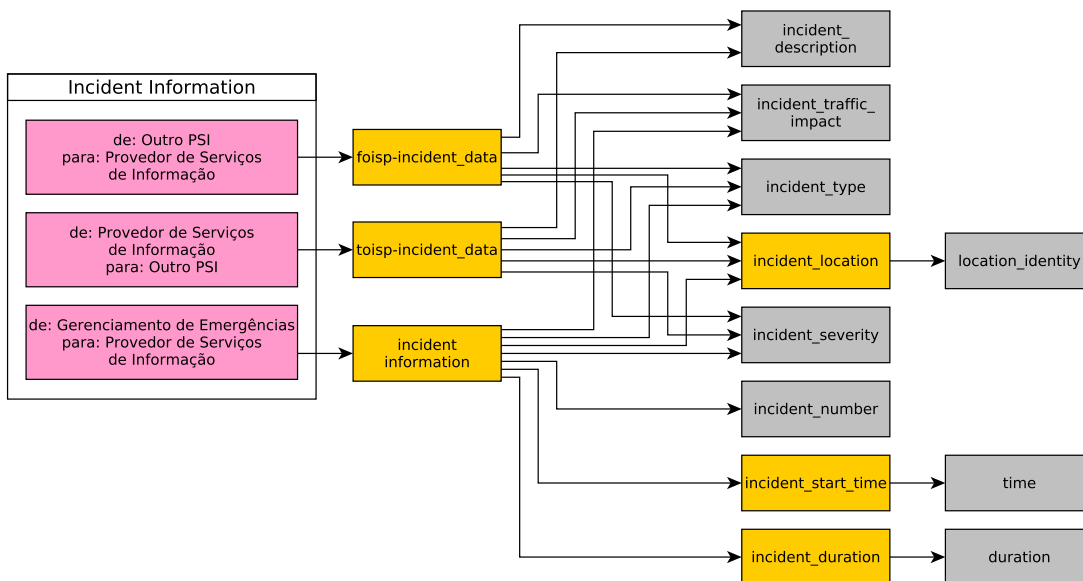


Figura 30: Terceira iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “informação de incidente”

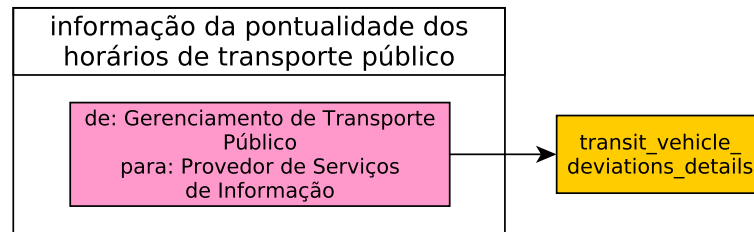


Figura 31: Primeira iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “informação da pontualidade dos horários de transporte público”

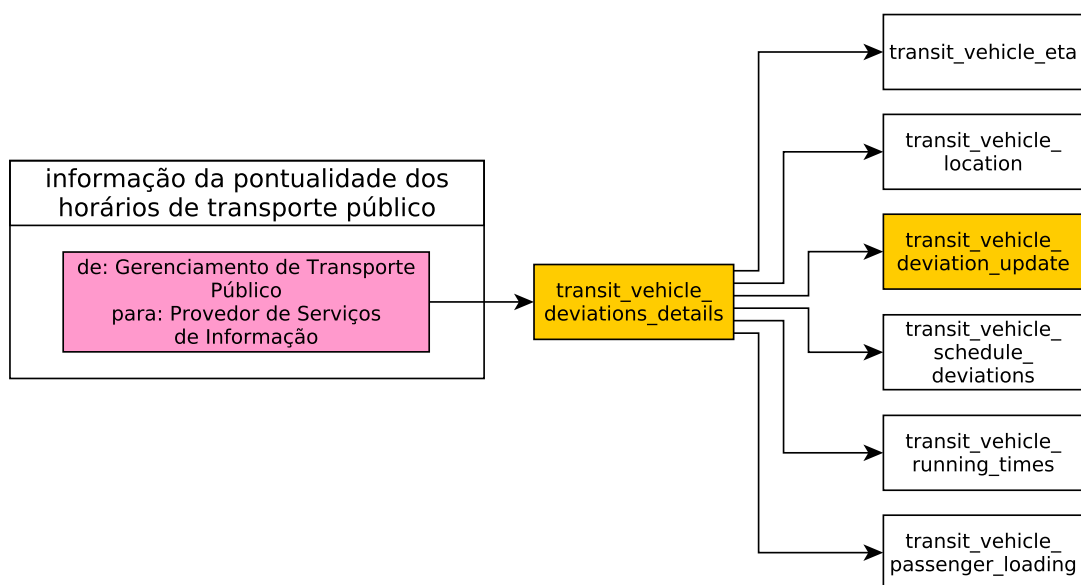


Figura 32: Segunda iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “informação da pontualidade dos horários de transporte público”

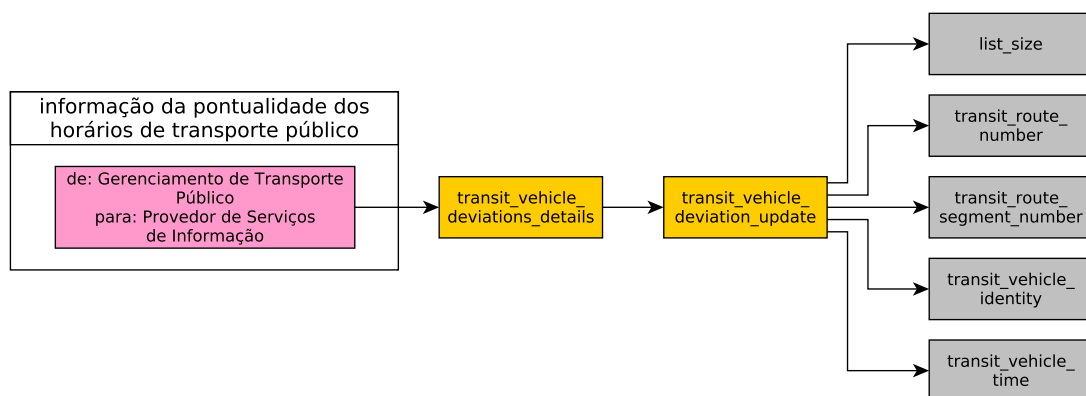


Figura 33: Terceira iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “informação da pontualidade dos horários de transporte público”

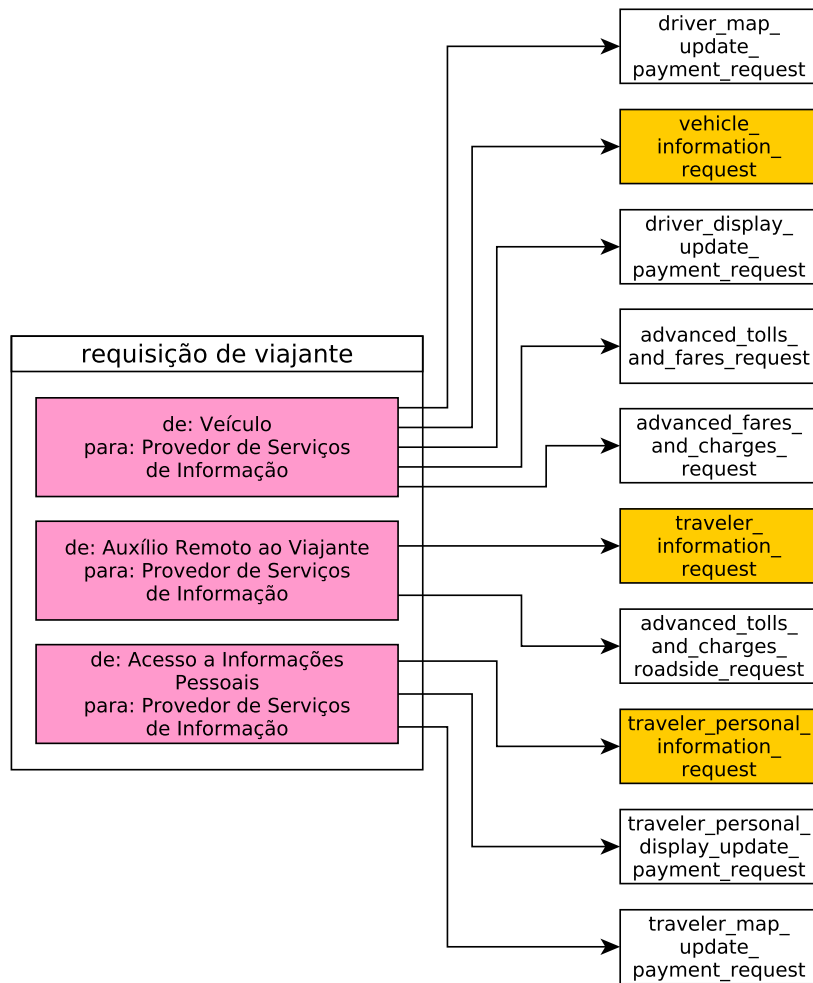


Figura 34: Primeira iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “requisição de viajante”

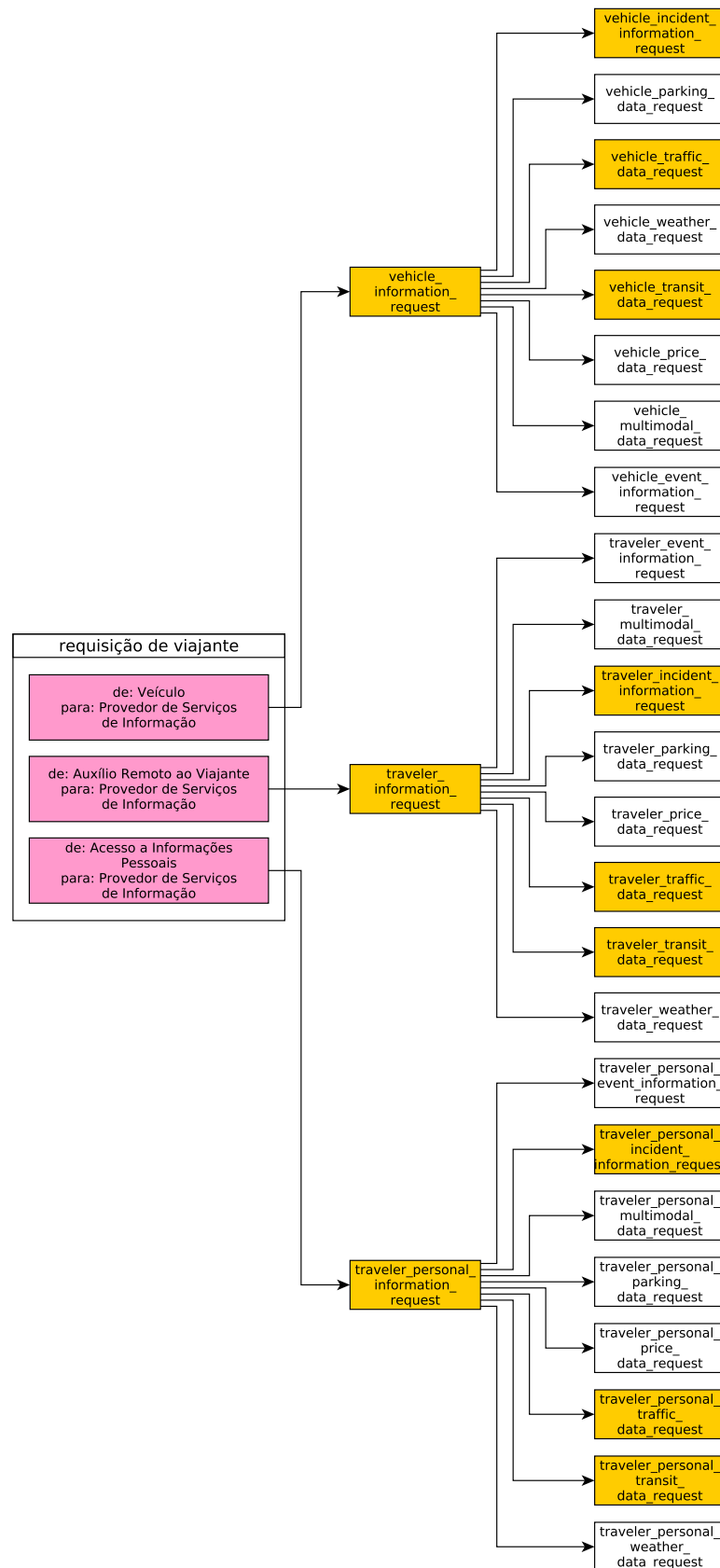


Figura 35: Segunda iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “requisição de viajante”

Observando o nome e a descrição de cada um destes fluxos, percebe-se que eles estão novamente agrupados pelo tipo de dispositivo ou instalação onde são aplicados. Por exemplo, os fluxos de dados **traveler_traffic_data_request**, **traveler_personal_traffic_data_request** e **vehicle_traffic_data_request** tratam da requisição por informações a respeito das condições de tráfego partido, respectivamente, de dispositivos situados na estrada, dispositivos pessoais em posse de viajantes e dispositivos a bordo de veículos. Estes grupos são facilmente identificados através do prefixo de cada um destes fluxos: “traveler”, “traveler_personal” e “vehicle”.

Aproveitando esta característica, descreve-se os 24 fluxos de dados obtidos nesta iteração através dos oito itens abaixo, que utilizam o símbolo <prefixo> para apontar onde um dos três prefixos identificados podem ser utilizados.

<prefixo>_event_information_request: requisição para informações sobre eventos.

<prefixo>_incident_information_request: requisição para informações sobre incidentes.

<prefixo>_multimodal_data_request: requisição para informações sobre serviços de multimodais para viagens.

<prefixo>_parking_data_request: requisição para informações sobre estacionamento.

<prefixo>_price_data_request: requisição para informações sobre preços.

<prefixo>_traffic_data_request: requisição para informações sobre as condições de tráfego.

<prefixo>_transit_data_request: requisição para informações sobre os serviços de transporte público.

<prefixo>_weather_data_request: requisição para informações meteorológicas.

Os fluxos de dados **<prefixo>_incident_information_request**, **<prefixo>_traffic_data_request** e **<prefixo>_transit_data_request** são então mantidos e expandidos na terceira iteração, pois se encaixam nos requisitos do ATIS de exemplo, enquanto que o restante dos fluxos é descartado. Esta nova expansão revela seis novos fluxos de dados, como mostra a figura 36.

Observa-se que cada um dos fluxos de dados da segunda iteração são compostos por dois fluxos de dados, um relativo à função principal

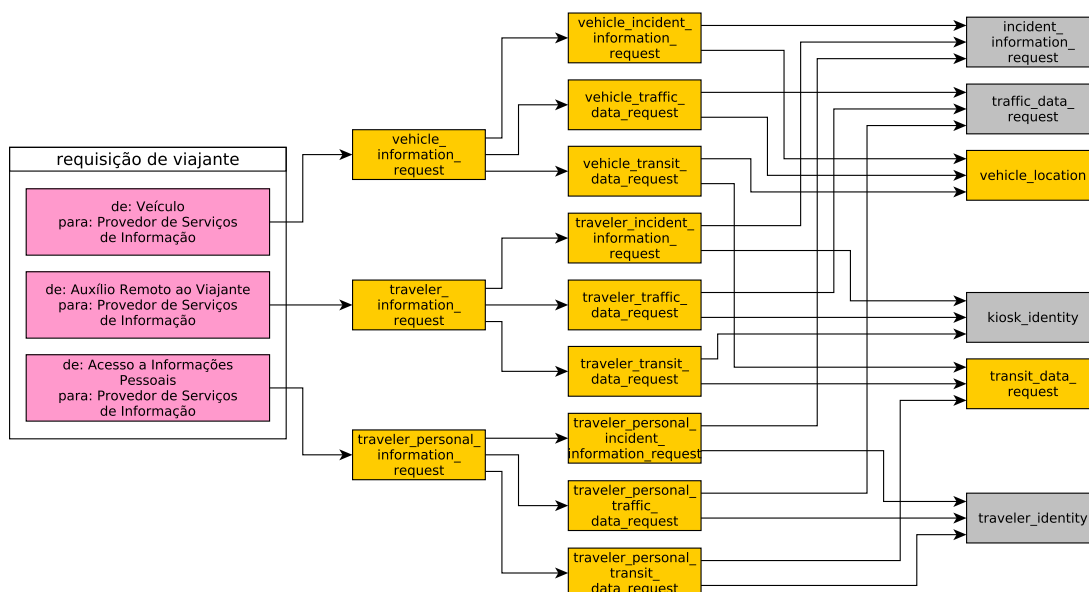


Figura 36: Terceira iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “requisição de viajante”

do fluxo anterior (uma requisição por informações) e o outro responsável pela identificação do remetente da requisição. Por exemplo, o fluxo de dados **traveler_transit_data_request** é composto pelo par de fluxo de dados **transit_data_request** (requisição de informações sobre transporte público) e **kiosk_identity** (identificação do remetente da requisição). Nesta iteração, todos os fluxos revelados foram mantidos, abaixo segue a descrição de cada um deles.

incident_information_request: requisição de informações sobre incidentes.

traffic_data_request: requisição de informações sobre as condições de tráfego.

transit_data_request: requisição de informações dos serviços de transporte público.

kiosk_identity: identifica um quiosque ou outro equipamento situado próximo à infraestrutura de transporte.

traveler_identity: identificação do viajante, para casos em que o dispositivo é portátil e se encontra sobre posse do viajante.

vehicle_location: localização do veículo, no caso de dispositivos a bordo de veículos, que permite que as respostas possam ser filtradas de acordo com a área geográfica em que o veículo se encontra.

Entre os seis últimos fluxos de dados revelados, dois não são tipos primitivos (PSPECs) e por isso necessitam uma nova expansão (quarta iteração), ilustrada pela figura 37. Neste passo surgem seis novos fluxos de dados, descritos a seguir, e ainda o fluxo de dados **location_identity** que já foi visto no fluxo de arquitetura “informação de incidente” (seção 6.4.1).

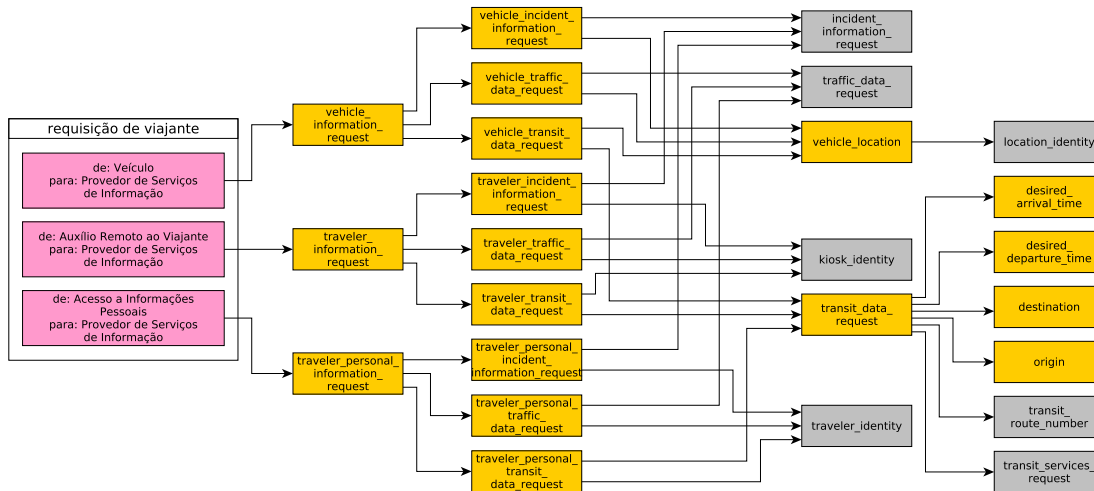


Figura 37: Quarta iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “requisição de viajante”

desired_arrival_time: especifica o horário pretendido de chegada ao destino.

desired_departure_time: especifica o horário pretendido de partida em direção ao destino.

destination: define o destino de uma viagem ou rota a ser utilizada por um viajante ou veículo.

origin: define a origem de uma viagem ou rota a ser utilizada por um viajante ou veículo.

transit_route_number: representa o número de uma rota de transporte público e pode ser representado da mesma maneira que os usuários observam nos veículos de transporte. Exemplos: 849, 136-2, D309, 6401-10.

transit_services_request: requisição por informações detalhadas sobre os serviços de transporte público em vigência.

Entre estes fluxos, quatro ainda não são PSPECs e necessitam uma nova iteração de análise, mostrada na figura 38, e que resulta em dois fluxos

de dados primitivos: **route_point** e **time**. O primeiro representa um ponto (lugar) parte do trajeto escolhido pelo viajante e pode ser a origem, o destino ou um ponto intermediário de interesse (ex: ponto de parada para baldeação, estação para troca de modo de transporte). Já o fluxo de dados **time** é o mesmo visto no fluxo de arquitetura “informação de incidente” em 6.4.1.

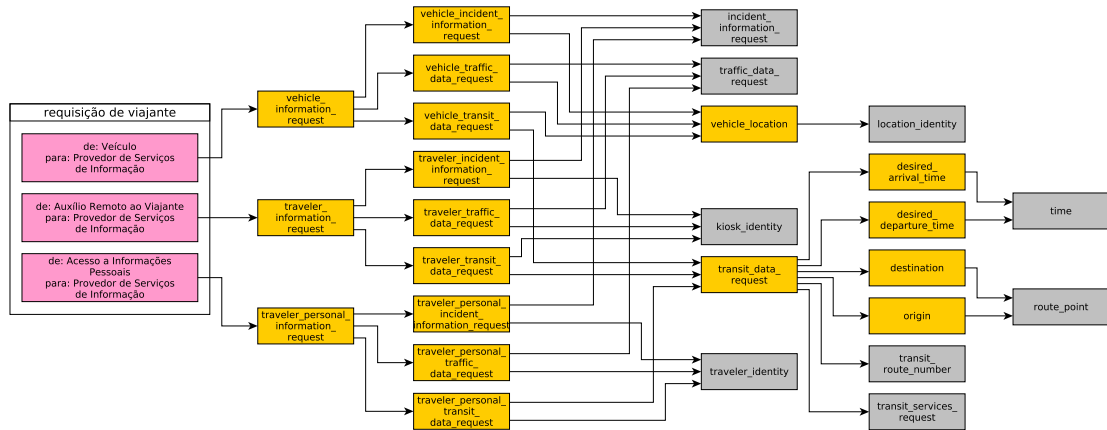


Figura 38: Quinta iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “requisição de viajante”

6.4.4 Resultados da identificação do Conjunto de Dados

Ao final do processo de identificação do conjunto de dados, dirigido pelos requisitos do desta aplicação de exemplo e pelo método descrito no capítulo 5, foram selecionados 96 fluxos de dados do total de 679 disponíveis entre os sete fluxos de arquitetura participantes deste ATIS. A figura 39, é derivada da figura 27 e apresenta o total de fluxo de dados disponíveis e, em destaque, aqueles que foram selecionados.

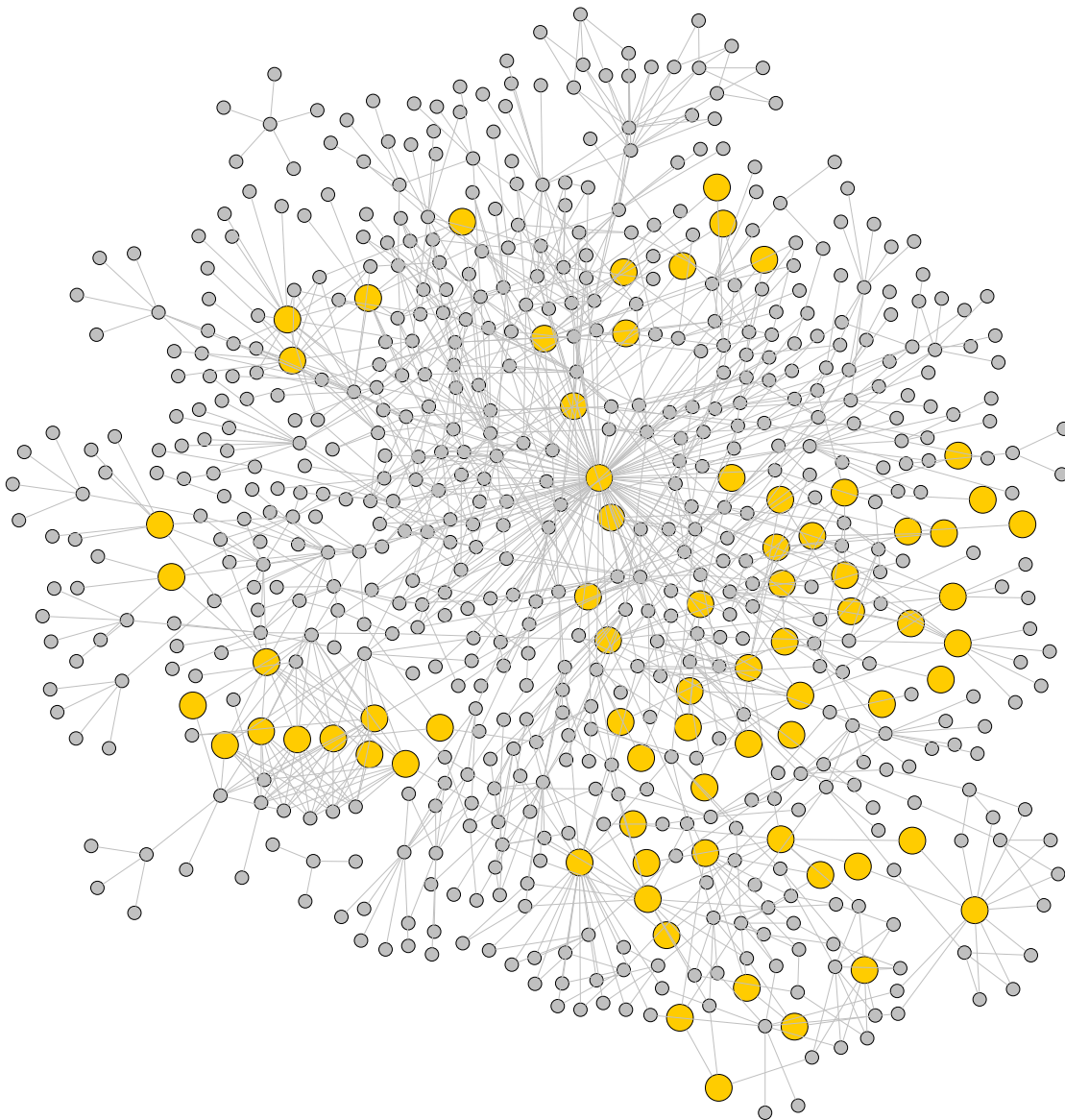


Figura 39: Fluxos de dados e suas relações de composição, com destaque para os fluxos de dados selecionados

Esta figura mostra os fluxos de dados dos fluxos de arquitetura selecionados e suas relações de composição, com destaque para os fluxos de dados

selecionados para o ATIS de exemplo.

6.5 Definir uma arquitetura baseada no estilo REST a partir deste Conjunto de Dados

Os passos a seguir consistem da aplicação do método descrito em (RICHARDSON; RUBY, 2007) para a criação de arquiteturas baseadas em recursos de acordo com o estilo arquitetônico REST e formatado de acordo com o exposto no capítulo 5.

Estes passos são executados nas a seguir, conforme a sequência abaixo:

1. Particionar o conjunto de dados em Recursos
2. Nomear os Recursos através de URIs
3. Definir o subconjunto da Interface Uniforme para cada Recurso
4. Projetar as Representações e Ligações
5. Definir as Respostas fornecidas aos Clientes

6.5.1 Particionar o Conjunto de Dados em Recursos

Nas subseções a seguir, serão tratados cada um dos requisitos do ATIS de exemplo sob a perspectiva do conjunto de dados criado nos passos anteriores.

6.5.1.1 Condições vigentes de tráfego da malha viária

Este requisito tem como objetivo fornecer ao usuário do ATIS informações sobre as condições de tráfego dos trechos de estrada específicos, permitindo antecipar possíveis situações de congestionamentos no decorrer da rota desejada.

Partindo dos sete fluxos de arquitetura selecionados, quatro deles possuem referências a informações sobre tráfego. São eles: **difusão de informação ao viajante, informação personalizada para o viajante, condições da malha de estradas e requisição de viajante.**

Os dois primeiros estão ligados ao fornecimento de informações diretamente aos usuários, entretanto suas funções são apenas de encapsulamento para todos os tipos de informações que são fornecidas aos usuários de ITS.

Esta característica pode ser vista nas subseções específicas da seção B do apêndice. Já os outros dois fluxos de arquitetura possuem informações relativas a situação de tráfego e por isso devem ser analisados mais a fundo para a criação de recursos específicos para este requisito.

O fluxo de arquitetura **condições da malha de estradas**, ilustrado em seu maior nível de detalhes pela figura 46, representa as informações disponíveis a respeito das condições de tráfego das estradas, atribuindo um **trecho** para cada conjunto de informações de **condições de tráfego**. Os **trechos** e as **condições de tráfego** são formados pelos fluxos de dados mostrados nas tabelas 5 e 6 respectivamente.

Fluxo de dados	Semântica
link_identity	identificação do trecho
link_type	tipo do trecho
location_identity	identificação da localização. Poderá ser considerado um ponto geográfico (latitude/longitude), uma forma geográfico (lista de pontos de latitude/longitude) ou um endereço (ex: Av. das Rendeiras)
unit_number	número de identificação único

Tabela 5: Fluxos de dados que representam uma informação de um Trecho.

O fluxo de arquitetura **requisição de viajante**, ilustrado na figura 38, representa uma requisição feita por um usuário do ATIS para a obtenção de diversos tipos de informações, incluindo as de tráfego. Ele especifica um dado relativo à identificação deste usuário, para que a resposta seja relativa ao contexto em que ele está inserido, e outro sobre a natureza da requisição, podendo ser “tráfego”, “transporte público” ou “incidentes”. As tabelas 7 e 8 mostram, respectivamente, os fluxos de dados que compõem esta requisição.

Observa-se que para o requisito tratado nesta subseção apenas os fluxos relativos a identificação do usuário e o fluxo **traffic_data_request** são necessários.

Fluxo de dados	Semântica
vehicle_count	quantidade de veículos/hora
vehicle_headway	intervalo entre veículos (brecha)
vehicle_occupancy	ocupação do trecho
vehicle_queue_length	número aproximado de veículos fazendo fila
vehicle_speed	velocidade dos veículos
link_list	um ou mais trechos os quais estas informações se referem

Tabela 6: Fluxos de dados que representam uma informação de Condições de Tráfego.

Fluxo de dados	Semântica
traveler	Um viajante que faz uma consulta através de um quiosque ou algum outro equipamento situado próximo à infraestrutura de transportes
traveler_personal	Um viajante que possui um dispositivo pessoal portátil
vehicle	Um viajante utilizando um equipamento a bordo de um veículo. Ex: um motorista em seu automóvel

Tabela 7: Fluxos de dados relativos à identificação do usuário em uma requisição para obtenção de informações de tráfego, transporte público e incidentes.

Fluxo de dados	Semântica
traffic_data_request	Requisição por informações sobre as condições de tráfego
transit_data_request	Requisição por informações dos serviços de transporte público disponíveis
incident_information_request	Requisição por informações dos incidentes vigentes

Tabela 8: Fluxos de dados relativos à natureza da requisição para obtenção de informações de tráfego ou transporte público ou incidentes.

Segundo a arquitetura de referência NIA, os fluxos de dados **traveler** e **traveler_personal** não especificam exatamente quais informações de identificação do usuário são necessárias para a requisição, deixando em aberto. Já o fluxo **vehicle** contém uma identificação da localidade onde o veículo se encontra através de um fluxo de dados **location_identity**. Para simplificar e generalizar a requisição, foi considerado que os três tipos de identificação do usuário são feitos através da sua localização, utilizando assim o fluxo de dados **location_identity**, conforme a tabela 9.

Recurso	Informações envolvidas
Trecho	possui um nome ou identificação, um número de identificação único, tipo do trecho e sua localização
Condição de tráfego de um trecho	trecho, veículos/h, brecha entre veículos, ocupação, tamanho da fila e velocidade
Condições de tráfego em uma localidade	lista de Condição de Tráfego para os trechos na localidade de interesse

Tabela 9: Recursos extraídos do conjunto de dados para o requisito relativo às condições de tráfego de trechos.

Com estas informações chega-se então aos três primeiros recursos que atendem o primeiro requisito do ATIS de exemplo.

6.5.1.2 Incidentes em vigência que podem afetar o trânsito de veículos

Ao preencher este requisito ATIS de exemplo poderá fornecer aos seus usuários informações sobre os incidentes vigentes que possam afetar sua mobilidade por ocasionar atrasos ou forçar a utilização de rotas alternativas.

Entre os fluxos de arquitetura selecionados, dois tratam de informações sobre os incidentes vigentes: **requisição de viajante** e **informação de incidente**. O primeiro trata da requisição por estas informações, já visto na subseção anterior e representado pelas tabelas 7 e 8. Já o segundo fluxo representa as informações sobre um incidente vigente, conforme mostra a tabela 10, constituindo então o recurso “Incidente”.

Fluxo de dados	Semântica
incident_description	Requisição por informações sobre as condições de tráfego
incident_duration	Duração esperada do incidente. Pode ser em horas, minutos etc
incident_location	Localização ou área afetada pelo incidente. É representada mesma forma que em location_identity visto no recurso Trecho
incident_number	Número de identificação do incidente
incident_severity	Gravidade do incidente
incident_start_time	Data e hora de início do incidente
incident_traffic_impact	Impacto que o incidente está causando ao trânsito
incident_type	Tipo de incidente

Tabela 10: Fluxos de dados que representam uma informação de um incidente em vigência.

O usuário deste ATIS poderá ainda buscar os incidentes vigentes que estão afetando uma localidade do seu interesse através de uma requisição específica para isto (fluxo de dados **requisição de viajante**). De maneira análoga ao recurso criado para este fim no contexto das condições de tráfego, o usuário poderá utilizar um recurso chamado “Incidentes em uma Localidade”, sendo que a localidade é especificada conforme os interesses do usuário.

Assim, para atender ao requisito abordado nesta subseção, são criados os dois recursos mostrados na tabela 11.

Recurso	Informações envolvidas
Incidente	descrição, duração esperada, localização, número identificador, gravidade, data e hora do início, impacto causado ao trânsito e tipo do incidente
Incidentes em uma Localidade	lista dos incidentes vigentes em uma localidade de interesse

Tabela 11: Recursos extraídos do conjunto de dados para o requisito relativo a informações dos incidentes vigentes.

Com isso, define-se os recursos extraídos do conjunto de dados relativos ao primeiro requisito do ATIS de exemplo.

6.5.1.3 Informações vigentes sobre os serviços de transporte público

As informações sobre os serviços de transporte público constituem o último requisito do ATIS de exemplo e são divididas em quatro tipos: linhas de transporte público, itinerários, escalas de horários, tarifas e atrasos. E entre os sete fluxos de arquitetura selecionados, três estão relacionados as estas informações: **informação sobre o transporte público, informação da pontualidade dos horários de transporte público e requisição de viajante.**

Analisando estes fluxos de dados em busca do melhor encaixe para o requisito “linhas de transporte público” chega-se ao fluxo de dados **transit_routes_data**, que relaciona o nome de uma linha de transporte público (**transit_route_number**) com informações sobre seu itinerário (figura 53). Como neste momento o interesse é na “linha de transporte público” (os itinerários serão vistos a seguir), esta relação não é utilizada por enquanto. Assim, temos um recurso “Linha de Transporte Público” que possui um nome de identificação (fluxo de dados **transit_route_number**), conforme mostrado na tabela 12.

Passando aos itinerários (requisito 3.b), o fluxo de arquitetura **informação sobre o transporte público** apresenta o fluxo de dados **transit_route_segment_list** que contém uma lista ordenada de Trechos junto com o custo tarifário de cada um destes Trechos. Para este caso específico, o custo de cada trecho não é necessário e por isso esta informação não é utilizada.

Recurso	Informações envolvidas
Linha de Transporte Público	nome. Ex: 185 - UFSC Semidireto

Tabela 12: Recursos extraídos do conjunto de dados para o requisito relativo a informações vigentes sobre os serviços de transporte público - I.

Para associar esta lista ordenada de Trechos a uma Linha de Transporte é utilizada a relação dos fluxo de dados **transit_route_number** e **transit_route_segment_list**, conforme se observa na figura 53. Com isso chega-se ao recurso “Itinerário de uma Linha de Transporte Público”, que contém o nome da Linha de Transporte Público e a lista ordenada de trechos percorridos.

Atualizando a tabela de recursos para o requisito relativo a informações sobre o transporte público chega-se no que mostra a tabela 13.

Recurso	Informações envolvidas
Linha de Transporte Público	nome. Ex: 185 - UFSC Semidireto
Itinerário de uma Linha de Transporte Público	nome da linha de transporte público e lista ordenada de Trechos percorridos

Tabela 13: Recursos extraídos do conjunto de dados para o requisito relativo a informações vigentes sobre os serviços de transporte público - II.

Os pontos de paradas de uma Linha de Transporte Público estão presentes no fragmento da arquitetura NIA escolhido para este exemplo através do fluxo de dados **transit_route_stop_list** (figura 53), que é constituído por uma lista ordenada de pontos de parada (fluxo de dados **transit_route_stop_number**) associada a uma lista ordenada de Trechos. A associação entre os pontos de parada e os Trechos tem como objetivo localizá-los geograficamente. Um ponto de parada, então, é constituído pela sua identificação e pela sua localização (um Trecho).

As escalas de horários são realizadas através do fluxo de dados **transit_route_stop_data** que acrescenta duas informações à lista ordenada de pontos de parada de uma linha de transporte público: horário agendado de passagem por um ponto de parada (**transit_stop_scheduled_time**) e uma identificação para o conjunto destes horários de passagem.

Com isso, chega-se a três novos recursos relativos aos pontos de parada e horário de passagem em cada um deles para uma Linha de Transporte Público, são eles: “Ponto de Parada”, “Pontos de Parada de uma Linha de

Transporte Público” e “Escala de Horários”. A tabela 14 mostra os recursos obtidos até agora para o requisito relativo a informações sobre os serviços de transporte público.

Recurso	Informações envolvidas
Linha de Transporte Público	nome. Ex: 185 - UFSC Semidireto
Itinerário de uma Linha de T. P.	nome da linha de transporte público e lista ordenada de Trechos percorridos
Ponto de Parada	identificação do ponto de parada e a sua localização
Pontos de Parada de uma Linha de T. P.	nome da linha de transporte público e lista ordenada de Pontos de Parada
Escala de Horários de uma Linha de T. P.	nome da linha de transporte público, lista contendo: lista ordenada de Pontos de Parada e o horário de passagem em cada um deles

Tabela 14: Recursos extraídos do conjunto de dados para o requisito relativo a informações vigentes sobre os serviços de transporte público - III.

A modelagem das tarifas de transporte público partem do fluxo de dados **transit_fares** e possui o nome da linha de transporte público, o período de vigência da tarifa (finais de semana, feriado, dias úteis, dia, noite etc), o tipo de viajante (estudante, idoso, pessoas com deficiência etc) e o custo de cada Trecho do seu itinerário.

É interessante notar que o custo associado a uma viagem de transporte público se dá, através da NIA, pelo custo de cada Trecho percorrido pelo veículo. Para tornar o problema um pouco mais simples ainda que mantendo consistência com casos típicos de uso, para este exemplo foi considerado um único valor de custo para uma determinado caso de uso de linha de transporte público, levando em conta o período de vigência da tarifa e o tipo de viajante.

A partir destas informações chega-se ao recurso “Tarifa de uma Linha de T. P.” que contém, além do nome da linha de transporte público, o período de vigência, o tipo do viajante e o custo de uma viagem.

O último item entre os requisitos estipulados para informações sobre transporte público que foi analisado é relativo a informações sobre atrasos dos veículos de transporte. Com esta funcionalidade um viajante poderá se informar sobre o horário estimado de chegada do veículo de transporte escolhido (por exemplo um horário de uma linha de ônibus) até o ponto de

parada em que se encontra ou ainda o ponto de parada mais próximo do seu destino.

A arquitetura NIA aborda este requisito através do fluxo de arquitetura **informação da pontualidade dos horários de transporte público**, mostrado na figura 33, e que encapsula os fluxos de dados que compõem este tipo de informação, conforme mostra a tabela 15.

Fluxo de dados	Semântica
transit_route_number	nome da linha de transporte público.
transit_vehicle_identity	identificação do veículo de transporte público
transit_route_segment_number	identificação do Trecho referenciado
transit_vehicle_time	tempo estimado para chegar ao final do Trecho

Tabela 15: Fluxos de dados que representam uma informação relativa ao atraso de um veículo de transporte público.

Cabe observar que o tempo estimado se refere à chegada do veículo ao final de um Trecho pois, para este caso específico, a arquitetura NIA considera que haverá um ponto de Parada ao Final de cada Trecho. Entretanto, esta modelagem conflita com o que até agora foi observado e transformado em recursos, onde os Pontos de Parada fariam mais sentido como referência para os tempos estimados de chegada. Para então manter a consistência do projeto de recursos feito até agora, será utilizado um Ponto de Parada como referência ao invés de utilizar um Trecho e considerar que ao final de cada Trecho existe um Ponto de Parada.

Com estas informações chega-se então ao recurso “Tempo Estimado de Chegada de um Veículo de uma Linha de Transporte Público até um Ponto de Parada” e que contém uma menção para a Linha de Transporte Público, a identificação do veículo que está percorrendo esta linha e o tempo estimado para chegar até um Ponto de Parada específico.

O fluxo de arquitetura **requisição de viajante** (figura 38), já citado nas subseções anteriores, fornece uma função interessante para o usuário do ATIS de exemplo e que tem relação com os requisitos que envolvem informações sobre transporte público: realizar requisições personalizadas. O fluxo de dados em questão é o **transit_data_request** e permite que um viajante busque os serviços de transporte público que o leve de uma origem até um destino, satisfazendo ainda seus horários de saída e chegada ao destino.

Para possibilitar ao usuário do ATIS especificar esta viagem personalizada é necessário um novo recurso que saiba tratar estas informações e buscar as linhas de transporte público adequadas. O este novo recurso se chama “Linhas de T. P. para Viagem Personalizada”.

Entre os recursos criados até agora, a informação da localização de alguma coisa (um Trecho, Incidente, Ponto de Parada etc.) é comum a vários outros recursos. Se pensarmos no mundo real, uma localidade pode ser o ponto de encontro de vários eventos e coisas, ou seja, é uma região onde diversas coisas podem acontecer ou estarem acontecendo e talvez até influenciarem umas às outras. Observando por esta perspectiva, é interessante tornar esta informação um recursos endereçável, assim os recursos com referências para localizações iguais ou próximas podem ser interligados, formando uma teia de relações. Isto poderá permitir, por exemplo, que a partir da informação de tráfego de um trecho se saiba quais os pontos de ônibus mais próximos e através deles descobrir quais linhas de transporte público passam por ali. Este recurso será chamado “Localidade” e pode ser visto na tabela 16 junto com todos os recursos criados até agora.

Recurso	Informações envolvidas
Trecho	possui um nome ou identificação, um número de identificação único, tipo do trecho e sua localização
Condição de Tráfego de um Trecho	trecho, veículos/h, brecha entre veículos, ocupação, tamanho da fila e velocidade
Condições de Tráfego em uma localidade	lista de Condições de Tráfego para os trechos de uma localidade de interesse
Incidente	descrição, duração esperada, localização, número identificador, gravidade, data e hora do início, impacto causado ao trânsito e tipo do incidente
Incidentes em uma Localidade	lista de Incidentes Vigentes em uma localidade de interesse
Linha de Transporte Público	nome da linha de Transporte Público. Ex: 185 - UFSC Semidireto
Itinerário de uma Linha de T. P.	nome da linha de transporte público e lista ordenada de Trechos percorridos
Ponto de Parada	identificação e localização
Pontos de Parada de uma Linha de T. P.	nome da linha de transporte público e lista ordenada de Pontos de Parada
Escala de Horários de uma Linha de T. P.	nome da linha de transporte público, lista contendo: lista ordenada de Pontos de Parada e horário de passagem em cada um deles
Tarifa de uma Linha de T. P.	nome da linha de transporte público, período de vigência, tipo do viajante, custo da viagem
Tempo estimado de chegada até um P. P.	nome da linha de transporte público, identificação do veículo, ponto de parada, tempo estimado de chegada
Linhas de T. P para viagem personalizada	localização de partida, localização de destino, horário de partida desejado, horário de chegada desejado
Localidade	localização e referências para coisas que acontecem ou existem nesta localização

6.5.2 Nomear os Recursos através de URIs

Após definir os recursos, é necessário atribuir a cada um deles um endereço único na Web para permitir que sejam acessados e utilizados. Como visto no capítulo 3, a tecnologia da Web para definir estes endereços é o Identificador Uniforme de Recursos (URI).

Para o exemplo apresentado neste trabalho serão utilizados URIs no formato relativo, isto é, omitindo a parte que referencia o servidor específico que atende as requisições, simplificando a apresentação dos endereços atribuídos a cada recurso pois evita-se a repetição de uma informação que não tem grande relevância neste ponto.

A listagem a seguir apresenta os URIs atribuídos a cada um dos recursos junto com um exemplo de uso e uma descrição do exemplo.

Recurso: Trecho

URI: /trecho/{numeroDeIdentificaçãoDoTrecho}

Exemplo: /trecho/43

Descrição: trecho de número 43

Recurso: Condição de Tráfego de um Trecho

URI: /condiçõesDeTráfego/trecho/{numeroDeIdentificaçãoDoTrecho}

Exemplo: /condiçõesDeTráfego/trecho/43

Descrição: condições do tráfego no trecho de número 43

Recurso: Condições de Tráfego em uma localidade

URI: /condiçõesDeTráfego?localidade={latitude},{longitude}

Exemplo: /condiçõesDeTráfego?localidade=-27.59,-48.50

Descrição: condições do tráfego para a localidade situada em 27,59 graus de latitude sul e 48,50 graus de latitude leste

Recurso: Incidente

URI: /incidente/{numeroDeIdentificaçãoDoIncidente}

Exemplo: /incidente/58

Descrição: incidente com número de identificação 58

Recurso: Incidentes em uma Localidade

URI: /incidentes?localidade={latitude},{longitude}

Exemplo: /incidentes?localidade=-27.59,-48.50

Descrição: incidentes vigentes na localidade situada em 27,59 graus de latitude sul e 48,50 graus de latitude leste

Recurso: Linha de Transporte Público

URI: /linhaDeTransportePúblico/{nomeDaLinha}

Exemplo: /linhaDeTransportePúblico/185 - UFSC Semidireto

Descrição: Linha de Transporte Público com o nome 185 - UFSC Semidireto

Recurso: Itinerário de uma Linha de Transporte Público

URI: /linhaDeTransportePúblico/{nomeDaLinha}/itinerário

Exemplo: /linhaDeTransportePúblico/185 - UFSC Semidireto/itinerário

Descrição: Itinerário da linha 185 - UFSC Semidireto

Recurso: Ponto de Parada

URI: /pontoDeParada/{identificação}

Exemplo: /pontoDeParada/Av. Madre Benvenuta - 4

Descrição: ponto de parada com identificação “Av. Madre Benvenuta - 4”

Recurso: Pontos de Parada de uma Linha de Transporte Público

URI: /linhaDeTransportePúblico/{nomeDaLinha}/pontosDeParada

Exemplo: /linhaDeTransportePúblico/185 - UFSC Semidireto/pontosDeParada

Descrição: Pontos de Parada da linha 185 - UFSC Semidireto

Recurso: Escala de Horários de uma Linha de Transporte Público

URI: /linhaDeTransportePúblico/{nomeDaLinha}/horários

Exemplo: /linhaDeTransportePúblico/185 - UFSC Semidireto/horários

Descrição: Horários da linha 185 - UFSC Semidireto

Recurso: Tarifa de uma Linha de Transporte Público

URI: /linhaDeTransportePúblico/{nomeDaLinha}/tarifas

Exemplo: /linhaDeTransportePúblico/185 - UFSC Semidireto/tarifas

Descrição: Tarifas praticadas na linha 185 - UFSC Semidireto

Recurso: Tempo estimado de chegada até um Ponto de Parada

URI: /linhaDeTransportePúblico/{nomeDaLinha}/tempoEstimadoDeChegada

?destino={pontoDeParada}

Exemplo: /linhaDeTransportePúblico/185 - UFSC Semidireto/tempoEstimadoDeChegada
?destino=Terminal de Integração da Trindade

Descrição: Tempo estimado de chegada da linha 185 - UFSC Semidireto até o Terminal de Integração da Trindade

Recurso: Linhas de Transporte Público para viagem personalizada

URI: /linhasDeTransportePúblico
?saindoDe={latitude},{longitude}
&comDestino={latitude},{longitude}
&saindoEm={dataEHoraDePartida}
&chegandoEm={dataEHoraDaChegadaAoDestino}

Exemplo: /linhasDeTransportePúblico
?saindoDe=-27.59,-48.50
&comDestino=-27.39,-48.43
&saindoEm=10-01-2013 14:43
&chegandoEm=10-01-2013 16:00

Descrição: Todas as linhas de transporte público que passam primeiro pela localidade situada em -27.59,-48.50 por volta das 14:43h em 10/01/2013 e depois passam por -27.39,-48.43 por volta das 16h do mesmo dia

Recurso: Localidade

URI: /localidade
?pontosGeográficos={latitude},{longitude};{latitude},{longitude}...

Exemplo: /localidade?pontosGeográficos=-27.59,-48.50;-27.59,-49.50;-28.59,-48.50

Descrição: Eventos ou coisas disponíveis na área delimitada pelos pontos “-27.59,-48.50”, “-27.59,-49.50” e “-28.59,-48.50”

6.5.3 Definir o subconjunto da Interface Uniforme para cada Recurso

Nota-se que todos os recursos deste exemplo devem estar disponíveis à todos os usuários do sistema, sejam eles viajantes, administradores ou operadores para a obtenção de informações e portanto devem permitir a utilização do método GET. Os métodos HEAD e OPTIONS, também utilizados para obtenção de informações, podem ser disponibilizados a estes recursos. Já os métodos que permitem realizar modificações nas representações dos recursos (PUT, POST e DELETE) devem ser atribuídos apenas em casos específicos, podendo envolver ainda mecanismos de autenticação para protegê-los de modificações por pessoas não autorizadas.

Entre os recursos criados, cinco não precisarão dos métodos PUT, POST ou DELETE, pois as suas representações são criadas com base em resultados de algoritmos de busca e por isso não faz sentido alterar a representação destes recursos através da interface uniforme. Estes recursos são: “Condições de Tráfego em uma localidade”, “Incidentes em uma Localidade”, “Tempo estimado de chegada até um Ponto de Parada” e “Linhas de Transporte Público para viagem personalizada” e “Localidade”

Os nove recursos restantes precisarão dos métodos não seguros pois é necessário alimentar ATIS de exemplo com informações, que podem ter origem em instituições diferentes e independentes, para que sejam fornecidas aos viajantes. As instituições envolvidas neste processo são modeladas pela arquitetura NIA como os subsistemas: “Gerenciamento de Tráfego”, “Gerenciamento de Transporte Público”, “Gerenciamento de Emergências”, “Provedor de Serviços de Informação” e “Outro PSI”, tal como mostrado na figura 26.

Analisando estes subsistemas, seus fluxos de arquitetura e os recursos criados, chega-se à seguinte situação:

- O subsistema “Gerenciamento de Transporte Público” é responsável por manter as informações dos recursos “Linha de Transporte Público”, “Itinerário de uma Linha de Transporte Público” para cada linha de transporte público, cada “Ponto de Parada” existente, “Pontos de Parada de uma Linha de Transporte Público” para cada linha de transporte público, “Escala de Horários de uma Linha de Transporte Público” para cada linha de transporte público, e “Tarifa de uma Linha de Transporte Público” para cada linha de transporte público.
- O subsistema “Gerenciamento de Tráfego” é responsável por manter as informações dos recursos “Trecho” para todos os trechos disponíveis e “Condição de Tráfego de um Trecho” para todos os trechos disponíveis e “Incidente” para todos os incidentes sob sua responsabilidade.
- O subsistema “Gerenciamento de Emergências” é responsável por manter as informações do recurso “Incidente” para todos os incidentes sob sua responsabilidade.
- Os subsistemas “Provedor de Serviços de Informação” e “Outro PSI” podem atuar como qualquer um dos três subsistemas citados acima, exercendo papel ativo na manutenção das informações do ATIS, ou podem atuar como *gateways* (capítulo 3) entre as entidades que mantêm as informações e os viajantes, consumidores destas informações.

A listagem abaixo apresenta um resumo da aplicação dos métodos da Interface Uniforme a cada um dos recursos criados para o ATIS de exemplo.

Recurso: Trecho

Métodos: GET, HEAD, OPTIONS, PUT, DELETE

Recurso: Condição de Tráfego de um Trecho

Métodos: GET, HEAD, OPTIONS, PUT, DELETE

Recurso: Condições de Tráfego em uma localidade

Métodos: GET, HEAD, OPTIONS

Recurso: Incidente

Métodos: GET, HEAD, OPTIONS, PUT, DELETE

Recurso: Incidentes em uma Localidade

Métodos: GET, HEAD, OPTIONS

Recurso: Linha de Transporte Público

Métodos: GET, HEAD, OPTIONS, PUT, DELETE

Recurso: Itinerário de uma Linha de Transporte Público

Métodos: GET, HEAD, OPTIONS, PUT, DELETE

Recurso: Ponto de Parada

Métodos: GET, HEAD, OPTIONS, PUT, DELETE

Recurso: Pontos de Parada de uma Linha de Transporte Público

Métodos: GET, HEAD, OPTIONS, PUT, DELETE

Recurso: Escala de Horários de uma Linha de Transporte Público

Métodos: GET, HEAD, OPTIONS, PUT, DELETE

Recurso: Tarifa de uma Linha de Transporte Público

Métodos: GET, HEAD, OPTIONS, PUT, DELETE

Recurso: Tempo estimado de chegada até um Ponto de Parada

Métodos: GET, HEAD, OPTIONS

Recurso: Linhas de Transporte Público para viagem personalizada

Métodos: GET, HEAD, OPTIONS

Recurso: Localidade

Métodos: GET, HEAD, OPTIONS

6.5.4 Projetar as Representações e Ligações

Até este ponto foram projetados os recursos do ATIS de exemplo, atribuídos URIs a cada um deles e selecionado o subconjunto da interface uniforme que cada um deverá atender. O próximo passo consiste na definição das representações de cada um destes recursos, tanto aquelas que os servidores enviam aos clientes como as que os clientes enviam ao servidor.

As ligações hipermídia entre os recursos podem ser definidas durante a definição das representações ou como um passo posterior. Para este exemplo optou-se por criar as ligações hipermídia junto com a especificação das representações para evitar que a apresentação dos resultados se torne repetitiva.

Para criar as representações de um recurso é preciso entender qual o seu papel na aplicação sendo projetada, quais informações o recurso deve fornecer aos seus clientes e em quais formatos os clientes desejam trocar estas informações com o servidor. Neste exemplo o papel de cada recurso e as suas informações são provenientes das especificações fornecidas pela arquitetura de referência NIA. Resta então projetar como estas informações serão trocadas entre clientes e servidores.

O tipo de mídia escolhido para as representações foi o XML por ser um padrão de formato bastante conhecido e difundido, criado pelo *World Wide Web Consortium (W3C)* - entidade responsável pelo desenvolvimento dos padrões da Web - e por possuir algumas características interessantes: é flexível, permitindo que se crie documentos dirigidos ao domínio da aplicação; pode ser facilmente lido por pessoas assim como por máquinas e possui uma vasta gama de ferramentas e bibliotecas para diversas plataformas e linguagens de programação, além de ter grande aceitação na Web e ser recomendado pela Arquitetura Orientada a Recursos (HAROLD; MEANS, 2002).

Para criar as representações neste formato serão analisadas a semântica do recurso e as informações que ele deve fornecer, baseado na especificação da arquitetura NIA. Com isso foi possível estabelecer os nomes para as marcações XML (os contêineres de informação) e a organização destas marcações dentro de cada documento. É desejável que o nome dado a cada marcação identifique claramente que tipo de informação ela encapsula para facilitar a leitura e entendimento do documento. Além de seus valores (dados), cada marcação poderá possuir uma propriedade “href” representando um ligação hipermídia para outro recurso. Esta forma de expressar ligações é a mesma utilizado em documentos HTML e outros formatos derivados do XML tais como XHTML, Atom e SVG.

A listagem 6.1 apresenta um exemplo de documento XML elaborado desta maneira e mostra os elementos com nomes descritivos (“umXMLDeE-

xemplo”, “umaMarcaçãoApenasComValor” e “umaMarcaçãoComLigação”), os valores encapsulados pelos elementos (“aqui vai alguma informação” e “aqui vai outra informação”) e a propriedade “href” para expressar ligações.

```

1 <umXMLDeExemplo >
2   <umaMarcaçãoApenasComValor >
3     aqui vai alguma informação
4   </umaMarcaçãoApenasComValor >
5   <umaMarcaçãoComLigação href="/umaligacao">
6     aqui vai outra informação
7   </umaMarcaçãoComLigação >
8 </umXMLDeExemplo >

```

Listing 6.1: Exemplo de documento XML para representação

A partir dos recursos criados e das informações extraídas da arquitetura NIA, conforme mostra a tabela 16, são definidas as representações XML de cada recurso, conforme é apresentado a seguir.

Recurso: Trecho

Ligações: Localidade do Trecho

Representação:

```

1 <trecho >
2   <identificação></identificação >
3   <tipo></tipo >
4   <localização href="" >
5     <pontoGeográfico></pontoGeográfico >
6     <pontoGeográfico></pontoGeográfico >
7     ...
8   </localização >
9 </trecho >

```

Recursos: Condição de Tráfego de um Trecho e Condições de Tráfego em uma localidade

Ligações: Para o Trecho o qual a Condição de Tráfego se refere

Representação:

```

1 <condiçõesDeTráfego >
2   <trecho href=""></trecho >
3   <veículosPorHora ></veículosPorHora >
4   <brecha ></brecha >
5   <ocupação ></ocupação >
6   <tamanhoDaFila ></tamanhoDaFila >
7   <velocidade ></velocidade >

```

```
8 </condiçõesDeTráfego>
```

Recurso: Incidente

Ligações: Localidade do Incidente

Representação:

```
1 <incidente>
2   <identificação></identificação>
3   <descrição></descrição>
4   <localização href="">
5     <pontoGeográfico></pontoGeográfico>
6     <pontoGeográfico></pontoGeográfico>
7     ...
8   </localização>
9   <duraçãoEsperada></duraçãoEsperada>
10  <gravidade></gravidade>
11  <dataEHoraDeInicio></dataEHoraDeInicio>
12  <impactoAoTrânsito></impactoAoTrânsito>
13  <tipo></tipo>
14 </incidente>
```

Recurso: Incidentes em uma Localidade

Ligações: Para os Incidentes que afetam as proximidades da localidade especificada

Representação:

```
1 <incidentes>
2   <localização href="">
3     <pontoGeográfico></pontoGeográfico>
4     <pontoGeográfico></pontoGeográfico>
5     ...
6   </localização>
7   <incidente href=""><incidente>
8   <incidente href=""><incidente>
9   ...
10 </incidentes>
```

Recurso: Linha de Transporte Público

Ligações: Para seu Itinerário, seus Pontos de Parada, sua Escala de Horários e suas Tarifas

Representação:

```

1 <linhaDeTransportePúblico >
2   <nome ></nome >
3   </itinerário href="" >
4   </pontosDeParada href="" >
5   </escalaDeHorários href="" >
6   </tarifas href="" >
7 </linhaDeTransportePúblico >

```

Recurso: Itinerário de uma Linha de Transporte Público

Ligações: Para os Trechos que fazem parte do itinerário

Representação:

```

1 <itinerárioDeUmaLinhaDeTransportePúblico >
2   <linhaDeTransportePúblico
3     href="" ></linhaDeTransportePúblico >
4   <trechos >
5     <trecho href="" ></trecho >
6     <trecho href="" ></trecho >
7     ...
8   </trechos >
9 </itinerárioDeUmaLinhaDeTransportePúblico >

```

Recurso: Ponto de Parada

Ligações: Linhas de Transporte Público que utilizam o Ponto de Parada

Representação:

```

1 <pontoDeParada >
2   <identificação ></identificação >
3   <localização href="" >
4     <pontoGeográfico ></pontoGeográfico >
5     <pontoGeográfico ></pontoGeográfico >
6     ...
7   </localização >
8   <linhasDeTransportePúblico >
9     <linhaDeTransportePúblico
10      href="" ></linhaDeTransportePúblico >
11     <linhaDeTransportePúblico
12      href="" ></linhaDeTransportePúblico >
13     ...
14   </linhasDeTransportePúblico >
15 </pontoDeParada >

```

Recurso: Pontos de Parada de uma Linha de Transporte Público

Ligações: Para a Linha de Transporte Público especificada e para cada um dos seus Pontos de Parada

Representação:

```

1 <pontosDeParadaDeUmaLinhaDeTransportePúblico >
2   <linhaDeTransportePúblico
3     href="" ></linhaDeTransportePúblico >
4   <pontosDeParada >
5     <pontoDeParada href="" ></pontoDeParada >
6     <pontoDeParada href="" ></pontoDeParada >
7     ...
8   </pontosDeParada >
9 </pontosDeParadaDeUmaLinhaDeTransportePúblico >

```

Recurso: Escala de Horários de uma Linha de Transporte Público

Ligações: Para a Linha de Transporte Público especificada e para cada um dos seus Pontos de Parada

Representação:

```

1 <horáriosDeUmaLinhaDeTransportePúblico >
2   <linhaDeTransportePúblico
3     href="" ></linhaDeTransportePúblico >
4   <horárioDePassagemEmPontoDeParada >
5     <pontoDeParada href="" ></pontoDeParada >
6     <horário ></horário >
7   </horárioDePassagemEmPontoDeParada >
8   <horárioDePassagemEmPontoDeParada >
9     <pontoDeParada href="" ></pontoDeParada >
10    <horário ></horário >
11  </horárioDePassagemEmPontoDeParada >
12  ...
13 </horáriosDeUmaLinhaDeTransportePúblico >

```

Recurso: Tarifa de uma Linha de Transporte Público

Ligações: Para a Linha de Transporte Público especificada

Representação:

```

1 <tarifasDeTransportePúblico>
2   <linhaDeTransportePúblico
3     href=""></linhaDeTransportePúblico>
4   <período></período>
5   <tipoDoViajante></tipoDoViajante>
6   <custoDaViagem></custoDaViagem>
7 </tarifasDeTransportePúblico>

```

Recurso: Tempo estimado de chegada até um Ponto de Parada

Ligações: Para a Linha de Transporte Público especificada e para o Ponto de Parada do destino desejado

Representação:

```

1 <tempoEstimadoDeChegadaEmPontoDeParada>
2   <linhaDeTransportePublico
3     href=""></linhaDeTransportePublico>
4   <veiculo></veiculo>
5   <pontoDeParadaDoDestino
6     href=""></pontoDeParadaDoDestino>
7   <tempoEstimadoDeChegada></tempoEstimadoDeChegada>
8 </tempoEstimadoDeChegadaEmPontoDeParada>

```

Recurso: Linhas de Transporte Público para viagem personalizada

Ligações: Para as Linhas de Transporte Público encontradas que satisfazem os parâmetros fornecidos

Representação:

```

1 <linhasDeTransportePublico>
2   <saindoDe href="">
3     <pontoGeográfico></pontoGeográfico>
4   </saindoDe>
5   <comDestino href="">
6     <pontoGeográfico></pontoGeográfico>
7   </comDestino>
8   <saindoEm>13/01/2013 15:30</saindoEm>
9   <chegandoEm>13/01/2013 17:00</chegandoEm>
10  <linhaDeTransportePublico
11    href="/linhaDeTransportePublico/182 - UFSC
12    Semidireto">
13    182 - UFSC Semidireto
14  </linhaDeTransportePublico>
15  <linhaDeTransportePublico
16    href=""></linhaDeTransportePublico>

```



```

14     ...
15 </linhasDeTransportePublico>

```

Recurso: Localidade

Ligações: Trechos, Pontos de Parada, Incidentes

Representação:

```

1 <localidade>
2   <pontosGeográficos>
3     <pontoGeográfico></pontoGeográfico>
4     <pontoGeográfico></pontoGeográfico>
5     ...
6   </pontosGeográficos>
7   <trechos>
8     </trecho href="">
9     </trecho href="">
10    ...
11  </trechos>
12  <incidentes>
13    </incidente href="">
14    </incidente href="">
15    ...
16  </incidentes>
17  <pontosDeParada>
18    </pontoDeParada href="">
19    </pontoDeParada href="">
20    ...
21  </pontosDeParada>
22 </localidade>

```

A partir das ligações definidas nas representações dos recursos foi criada a figura 40 para ilustrar, através de grafos, como estas ligações estão organizadas e permitir que seja visualizado os caminhos da navegação Web que um usuário deste ATIS poderá percorrer.

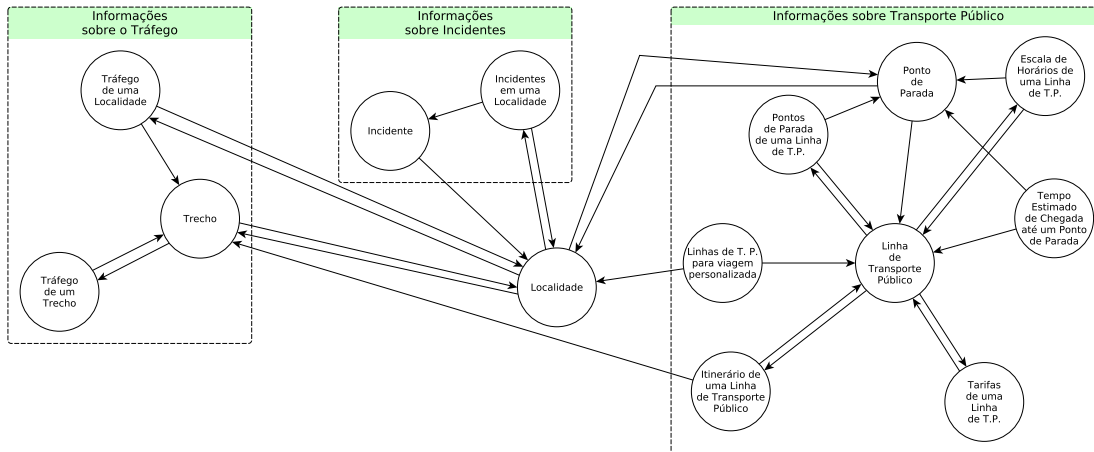


Figura 40: Recursos criados a partir da arquitetura NIA e as ligações hipermídia definida entre eles

6.5.5 Definir as Respostas fornecidas aos Clientes

Após definir os recursos, seus endereços e especificações das suas representações, é necessário estabelecer como será indicado ao cliente a maneira como o servidor tratou cada requisição, informando se ocorreu tudo bem, se um recurso foi criado ou não foi encontrado, entre outras situações. Para isto, o protocolo HTTP oferece 40 códigos de status, que podem ser divididos em dois grupos: códigos no formato 1xx e 2xx representam condições normais de resposta e indicam que uma requisição foi compreendida e aceita pelo servidor e foi, está ou será processada de acordo; códigos no formato 3xx, 4xx ou 5xx indicam a ocorrência de algum problema no conteúdo ou no processamento da requisição e informam, quando necessário, quais medidas o cliente deve tomar.

A atribuição dos códigos de status adequados a cada resposta está relacionada a requisição feita pelo cliente, envolvendo a representação enviada, o endereço especificado (URI), junto com seus parâmetros, e o método da interface uniforme utilizado. A partir das especificações destes itens, feitas nas seções anteriores, sabe-se quais são os endereços corretos, o formato e o conteúdo de uma representação válida para um determinado recurso e como os parâmetros utilizados nos URIs devem ser especificados. Com isso, a identificação das condições de operação de um recurso pode ser expressa através de padrões de requisições.

Nas subseções seguintes serão analisadas as situações que poderão ocorrer na manipulação dos recursos e criados padrões de requisição contendo estas situações, o código de status que deve ser utilizando e quais recursos se

enquadram em cada caso. Esta análise será feita em duas etapas coincidentes com os dois grupos de códigos de status: condições normais de resposta e condições de erro.

Como visto no capítulo 3, os métodos GET, HEAD e OPTIONS são ditos seguros e idempotentes. Além disso, tem funções com propósito parecido: fornecer algum tipo de representação de um recurso. O método GET, o caso mais comum, fornece a representação do recurso no tipo de mídia solicitado pelo cliente. O HEAD funciona igual ao GET porém a representação enviada ao cliente contém apenas os metadados da resposta (cabecçalhos HTTP, código de status, tipo de mídia etc) e suprime o corpo da representação, ou seja, o documento no formato especificado pelo tipo de mídia. Para o método OPTIONS, a representação é padronizada para conter uma lista dos métodos da interface uniforme disponíveis para o recurso.

Embora a representação utilizada nestes três métodos sejam diferentes, o tratamento dado à requisição, do aspecto dos códigos de status, é o mesmo. Por exemplo, se um determinado recurso suporta os métodos GET e HEAD e a resposta para uma determinada requisição GET tem o código de status “200”, ao fazer a mesma requisição porém utilizando o método HEAD o código de status também será “200”. Isso permite que sejam utilizados os mesmos códigos de status entre requisições onde a diferença é apenas o método utilizado, ou seja, tanto o URI quanto os parâmetros enviados pelo cliente são os mesmos. Por isso, os métodos GET, HEAD e OPTIONS serão apresentados no mesmo grupo de padrões de requisição, como se fosse um só método.

6.5.5.1 Condições normais para os métodos GET, HEAD e OPTIONS

Padrão de requisição: URI com fragmentos variáveis válidos e recurso existente

Pré-requisitos: Os fragmentos variáveis do URI foram preenchidos
E o URI resultante aponta para um recurso existente
E o recurso aceita o método especificado

Código de Status: 200 OK

Exemplo de padrão de URI: /trecho/{numeroDeIdentificacaoDoTrecho}

Exemplo concreto: /trecho/43

Recursos: Trecho, Condição de Tráfego de um Trecho, Incidente, Linha de Transporte Público, Itinerário de uma Linha de Transporte Público, Ponto de Parada, Pontos de Parada de uma Linha de

Transporte Público, Escala de Horários de uma Linha de Transporte Público, Tarifa de uma Linha de Transporte Público

Padrão de requisição: URI com variáveis de consulta para fornecer parâmetros a algoritmos

Pré-requisitos: As variáveis de consulta foram preenchidas corretamente

E o URI aponta para um recurso existente

E o recurso aceita o método especificado

Código de Status: 200 OK

Exemplo de padrão de URI: /condiçõesDeTráfego?localidade={latitude},{longitude}

Exemplo concreto de URI: /condiçõesDeTráfego?localidade=-27.59,-48.50

Recursos: Condições de Tráfego em uma Localidade, Incidentes em uma Localidade, Tempo estimado de chegada até um Ponto de Parada, Linhas de Transporte Público para viagem personalizada, Localidade

6.5.5.2 Condições normais para o método PUT

Para requisições através do método PUT

Padrão de requisição: Criar recurso que ainda não existe com URI com fragmentos variáveis válidos e representação enviada pelo cliente com tipo de mídia e conteúdo corretos

Pré-requisitos: O recurso ainda não existe

E o URI especificado está correto e é aceito

E a representação enviada pelo cliente possui tipo de mídia aceito

E a representação enviada pelo cliente está no formato correto e de acordo com o tipo de mídia especificado

E o recurso suporta o método PUT

E credenciais de acesso são especificadas e são válidas

Código de Status: 201 Created

Exemplo de padrão de URI: /trecho/{numeroDeIdentificaçãoDoTrecho}

Exemplo concreto de URI: /trecho/43

Recursos: Trecho, Condição de Tráfego de um Trecho, Incidente, Linha de Transporte Público, Ponto de Parada, Pontos de Parada de uma Linha de Transporte Público, Escala de Horários de uma Linha de Transporte Público, Tarifa de uma Linha de Transporte Público

Padrão de requisição: Atualizar recurso existente com representação enviada pelo cliente com tipo de mídia e conteúdo corretos

Pré-requisitos: O recurso já existe no URI especificado

E a representação enviada pelo cliente possui tipo de mídia aceito

E a representação enviada pelo cliente está no formato correto e de acordo com o tipo de mídia especificado

E o recurso suporta o método PUT

E credenciais de acesso são especificadas e são válidas

Código de Status: 200 OK

Recursos: Trecho, Condição de Tráfego de um Trecho, Incidente, Linha de Transporte Público, Ponto de Parada, Pontos de Parada de uma Linha de Transporte Público, Escala de Horários de uma Linha de Transporte Público, Tarifa de uma Linha de Transporte Público

6.5.5.3 Condições normais para o método DELETE

Padrão de requisição: Remover um recurso existente

Pré-requisitos: O recurso já existe no URI especificado

E o recurso suporta o método DELETE

E credenciais de acesso são especificadas e são válidas

Código de Status: 200 OK

Recursos: Trecho, Condição de Tráfego de um Trecho, Incidente, Linha de Transporte Público, Ponto de Parada, Pontos de Parada de uma Linha de Transporte Público, Escala de Horários de uma Linha de Transporte Público, Tarifa de uma Linha de Transporte Público

Padrão de requisição: Remover um recurso que não existe mas que o URI especificado poderia ser válido

Pré-requisitos: O recurso não existe no URI especificado

E se o recurso existisse, o URI especificado seria válido

E se o recurso existisse, suportaria o método DELETE
E credenciais de acesso são especificadas e são válidas

Código de Status: 200 OK

Recursos: Trecho, Condição de Tráfego de um Trecho, Incidente, Linha de Transporte Público, Ponto de Parada, Pontos de Parada de uma Linha de Transporte Público, Escala de Horários de uma Linha de Transporte Público, Tarifa de uma Linha de Transporte Público

6.5.5.4 Condições de erro para os métodos GET, HEAD e OPTIONS

Padrão de requisição: URI com fragmentos variáveis válidos e recurso não existe

Pré-requisitos: Os fragmentos variáveis do URI foram preenchidos
E o URI resultante aponta para um recurso que não existe

Código de Status: 404 Not Found

Recursos: Trecho, Condição de Tráfego de um Trecho, Incidente, Linha de Transporte Público, Itinerário de uma Linha de Transporte Público, Ponto de Parada, Pontos de Parada de uma Linha de Transporte Público, Escala de Horários de uma Linha de Transporte Público, Tarifa de uma Linha de Transporte Público

Padrão de requisição: Cliente solicita um tipo de mídia que o recurso não pode fornecer

Pré-requisitos: O URI fornecido pelo cliente aponta para um recurso existente
E o recurso solicitado não pode oferecer nenhum dos tipos de mídia solicitados pelo cliente

Código de Status: 406 Not Acceptable

Recursos: Todos os recursos

Padrão de requisição: Servidor falha em responder por algum problema interno, sem relação com o cliente ou sua requisição

Pré-requisitos: O URI fornecido pelo cliente aponta para um recurso existente
E a requisição feita pelo cliente é válida e correta
E o servidor não consegue atender a solicitação do cliente por uma falha interna

Código de Status: 500 Internal Server Error

Recursos: Todos os recursos

6.5.5.5 Condições de erro para o método PUT

Padrão de requisição: Envio de uma representação com tipo de mídia correto porém com conteúdo inválido

Pré-requisitos: O cliente possui uma representação a ser enviada a um recurso

E o URI do recurso especificado está correto e é aceito

E a representação enviada pelo cliente possui tipo de mídia aceito

E a representação enviada pelo cliente não está no formato correto

E o recurso suporta o método PUT

E credenciais de acesso são especificadas e são válidas

Código de Status: 400 Bad Request

Recursos: Trecho, Condição de Tráfego de um Trecho, Incidente, Linha de Transporte Público, Ponto de Parada, Pontos de Parada de uma Linha de Transporte Público, Escala de Horários de uma Linha de Transporte Público, Tarifa de uma Linha de Transporte Público

Padrão de requisição: Envio de uma representação com tipo de mídia não aceito

Pré-requisitos: O cliente possui uma representação a ser enviada a um recurso

E o URI do recurso especificado está correto e é aceito

E a representação enviada pelo cliente possui tipo de mídia não aceito

E o recurso suporta o método PUT

E credenciais de acesso são especificadas e são válidas

Código de Status: 400 Bad Request

Recursos: Trecho, Condição de Tráfego de um Trecho, Incidente, Linha de Transporte Público, Ponto de Parada, Pontos de Parada de uma Linha de Transporte Público, Escala de Horários de uma Linha de Transporte Público, Tarifa de uma Linha de Transporte Público

Padrão de requisição: Envio de uma representação para um recurso com credenciais de acesso inválidas ou não especificadas

Pré-requisitos: O cliente possui uma representação a ser enviada a um recurso

E o URI do recurso especificado está correto e é aceito

E o recurso suporta o método PUT

E credenciais de acesso não são especificadas ou são inválidas

Código de Status: 401 Unauthorized

Recursos: Trecho, Condição de Tráfego de um Trecho, Incidente, Linha de Transporte Público, Ponto de Parada, Pontos de Parada de uma Linha de Transporte Público, Escala de Horários de uma Linha de Transporte Público, Tarifa de uma Linha de Transporte Público

Padrão de requisição: Envio de uma representação para um recurso com padrão de URI que não faz parte do sistema

Pré-requisitos: O cliente possui uma representação a ser enviada a um recurso

E o URI do recurso especificado não faz parte dos padrões definidos no sistema

Código de Status: 405 Method Not Allowed

Recursos: Trecho, Condição de Tráfego de um Trecho, Incidente, Linha de Transporte Público, Ponto de Parada, Pontos de Parada de uma Linha de Transporte Público, Escala de Horários de uma Linha de Transporte Público, Tarifa de uma Linha de Transporte Público

Padrão de requisição: Servidor falha em responder por algum problema interno, sem relação com o cliente ou sua requisição

Pré-requisitos: O URI fornecido pelo cliente aponta para um recurso existente

E a requisição feita pelo cliente é válida e correta

E credenciais de acesso são especificadas e são válidas

E o servidor não consegue atender a solicitação do cliente por uma falha interna

Código de Status: 500 Internal Server Error

Recursos: Trecho, Condição de Tráfego de um Trecho, Incidente, Linha de Transporte Público, Ponto de Parada, Pontos de Parada

de uma Linha de Transporte Público, Escala de Horários de uma Linha de Transporte Público, Tarifa de uma Linha de Transporte Público

6.5.5.6 Condições de erro para o método DELETE

Padrão de requisição: Tentar remover um recurso com credenciais de acesso inválidas ou não especificadas

Pré-requisitos: O URI do recurso especificado está correto e é aceito
E credenciais de acesso não são especificadas ou são inválidas

Código de Status: 401 Unauthorized

Recursos: Trecho, Condição de Tráfego de um Trecho, Incidente, Linha de Transporte Público, Ponto de Parada, Pontos de Parada de uma Linha de Transporte Público, Escala de Horários de uma Linha de Transporte Público, Tarifa de uma Linha de Transporte Público

Padrão de requisição: Tentar remover um recurso com padrão de URI que não faz parte do sistema

Pré-requisitos: O URI do recurso especificado não faz parte dos padrões definidos no sistema

Código de Status: 405 Method Not Allowed

Recursos: Trecho, Condição de Tráfego de um Trecho, Incidente, Linha de Transporte Público, Ponto de Parada, Pontos de Parada de uma Linha de Transporte Público, Escala de Horários de uma Linha de Transporte Público, Tarifa de uma Linha de Transporte Público

Padrão de requisição: Servidor falha em responder por algum problema interno, sem relação com o cliente ou sua requisição

Pré-requisitos: O URI fornecido pelo cliente é válido
E a requisição feita pelo cliente é válida e correta
E credenciais de acesso são especificadas e são válidas
E o servidor não consegue atender a solicitação do cliente por uma falha interna

Código de Status: 500 Internal Server Error

Recursos: Trecho, Condição de Tráfego de um Trecho, Incidente, Linha de Transporte Público, Ponto de Parada, Pontos de Parada de uma Linha de Transporte Público, Escala de Horários de uma Linha de Transporte Público, Tarifa de uma Linha de Transporte Público

6.6 Conclusão

Neste capítulo foi aplicado o método proposto previamente para a obtenção de uma arquitetura orientada a recursos para um ATIS baseado em NIA a partir de um conjunto de requisitos. A solução apresentada permite o uso da Web como plataforma para a construção de ITS de acordo com a NIA, integrando seus componentes e disponibilizando serviços aos usuários da infraestrutura de transportes.

A arquitetura orientada a recursos obtida consiste de um conjunto de recursos endereçáveis através de URIs e com representações e ligações hipermídia definidas, assim como a maneira como cada um destes recursos deve se comportar frente a várias situações de uso.

7 Conclusão

Neste trabalho foi elaborado um método de análise da arquitetura de referência NIA para adoção da Web, através do estilo arquitetônico REST e da Arquitetura Orientada a Recursos, como plataforma de sistemas heterogêneos e distribuídos para o desenvolvimento de ITS baseados em arquiteturas regionais derivadas da NIA. O método apresentado permitiu, baseado em requisitos de ITS, a obtenção de um conjunto de dados a partir da arquitetura de referência NIA. Ele então pode ser aplicado ao método da Arquitetura Orientada a Recursos a fim de se projetar Sistemas Inteligentes de Transportes, de acordo com esta arquitetura de referência e possuindo as características e o estilo da Web.

Como estudo de caso, foi realizada a derivação de uma arquitetura regional personalizada para satisfazer a necessidades específicas de um conjunto de requisitos para a implantação de um ATIS para o fornecimento de informações sobre condições de trânsito, serviços de transporte público e incidentes aos usuários da infraestrutura de transportes. Nestes sistemas, tanto a origem quanto o destino das informações são distribuídos, fazendo com que equipamentos de campo, usuários, operadores e sistemas de gerência necessitem produzir, compartilhar e processar uma grande variedade de informações e em torno de um objetivo comum: aumentar a eficiência e a segurança da mobilidade e ainda diminuir custos de operação.

Os resultados poderão auxiliar as instituições, pessoas e comunidades envolvidas no projeto e na implantação de ITS regionais baseados em arquiteturas de referência para ITS, mais especificamente a NIA, oferecendo uma maneira de como inseri-los na Web e promovendo, assim, sua utilização através de mecanismos abertos, amplamente conhecidos e difundidos na Internet.

Sugere-se, para trabalhos futuros, analisar os tipos de mídia existentes e o projeto de novos tipos de mídia específicos para utilização em casos de uso típicos de ITS. Também é possível analisar outras arquiteturas de referência para ITS afim de identificar casos típicos de uso e projetar uma arquitetura orientada a recursos genérica para ITS, bem como analisar outros casos de uso da arquitetura de referência NIA, para obter uma arquitetura orientada a recursos capaz de satisfazer todos os seus requisitos.

Referências Bibliográficas

ANDERSON, K. M. Integrating open hypermedia systems with the world wide web. In: *Proceedings of the eighth ACM conference on Hypertext*. New York, NY, USA: ACM, 1997. (HYPERTEXT '97), p. 157–166. ISBN 0-89791-866-5. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/267437.267454>>.

BERNERS-LEE, T. Www: past, present, and future. *Computer*, v. 29, n. 10, p. 69–77, oct 1996. ISSN 0018-9162.

CAMPBELL, P. et al. Pathfinder: Oklahoma's advanced traveler information system. In: *Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2011 14th International IEEE Conference on*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 402–407. ISSN 2153-0009.

CONROY, P. et al. Intelligent transportation systems. *Public Works Management Policy*, v. 5, n. 1, 2000. Disponível em: <<http://pwm.sagepub.com/content/5/1/3.abstract>>.

DEVELOPING Traveler Information Systems Using the National ITS Architecture. [S.l.]: U. S. Department of Transportation, 1998.

FIELDING, R. *Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures*. Tese (Doutorado) — University of California, 2000.

FIELDING, R. T. et al. *Hypertext Transfer Protocol — HTTP/1.1. Internet Draft Standard*. [S.l.: s.n.], 1999.

FIELDING, R. T.; TAYLOR, R. N. Principled design of the modern web architecture. *ACM Trans. Internet Technol.*, ACM, New York, NY, USA, v. 2, p. 115–150, May 2002. ISSN 1533-5399. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/514183.514185>>.

FIELDING, R. T. et al. Web-based development of complex information products. *Commun. ACM*, ACM, New York, NY, USA, v. 41, p. 84–92, August 1998. ISSN 0001-0782. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/280324.280337>>.

FIGUEIREDO, L. et al. Towards the development of intelligent transportation systems. In: *Intelligent Transportation Systems, 2001. Proceedings. 2001 IEEE*. [S.l.: s.n.], 2001. p. 1206–1211.

GHOSH, S.; LEE, T. S. *Intelligent Transportation Systems: New Principles and Architectures (Mechanical Engineering Series)*. [S.l.]: CRC Press, 2000. ISBN 0849300673.

GHOSH, S.; LEE, T. S. *Intelligent Transportation Systems: Smart and Green Infrastructure Design, Second Edition (Mechanical Engineering Series)*. [S.l.]: CRC Press, 2010. ISBN 1439835187.

HAROLD, E. R.; MEANS, W. S. *XML in a nutshell*. Sebastopol, CA, USA: O'Reilly & Associates, Inc., 2002. ISBN 0-596-00292-0.

HUCK, R. et al. A low-cost distributed control architecture for intelligent transportation systems deployment in the state of oklahoma. In: *Intelligent Transportation Systems, 2005. Proceedings. 2005 IEEE*. [S.l.: s.n.], 2005.

ITS-ARAB ARCHITECTURE WORKING GROUP. *Survey of Existing ITS Architectures*. Setembro 2009.

JAMES, R.; DATE, J.; MCBRIDE, C. *Framework for a national intelligent transport systems architecture*. Wellington, N.Z: New Zealand Transport Agency, 2010. ISBN 9780478352931.

KUMAR, P.; REDDY, D.; SINGH, V. Intelligent transport system using gis. In: *Map India 2003*. [s.n.], 2003. Disponível em: <<http://www.gisdevelopment.net/application/utility/transport/pdf/164.pdf>>.

LEVINSON, D. *The Value of Advanced Traveler Information Systems for Route Choice*. University of Minnesota: Nexus Research Group, 2003. Disponível em: <<http://ideas.repec.org/p/nex/wpaper/atis.html>>.

LEVINSON, D. M.; GILLEN, D.; CHANG, E. *Assessing the Benefits and Costs of Intelligent Transportation Systems: The Value of Advanced Traveler Information Systems*. [S.l.], 1999. Disponível em: <<http://EconPapers.repec.org/RePEc:cdl:itsrrp:qt9m8534tc>>.

PRESSMAN, R. S. *Software Engineering: A Practitioner's Approach*. [S.l.]: McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 2004.

RICHARDSON, L.; RUBY, S. *RESTful Web Services*. 1. ed. Sebastopol: O'Reilly Media, Inc, 2007.

SILVA E. L. D.; MENEZES, E. M. *Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação*. Florianópolis: Editora da UFSC, 2005.

- STEINBERG, B. *A Look into Regional ITS Architecture*. National Association of Regional Councils, 2006. Disponível em: <[http://narc.org/uploads/File/Regional Architecture.pdf](http://narc.org/uploads/File/Regional%20Architecture.pdf)>.
- STIRBU, V. A restful architecture for adaptive and multi-device application sharing. In: *Proceedings of the First International Workshop on RESTful Design*. New York, NY, USA: ACM, 2010. (WS-REST '10), p. 62–65. ISBN 978-1-60558-959-6. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1798354.1798388>>.
- TARGA, F.; KHATTAK, A. J.; YIM, Y. Understanding access and use of dynamic travel information. *IGERT Conference 2003*, 2003.
- TEIXEIRA, G. A. *Questão do Método na Investigação Científica*. São Paulo: FEA/USP, 2007.
- U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. *National ITS Architecture: ATIS01 - Broadcast Traveler Information*. Disponível em: <<http://www.iteris.com/itsarch/html/mp/mpatis01.htm>>. Acesso em: 5 jan. 2013.
- U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. *National ITS Architecture: ATIS02 - Interactive Traveler Information*. Disponível em: <<http://www.iteris.com/itsarch/html/mp/mpatis02.htm>>. Acesso em: 5 jan. 2013.
- U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. *National ITS Architecture: ATIS03 - Autonomous Route Guidance*. Disponível em: <<http://www.iteris.com/itsarch/html/mp/mpatis03.htm>>. Acesso em: 5 jan. 2013.
- U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. *National ITS Architecture: Service Package Legend*. Disponível em: <<http://www.iteris.com/itsarch/html/mp/mplegend.htm>>. Acesso em: 24 fev. 2012.
- U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. *Data Fusion For Delivering Advanced Traveler Information Services*. [S.l.], Maio 2003.
- U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. *ITS User Services Document*. Washington, 2005.
- U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. *National ITS Architecture Mission Definition*. Washington, 2007.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. *Key Concepts of the National ITS Architecture*. Washington, 2012a.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. *National ITS Architecture*. 2012b. Disponível em: <<http://www.iteris.com/itsarch>>. Acesso em: 09 mar. 2012.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. *National ITS Architecture: Architecture Layers*. 2012c. Disponível em: <<http://www.iteris.com/itsarch/html/archlayers/archlayers.htm>>. Acesso em: 09 mar. 2012.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. *National ITS Architecture: Architecture Use*. 2012d. Disponível em: <<http://www.iteris.com/itsarch/html/archuse/archuse.htm>>. Acesso em: 09 mar. 2012.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. *National ITS Architecture Executive Summary*. Washington, 2012e.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. *National ITS Architecture: Glossary*. 2012f. Disponível em: <<http://www.iteris.com/itsarch/html/glossary/glossary-a.htm>>. Acesso em: 09 mar. 2012.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. *National ITS Architecture: Institutional Layer*. 2012g. Disponível em: <<http://www.iteris.com/itsarch/html/archlayers/institutionallayer.htm>>. Acesso em: 09 mar. 2012.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. *National ITS Architecture Logical Architecture - Volume I Description*. Washington, 2012h.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. *National ITS Architecture Physical Architecture*. Washington, 2012i.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. *National ITS Architecture Service Packages*. Washington, 2012j.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. *National ITS Architecture: Transportation Layer*. 2012k. Disponível em: <<http://www.iteris.com/itsarch/html/archlayers/transportationlayer.htm>>. Acesso em: 09 mar. 2012.

VINOSKI, S. Demystifying restful data coupling. *Internet Computing, IEEE*, v. 12, n. 2, p. 87 –90, march-april 2008. ISSN 1089-7801.

WORLD WIDE WEB CONSORTIUM. *Content Negotiation: why it is useful, and how to make it work*. Disponível em: <http://www.w3.org/QA/2006/02/content_negotiation.html>. Acesso em : 26set.2012.

WU, C. hsin et al. An advanced traveler information system with emerging network technologies. 2003. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.108.9779>>.

YIN, R. K. *Estudo de Caso: planejamento e métodos*. Tradução de daniel grassi. 3a ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

ZHANG, R.; VERHOEF, E. T. A monopolistic market for advanced traveller information systems and road use efficiency. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 40, n. 5, p. 424 – 443, 2006. ISSN 0965-8564. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965856405001138>>.

**APÊNDICE A – Serviços de usuários, subsistemas e fluxos de
arquitetura para ATIS baseado em NIA**

A.1 COMPONENTES DOS PACOTES DE SERVIÇOS ATIS01 A ATIS10

A.1.1 ATIS01 - Difusão de Informação ao Viajante

Os elementos contidos nos componentes participantes deste pacote de serviços pode ser visto na tabela 17.

Tipo do Componente	Elementos
Serviços de Usuários	Informação de Viagem Pré-curso, Informação em Rota para o Motorista, Informação em Rota sobre Transporte Público
Subsistemas	Provedor de Serviços de Informação, Veículo, Acesso a Informações Pessoais e Auxílio Remoto ao Viajante
Subsistemas relacionados	Gerenciamento de Transporte Público, Gerenciamento de Tráfego, Gerenciamento de Manutenção e Construção, Gerenciamento de Emergências e Gerenciamento de Estacionamento
Terminadores	Serviço de Meteorologia, Serviço de Meteorologia sobre Condições das Estradas e Mídia
Fluxos de Arquitetura	difusão de informação ao viajante, informação de incidente, plano de trabalho de manut. e constr., informação multimodal, informação de estacionamento, requisição de vaga de estacionamento, condições da malha de estradas, estado de manutenção de estradas, imagens de tráfego, informação sobre o transporte público, informação de incidentes no transporte público, informação da pontualidade dos horários de transporte público, informação de serviço de transporte público, informações meteorológicas do sistema de transporte, requisição de informações meteorológicas do sistema de transporte, informação para viajante para mídia, informações meteorológicas, informações sobre a zona de trabalho

Tabela 17: Síntese dos componentes do pacote de serviços ATIS01 e seus elementos.

Fonte: adaptado de U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2012b)

A.1.2 ATIS02 - Informação Interativa ao Viajante

Os elementos contidos nos componentes participantes deste pacote de serviços pode ser visto na tabela 18.

Tipo do Componente	Elementos
Serviços de Usuários	Informação de Viagem Pré-curso, Informação em Rota para o Motorista, Busca e Reserva de Carona Solidária, Serviços de Informação ao Viajante, Gerenciamento de Incidentes, Informação em Rota sobre Transporte Público, Serviços de Pagamento Eletrônico
Subsistemas	Provedor de Serviços de Informação, Veículo, Acesso a Informações Pessoais e Auxílio Remoto ao Viajante
Subsistemas relacionados	Gerenciamento de Transporte Público, Gerenciamento de Tráfego, Gerenciamento de Manutenção e Construção, Gerenciamento de Emergências e Gerenciamento de Estacionamento
Terminadores	Serviço de Meteorologia, Serviço de Meteorologia sobre Condições das Estradas, Mídia e Sistema de Telecomunicações para Informação ao Viajante
Fluxos de Arquitetura	informação de incidente, informação personalizada para o viajante, plano de trabalho de manut. e constr., informação multimodal, informação de estacionamento, requisição de vaga de estacionamento, condições da malha de estradas, estado de manutenção de estradas, imagens de tráfego, informação sobre o transporte público, informação da pontualidade dos horários de transporte público, informação de serviço de transporte público, informações meteorológicas do sistema de transporte, requisição de informações meteorológicas do sistema de transporte, alertas ao viajante, informação para viajante para mídia, perfil de viajante, requisição de viajante, informação baseada em voz para viajante, requisição de informação baseada em voz para viajante, informações meteorológicas, informações sobre a zona de trabalho

Tabela 18: Síntese dos componentes do pacote de serviços ATIS02 e seus elementos.

Fonte: adaptado de U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2012b)

A.1.3 ATIS03 - Orientação Autônoma de Rotas

Os elementos contidos nos componentes participantes deste pacote de serviços pode ser visto na tabela 19.

Tipo do Componente	Elementos
Serviços de Usuários	Orientação de Rotas
Subsistemas	Veículo e Acesso a Informações Pessoais
Subsistemas relacionados	nenhum
Terminadores	Fonte de Dados de Localização, Provedor de Atualizações de Mapas, Viajante e Motorista
Fluxos de Arquitetura	entradas do motorista, atualizações para o motorista, atualizações de mapas, localização, entrada de dados pelo viajante, atualizações na interface do viajante

Tabela 19: Síntese dos componentes do pacote de serviços ATIS03 e seus elementos.

Fonte: adaptado de U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2012b)

A.1.4 ATIS04 - Orientação Dinâmica de Rotas

A tabela 20 apresenta os elementos que constituem os principais componentes deste pacote de serviços.

Tipo do Componente	Elementos
Serviços de Usuários	Orientação de Rotas, Serviços de Informação ao Viajante
Subsistemas	Provedor de Serviços de Informação, Veículo e Acesso a Informações Pessoais
Subsistemas relacionados	Gerenciamento de Transporte Público e Gerenciamento de Tráfego
Terminadores	Fonte de Dados de Localização, Provedor de Atualizações de Mapas, Viajante e Motorista
Fluxos de Arquitetura	difusão de informação ao viajante, entradas do motorista, atualizações para o motorista, informação de incidente, atualizações de mapas, localização, condições da malha de estradas, imagens de tráfego, informação sobre o transporte público, informação da pontualidade dos horários de transporte público, entrada de dados pelo viajante, atualizações na interface do viajante

Tabela 20: Síntese dos componentes do pacote de serviços ATIS04 e seus elementos.

Fonte: adaptado de U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2012b)

A.1.5 ATIS05 - Orientação de Rotas e Planejamento de Viagem Baseados em PSI

Os elementos envolvidos em cada componente deste pacote de serviços são listados na tabela 21 e descritos nas seções posteriores deste anexo.

Tipo do Componente	Elementos
Serviços de Usuários	Informação de Viagem Pré-curso, Orientação de Rotas
Subsistemas	Provedor de Serviços de Informação, Veículo, Acesso a Informações Pessoais e Auxílio Remoto ao Viajante
Subsistemas relacionados	Gerenciamento de Transporte Público, Gerenciamento de Tráfego e Gerenciamento de Estacionamentos
Terminadores	Fonte de Dados de Localização, Provedor de Atualizações de Mapas e Provedor de Serviços de Transporte Multimodal
Fluxos de Arquitetura	informação de incidente, rotas de veículos especiais, atualizações de mapas, informação multimodal, requisição de informação multimodal, informação de estacionamento, confirmação de reserva de vaga de estacionamento, requisição de reserva de estacionamento, localização, condições da malha de estradas, imagens de tráfego, informação sobre o transporte público, requisição de informação de transporte público, informação da pontualidade dos horários de transporte público, informação de serviço de transporte público, confirmação de viagem, plano de viagem, requisição de viagem

Tabela 21: Síntese dos componentes do pacote de serviços ATIS05 e seus elementos.

Fonte: adaptado de U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2012b)

A.1.6 ATIS06 - Compartilhamento de Dados Sobre Operações de Transportes

Este pacote de serviços é constituído pelos elementos apresentados na tabela 22.

Tipo do Componente	Elementos
Serviços de Usuários	Controle de Tráfego, Gerenciamento de Incidentes, Gerenciamento de Transporte Público, Serviços de Pagamento Eletrônico, Mobilidade de Frotas, Evacuações e Resposta a Desastres, Operações de Construção e Manutenção
Subsistemas	Provedor de Serviços de Informação, Gerenciamento de Transporte Público, Gerenciamento de Tráfego, Gerenciamento de Emergências e Gerenciamento de Manutenção e Construção
Subsistemas relacionados	Gerenciamento de Estacionamento
Terminadores	Serviço de Meteorologia, Serviço de Meteorologia sobre Condições das Estradas e Outros PSI
Fluxos de Arquitetura	informação de incidente, plano de trabalho de manut. e constr., informação multimodal, informação de estacionamento, requisição de vaga de estacionamento, condições da malha de estradas, estado de manutenção de estradas, imagens de tráfego, informação sobre o transporte público, informação de incidentes no transporte público, informação da pontualidade dos horários de transporte público, informação de serviço de transporte público, informação de transportes para operações, informações meteorológicas do sistema de transporte, requisição de informações meteorológicas do sistema de transporte, informações meteorológicas, informações sobre a zona de trabalho

Tabela 22: Síntese dos componentes do pacote de serviços ATIS06 e seus elementos.

Fonte: adaptado de U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2012b)

A.1.7 ATIS07 - Guias e Reservas

Tipo do Componente	Elementos
Serviços de Usuários	Informação de Viagem Pré-curso, Serviços de Informação ao Viajante, Serviços de Pagamento Eletrônico
Subsistemas	Provedor de Serviços de Informação, Veículo, Acesso a Informações Pessoais e Auxílio Remoto ao Viajante
Subsistemas relacionados	nenhum
Terminadores	Provedor de Atualizações de Mapas, Viajante, Cartão do Viajante, Instituição Financeira, Provedor de Serviços de Guia e Outros PSI
Fluxos de Arquitetura	atualizações de mapas, informação multimodal, pagamento, requisição de pagamento, requisição para pagamento, estado da transação, informação de serviço de viagem, requisição de informação de serviço de viagem, requisição de reserva de serviço de viagem, reservas de serviço de viagem, informações de serviços de viagem, requisição de serviços de viagem, entrada de dados pelo viajante, atualizações na interface do viajante

Tabela 23: Síntese dos componentes do pacote de serviços ATIS07 e seus elementos.

Fonte: adaptado de U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2012b)

A.1.8 ATIS08 - Carona Solidária

A tabela 24 contém a relação dos elementos participantes deste pacote de serviços.

Tipo do Componente	Elementos
Serviços de Usuários	Busca e Reserva de Carona Solidária, Gerenciamento da Demanda de Tráfego, Transporte Público Personalizado
Subsistemas	Provedor de Serviços de Informação, Veículo, Acesso a Informações Pessoais e Auxílio Remoto ao Viajante
Subsistemas relacionados	Gerenciamento de Transporte Público
Terminadores	Provedor de Atualizações de Mapas, Viajante, Cartão do Viajante e Provedor de Serviços de Transporte Multimodal
Fluxos de Arquitetura	plano de trajeto de transporte público sob demanda, requisição de transporte público sob demanda, atualizações de mapas, informação multimodal, requisição de informação multimodal, pagamento, requisição para pagamento, entrada de dados pelo viajante, atualizações na interface do viajante, confirmação de viagem, plano de viagem, requisição de viagem

Tabela 24: Síntese dos componentes do pacote de serviços ATIS08 e seus elementos.

Fonte: adaptado de U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2012b)

A.1.9 ATIS09 - Sinalização a Bordo de Veículo

Os elementos que constituem este pacote de serviços podem ser vistos na tabela 25.

ATIS09 - Sinalização a Bordo de Veículo	
Tipo do Componente	Elementos
Serviços de Usuários	Informação em Rota para o Motorista, Gerenciamento de Transporte Público, Gerenciamento de Veículos de Emergência
Subsistemas	Veículo, Gerenciamento de Estacionamentos, Veículo de Emergência, Veículo de Manutenção e Construção, Veículo de Transporte Público, Estrada e TrafficManagement
Subsistemas relacionados	nenhum
Terminadores	Pessoal de Operação de Tráfego, Outros Sistemas em Estradas e Motorista
Fluxos de Arquitetura	entradas do motorista, atualizações para o motorista, coordenação de equipamentos das estradas, estado da comunicação de curta distância, dados do operador de tráfego, entradas do operador de tráfego, informação de estacionamento de veículo, dados de sinalização para veículos

Tabela 25: Síntese dos componentes do pacote de serviços ATIS09 e seus elementos.

Fonte: adaptado de U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2012b)

A.1.10 ATIS10 - Informação ao Viajante por Comunicação de Curto Alcance

Os componentes deste pacote de serviços são apresentados na tabela 26.

Tipo do Componente	Elementos
Serviços de Usuários	Informação em Rota para o Motorista, Serviços de Informação ao Viajante, Controle de Tráfego, Evacuações e Resposta a Desastres, Operações de Construção e Manutenção
Subsistemas	Provedor de Serviços de Informação, Veículo e Estrada
Subsistemas relacionados	Gerenciamento de Emergências, Gerenciamento de Manutenção e Construção, Gerenciamento de Transporte Público, Gerenciamento de Estacionamento, Gerenciamento de Tráfego e Administração de Pedágios
Terminadores	Serviço de Meteorologia e Serviço de Meteorologia sobre Condições das Estradas
Fluxos de Arquitetura	notificação de alertas, difusão de informação ao viajante, informação de emergências para o viajante, estado de manutenção de equipamento, informação de evacuação, estado de equipamento de campo, informação de incidente, plano de trabalho de manut. e constr., informação multimodal, informação de estacionamento, requisição de vaga de estacionamento, condições da malha de estradas, estado de manutenção de estradas, estado da comunicação de curta distância, dados de pedágios, imagens de tráfego, informação sobre o transporte público, informação de incidentes no transporte público, informação da pontualidade dos horários de transporte público, informação de serviço de transporte público, estado do sistema de transporte, informações meteorológicas do sistema de transporte, requisição de informações meteorológicas do sistema de transporte, informações meteorológicas, informações sobre a zona de trabalho

Tabela 26: Síntese dos componentes do pacote de serviço ATIS10 e seus elementos.

Fonte: adaptado de U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2012b)

A.2 SERVIÇOS AOS USUÁRIOS

Os serviços aos usuários da arquitetura NIA são utilizados para descrever as funcionalidades dos sistemas inteligentes de transporte a partir da perspectiva dos seus usuários. A seguir serão descritos os serviços de usuários citados nos pacotes de serviço de ATIS01 até ATIS10.

A.2.1 Evacuações e Resposta a Desastres

Fornece acesso privilegiado a recursos e pessoal especializado na situação, além de informações sobre o sistema de transporte nas vizinhanças de um desastre. Se necessário, pode tornar a evacuação do ambiente mais eficiente e segura.

A.2.2 Serviços de Pagamento Eletrônico

Permite que os serviços de transportes sejam pagos por um meio eletrônico e comum a todos os modos de transportes tais como pedágios, tarifa de transporte público e estacionamento.

A.2.3 Gerenciamento de Veículos de Emergência

Este serviço tem como objetivo reduzir o tempo entre o momento em que uma notificação de acidente é recebida até a chegada dos veículos de emergência ao local do evento. Este serviço inclui a comunicação entre estes veículos e os seus centros de despacho, priorização de semáforos e orientação de rotas para que o deslocamento dos veículos seja mais eficiente.

A.2.4 Informação em Rota para o Motorista

Oferece aos motoristas privados, comerciais e de transporte público notificações sobre as condições de tráfego, incidentes, construções, alerta de condições perigosas, limites de velocidade etc.

A.2.5 Informação em Rota sobre Transporte Público

Provê aos viajantes, durante sua jornada, informações em tempo real dos serviços de transporte público, auxiliando-os a tomar decisões que possam contribuir para a eficiência da sua viagem.

A.2.6 Mobilidade de Frotas

Fornece informações integradas entre motoristas, despachantes e provedores de transporte intermodal, permitindo-os se beneficiem das informações de tráfego disponíveis em tempo-real bem como a localização dos veículos e das cargas a serem transportadas.

A.2.7 Gerenciamento de Incidentes

Utiliza sensores, processamento de dados e comunicações para melhorar o gerenciamento de incidentes e a capacidade de resposta das entidades responsáveis pela recuperação e segurança envolvidos no tratamento de incidentes.

A.2.8 Operações de Construção e Manutenção

Integra atividades importantes para assegurar que as estradas, infraestruturas associadas e os recursos disponíveis sejam coordenados da melhor maneira possível. Entre as atividades importantes estão o monitoramento, operação, manutenção, melhorias e gerenciamento das condições físicas das estradas.

A.2.9 Transporte Público Personalizado

Este serviço abrange uma modalidade de transporte público flexível e sob demanda, permitindo que os passageiros possam ser pegos ou desçam dos veículos de transporte conforme suas necessidades específicas. Um exemplo de serviço deste tipo é o prestado pelos táxis.

A.2.10 Informação de Viagem Pré-curso

Permite aos viajantes acessarem uma gama completa de informações em tempo real a respeito da malha de transporte tais como condições das estradas, incidentes, condições meteorológicas e serviços de transporte público. O acesso à este serviço pode ser feito a partir de casa, do trabalho ou nos locais onde as viagens tem origem e, baseado nas informações fornecidas, o viajante pode selecionar o melhor momento, rota e modos de transporte para realizar a sua viagem.

A.2.11 Gerenciamento de Transporte Público

Automatiza a operação, planejamento e gerenciamento dos sistemas de transporte público através de análises em tempo-real dos veículos e instalações, monitoramento da localização dos veículos e determinação de atrasos, número de passageiros, distância percorrida acumulada, total de horas em funcionamento etc.

A.2.12 Busca e Reserva de Carona Solidária

Oferece busca e reserva para serviços de carona solidária para os viajantes, diretamente de suas casas, locais de trabalho ou outros lugares.

A.2.13 Orientação de Rotas

Sugere aos viajantes rotas para chegar ao destino escolhido, bem como instruções de como seguir cada rota. Pode estar apoiado em informações em tempo-real sobre o sistema de transportes incluindo condições de tráfego, fechamento de estradas e o estado e horários do sistema de transporte público.

A.2.14 Controle de Tráfego

Integra diversos sistemas de controle utilizados em estradas para melhorar o fluxo de tráfego, dar prioridade a veículos de transporte público e minimizar congestionamentos ao mesmo tempo em que maximiza a mobilidade.

A.2.15 Gerenciamento da Demanda de Tráfego

Este serviço faz uso da tecnologia para auxiliar as políticas e regulações criadas para mitigar o impacto ambiental e social causados pelos congestionamentos de tráfego.

A.2.16 Serviços de Informação ao Viajante

Fornecer uma lista com informações sobre serviços e estabelecimentos relativos a viagens, apresentando localização, horário de funcionamento, disponibilidade de alimentação, estacionamento, reparo de automóveis, hospitais, delegacias de polícia etc.

A.3 SUBSISTEMAS

Os subsistemas fornecem uma abstração para os componentes utilizados na composição da arquitetura física da NIA. Na sequência, são descritos os subsistemas apresentados nos pacotes de serviço para ATIS de ATIS01 até ATIS10.

A.3.1 Gerenciamento de Emergências

Representa as agências de segurança pública que lidam com o gerenciamento de incidentes, resposta e evacuação de desastres, monitoramento da segurança e outras aplicações de ITS relacionadas a segurança. A integração com outros subsistemas permite coordenar as medidas tomadas para respostas a emergências, reorganizando o sistema de transporte público para executar planos de evacuação, priorizando veículos de emergência, implantando restrições de tráfego ou outras estratégias para satisfazer demandas de emergência com maior eficiência.

A.3.2 Veículo de Emergência

Abrange os veículos operados pela polícia, bombeiros, serviços médicos de emergência, veículos para resposta a incidentes (ex: guinchos, tratores, guindastes etc). Cada veículo é equipado com sistemas que fornecem dados de sensores, processamento, armazenamento e comunicação, fazendo

com que os veículo apropriados para cada situação de emergência sejam facilmente alocados.

A.3.3 Provedor de Serviços de Informação

Responsável pela coleta, processamento e disseminação de informações acerca da infraestrutura de transportes destinadas a operadores e usuários desta infraestrutura. Do ponto de vista dos operadores, este subsistema promove a coleta e redistribuição de informações entre eles, permitindo a produção de informações mais precisas e integradas.

Aos usuários da infraestrutura de transportes, um PSI fornece informações sobre a condição de tráfego de vias, sistema de transporte público, estacionamentos, guias, carona solidária, planejamento de viagens mediante o recebimento da origem e do destino desejado e o cálculo do melhor itinerário baseado nas informações que recebe de outros subsistemas.

A.3.4 Gerenciamento de Manutenção e Construção

Monitora e gerencia as frotas de manutenção e construção de estradas, veículos de serviços especiais, reparo e manutenção de equipamentos diversos, incluindo controladores de tráfego, detectores entre outros equipamentos associados à infraestrutura de transportes. Fornece uma ampla gama de informações sobre o estado destes veículos e equipamentos, facilitando o despacho, cálculo de rotas, gerenciamento de recursos e resposta a incidentes.

A.3.5 Veículo de Manutenção e Construção

Reside em veículos de manutenção, construção ou outros serviços especializados, provendo funções de processamento, armazenamento, comunicação e sensoriamento para auxílio na construção e manutenção da infraestrutura de transportes.

A.3.6 Gerenciamento de Estacionamentos

Provê o monitoramento eletrônico e a gerência de locais de estacionamento, oferecendo informações sobre a disponibilidade de vagas e possibilitando a integração com veículos, através de comunicação do tipo Campo-

Veículo, para o recebimento de taxas de estacionamento.

A.3.7 Acesso a Informações Pessoais

Oferece aos viajantes informações sobre o trânsito e o transporte público através de dispositivos portáteis ou equipamentos instalados em residências, escritórios e locais relacionados à infraestrutura de transporte público (ex: terminais de ônibus). Estas informações podem ser voltadas para o viajante, genericamente, ou para satisfazer necessidades específicas através de requisições personalizadas.

A.3.8 Auxílio Remoto ao Viajante

O subsistema Auxílio Remoto ao Viajante é responsável por oferecer aos viajantes informações em terminais de ônibus, pontos de paradas de ônibus, centros de eventos, hotéis, condomínios comerciais, parques e cinemas, através de quiosques e mostradores de informação e suportando variados níveis de interação e acesso à informação. Um exemplo concreto de implantações deste subsistema são mostradores em pontos de parada de ônibus que informam o horário das próximas chegadas.

A.3.9 Estrada

Este subsistema inclui equipamentos distribuídos ao longo de estradas e que monitoram e controlam o tráfego, incluindo detectores de tráfego, sensores ambientais, semáforos, câmeras de circuito fechado de TV etc, fornecendo dados tais como fluidez do tráfego, condições das estradas, condições do ambiente de entorno, estado de equipamentos, detecção de incidentes etc.

A.3.10 Administração de Pagamentos

Administra os pagamentos do consumidor para operadores do sistema de transportes, como a coleta de pedágios, estacionamentos etc.

A.3.11 Gerenciamento de Tráfego

Representa centrais de monitoramento e controle de tráfego da malha viária que, utilizando as informações de campo fornecidas pelo subsistema Estrada, coordenam e implementam estratégias de gerenciamento e controle de tráfego.

A.3.12 Gerenciamento de Transporte Público

Oferece funcionalidades voltadas para o gerenciamento de transporte público, desde o fornecimento de informações em atualizadas aos seus usuários, até a operação, manutenção, planejamento e administração da frota. Oferece ainda integração com subsistemas de gerência de tráfego e outras agências de transporte público.

Entre as informações disponibilizadas aos usuários do transporte público pode-se citar: estimativas de tempo de viagem, tabelas de horários, pontualidade dos veículos em relação às tabelas de horários, opções de baldeação etc.

A.3.13 Veículo de Transporte Público

O subsistema Veículo de Transporte Público provê sensoriamento, processamento, armazenamento e comunicação necessárias para o transporte seguro e eficiente de passageiros. Inclui ônibus, modos de transporte acessíveis, veículos leves sobre trilhos e outros veículos utilizados para transporte de passageiros.

Os sensores a bordo dos veículos podem, por exemplo, auxiliar na manutenção do veículo, vigilância e disparo de alarmes na detecção de agentes tóxicos ou objetos nocivos e o fornecimento de informações em tempo real para viajantes como horários atualizados, rotas, tarifas etc.

A.3.14 Veículo

Representa veículos pessoais, comerciais, de emergência, transporte público etc, e fornece aos seus ocupantes acesso às informações do ITS, tais como condições de viagem, disponibilidade de serviços ao longo de uma viagem etc.

A.4 FLUXOS DE ARQUITETURA

Os fluxos de arquitetura representam as trocas de informação entre subsistemas, fornecendo uma abstração para os fluxos de dados e processos (PSPECs) e estabelecendo as interfaces de comunicação entre as partes. Os fluxos de arquitetura citados nos pacotes de serviços para ATIS apresentados neste capítulo são descritos a seguir.

A.4.1 notificação de alertas

Notificação de grandes emergências tais como desastres naturais ou provocados pelo homem. Este fluxo identifica o originador do alerta, a natureza da emergência, a área afetada, período de tempo de vigência da situação de emergência e instruções de como o público deve responder ao alerta.

A.4.2 difusão de informação ao viajante

Informações gerais para o viajante contendo: condições de tráfego e das estradas, tempo de viagem entre trechos de estradas, incidentes, alertas, restrições, informações dos serviços de transporte público, condições meteorológicas, estacionamento e outras informações relacionadas.

A.4.3 plano de trajeto de transporte público sob demanda

Planos relacionado a horários de transporte público sob demanda.

A.4.4 requisição de transporte público sob demanda

Requisição de planos de horários para transporte público sob demanda.

A.4.5 entradas do motorista

Entrada de dados de um veículo feito por um motorista tais como configurações, preferências, comandos de controle etc.

A.4.6 atualizações para o motorista

Informação mostrada pelo veículo ao motorista.

A.4.7 informação de emergências para o viajante

Notificação pública de uma emergência tais como um desastre natural ou provocado pelo homem. Inclui informações de evacuação, zonas de evacuação, tempos de evacuação recomendados, rotas e destinos de evacuação recomendados, condições de tráfego ao longo das rotas de evacuação, serviços aos viajantes e informações sobre abrigos.

A.4.8 estado de manutenção de equipamento

Estado atual das ações de manutenção de equipamentos de campo.

A.4.9 informação de evacuação

Instruções de evacuação e informações incluindo zonas de evacuação, tempos de evacuação e tempo mínimo de espera antes de ser possível retornar ao local.

A.4.10 estado de equipamento de campo

Identificação dos equipamentos de campos que necessitam reparo e informações conhecidas relacionadas aos problemas existentes.

A.4.11 informação de incidente

Notificação da existência de incidentes e da gravidade esperada, localização, horário e natureza do incidente. Conforme informações adicionais do incidente são obtidas, de acordo com a sua evolução, estas informações são atualizadas. É considerado um incidente qualquer evento que cause impacto ao sistema de transportes e sua operação, indo de incidentes de rotina, como por exemplo um carro com problemas parado no acostamento, até desastres naturais ou causados pelo homem e que envolvam pessoas feridas ou mortas

e danos causados a propriedades.

A.4.12 informação personalizada para o viajante

Informações fornecidas ao viajante em resposta a uma requisição por informação. Inclui as condições das estradas e de tráfego, avisos, incidentes, informações sobre pagamentos, serviços de transporte público, estacionamentos, meteorologia e outras atualizações relativas à viagem.

A.4.13 rotas de veículos especiais

Informações de rotas para veículos especiais ou grupos de veículos que necessitam modificações nas estratégias de controle de tráfego.

A.4.14 plano de trabalho de manut. e constr.

Agendamentos e atividades de manutenção e construção futuras, incluindo fechamentos antecipados, rotas alternativas, períodos e duração de fechamentos e atrasos.

A.4.15 atualizações de mapas

Atualizações de mapas que podem incluir novas visualizações ou atualizações das já existentes.

A.4.16 informação multimodal

Informações de horários para modos alternativos de transporte tais como trem, ônibus, marítimo e aéreo.

A.4.17 requisição de informação multimodal

Requisição de informações para modos alternativos de transporte tais como trem, ônibus, marítimo e aéreo.

A.4.18 informação de estacionamento

Informação, estado e disponibilidade de estacionamentos.

A.4.19 requisição de vaga de estacionamento

Requisição de informações sobre a ocupação de estacionamentos, tarifas e disponibilidade.

A.4.20 confirmação de reserva de vaga de estacionamento

Confirmação de reserva de vaga de estacionamento.

A.4.21 requisição de reserva de estacionamento

Requisição de reserva de vaga de estacionamento.

A.4.22 pagamento

Pagamentos de pedágio, estacionamento, transporte público etc, feito por um viajante.

A.4.23 requisição de pagamento

Requisição feita por uma instituição financeira para cobrança.

A.4.24 localização

Informação sobre a posição geográfica de um viajante ou veículo.

A.4.25 requisição para pagamento

Requisição para dedução dos custos de um serviço diretamente da conta de um usuário.

A.4.26 condições da malha de estradas

Informações atuais e previstas de tráfego e condições das estradas e do tempo (meteorologia). Pode ser tanto dados brutos quanto dados processados ou uma combinação destes dois.

A.4.27 coordenação de equipamentos das estradas

Fluxo direto de informação entre equipamentos de campo, incluindo dados de sensores e sistemas de informação ao motorista, dispositivos de controle de tráfego (ex: semáforos) etc.

A.4.28 estado de manutenção de estradas

Resumo das operações de manutenção que afetam as estradas.

A.4.29 estado da comunicação de curta distância

Estado dos equipamentos de comunicação de curta distância.

A.4.30 dados de pedágios

Tabela de preços de pedágio para diferentes tipos de veículos.

A.4.31 imagens de tráfego

Imagens de alta qualidade e em tempo-real para a vigilância e monitoramento do tráfego.

A.4.32 dados do operador de tráfego

Apresentação das operações vigentes de tráfego aos seus operadores, incluindo condições do tráfego, estado dos equipamentos de campo, atividades de manutenção, incidentes, vídeos, alertas de segurança entre outros.

A.4.33 entradas do operador de tráfego

Entrada de dados por parte do pessoal de operação para requisitar informações, mudanças de configurações, comandos para ajustes das estratégias de controle de tráfego e outras operações de tráfego que envolvam entrada de dados.

A.4.34 estado da transação

Resposta a requisições de transações, normalmente relacionadas a pagamentos.

A.4.35 informação de incidentes no transporte público

Informações de incidentes no sistema de transporte público que podem impactar seus serviços.

A.4.36 requisição de informação de transporte público

Requisição de informações de operações do sistema de transporte público tais como horários e tarifas.

A.4.37 informação da pontualidade dos horários de transporte público

Informações em tempo real sobre a localização de veículos de transporte público e pontualidade em relação aos horários planejados.

A.4.38 informação de serviço de transporte público

Informações sobre os serviços de transporte público incluindo rotas, horários e tarifas, bem como dados em tempo real sobre a localização de veículos de transporte público e pontualidade em relação aos horários planejados.

A.4.39 informação de transportes para operações

Informações sobre o estado das operações do sistema de transportes, incluindo condições das estradas e de tráfego, avisos, incidentes, serviços de transporte público, meteorologia, estacionamento e outros dados relacionados.

A.4.40 estado do sistema de transporte

Estado atual e condição da infraestrutura de transporte (ex: túneis, pontes e cruzamentos). No caso de desastres ou incidentes, este fluxo fornece uma avaliação dos danos, incluindo sua localização, extensão, restrições e o tempo necessário para os reparos.

A.4.41 informações meteorológicas do sistema de transporte

Condições atuais e previstas para fenômenos meteorológicos, tais como cheias, ventos, visibilidade etc, que podem afetar a malha de transportes.

A.4.42 requisição de informações meteorológicas do sistema de transporte

Requisição para obter as condições atuais e previstas de fenômenos meteorológicos que podem afetar a malha de transportes. Pode ser especificado a área de interesse, o tipo de informação desejada, a resolução espacial e o período de tempo.

A.4.43 informação de serviço de viagem

Informações provenientes de um provedor de serviços de viagem (ex: hotéis, restaurantes etc) que os identificam bem como dão detalhes dos serviços oferecidos.

A.4.44 requisição de informação de serviço de viagem

Requisição de informações de um provedor de serviços de viagem.

A.4.45 requisição de reserva de serviço de viagem

Requisição para reservas relacionadas a provedores de serviços de viagem.

A.4.46 reservas de serviço de viagem

Informação de reservas em provedores de serviços de viagem, incluindo dados de cobrança quando aplicáveis.

A.4.47 informações de serviços de viagem

Informações e reservas para atrações turísticas, alojamento, refeições, serviços de emergência e quaisquer outros serviços de interesse de um viajante.

A.4.48 requisição de serviços de viagem

Requisição por informações e reservas para atrações turísticas, alojamento, refeições, serviços de emergência e quaisquer outros serviços de interesse de um viajante. Na requisição, podem ser identificados o tipo de serviço, área de interesse e outros parâmetros que possam ser utilizados para priorizar ou filtrar as informações retornadas.

A.4.49 alertas ao viajante

Alertas ao viajante reportando congestionamentos, incidentes, condições adversas na estrada ou relativa às condições do tempo e outras informações que possam afetar o viajante. Alertas personalizados podem ser fornecidos de acordo com o perfil do viajante.

A.4.50 informação para viajante para mídia

Informações gerais sobre incidentes, condições de tráfego não usuais, problemas no transporte público ou outros avisos, voltados para veículos de comunicação (mídia).

A.4.51 entrada de dados pelo viajante

Entrada de dados para obter assistência, informações de viagem, reservas ou outro serviço para viajantes.

A.4.52 atualizações na interface do viajante

Informações em forma de vídeo ou áudio fornecidas ao viajante.

A.4.53 perfil de viajante

Informações a respeito de um viajante incluindo as capacidades de um equipamento, preferências pessoais e inscrição para receber notificações de alertas.

A.4.54 requisição de viajante

Requisição por informações sobre o tráfego, transporte público, pedágios, estacionamentos, condições do tempo nas estradas, eventos etc. Na requisição, podem ser identificados o tipo de serviço, área de interesse e outros parâmetros que possam ser utilizados para priorizar ou filtrar as informações retornadas.

A.4.55 confirmação de viagem

Reconhecimento, por parte do motorista ou viajante, da aceitação de um plano de viagem e seus custos associados.

A.4.56 plano de viagem

Um itinerário de viagem identificando a rota, o viajante e recomendações dos modos de transporte, baldeações e reservas de estacionamentos.

A.4.57 requisição de viagem

Requisição para obtenção de planos de viagem através da especificação da origem, destino(s), horários, preferências e restrições. Também podem ser incluídos pedidos de reserva de bilhetes de transporte público e vagas de estacionamento.

A.4.58 informação de estacionamento de veículo

Sinalização estática, tais como sinais de direção, restrições de altura, largura e peso etc, e dinâmica (disponibilidade e localização de vagas) presentes em estacionamentos e mostradas em dispositivos a bordo de veículos.

A.4.59 dados de sinalização para veículos

Sinalização a bordo de veículos para destacar a sinalização regulatória, de alerta e de informações presentes nas estradas. Exemplos: avisos de curvas, PARE, serviços e orientação de destino.

A.4.60 informação baseada em voz para viajante

Informação enviada para os sistemas de telecomunicações com destino ao viajante. Representa a transferência de informação ao viajante incluindo condições de tráfego, incidentes, transporte público, meteorologia e condições das estradas. Pode ser especificamente formatado para serviços de informação por voz.

A.4.61 requisição de informação baseada em voz para viajante

Requisição para os serviços de informação por voz.

A.4.62 informações meteorológicas

Condições meteorológicas atuais e previstas contendo: temperatura, pressão, velocidade e direção do vento, umidade, precipitação, visibilidade, condições de luminosidade etc.

A.4.63 informações sobre a zona de trabalho

Resumo das atividades de manutenção e construção que afetam a malha de transportes, incluindo a natureza da atividade, localização, impacto no trânsito, duração esperada, rotas alternativas e limites de velocidade temporários.

**APÊNDICE B – Identificando o conjunto de dados para o ATIS de
exemplo - continuação**

B.1 FLUXO DE ARQUITETURA “CONDIÇÕES DA MALHA DE ESTRADAS”

O fluxo de arquitetura condições da malha de estradas é responsável pela troca de informações de tráfego (atuais e previstas), condições climáticas e o estado e condições das estradas.

A primeira iteração da análise dos seus fluxos de dados, mostrada na figura 41, revela que este fluxo de arquitetura é utilizado para a troca de informações entre nove pares de subsistemas e resultando em 34 fluxos de dados. Entretanto, no caso do SAIV para o estudo de caso, apenas o fluxo de dados **traffic_data_for_isp** é eleito como apto a fornecer as informações necessárias para atender aos requisitos estipulados no capítulo 5. Este fluxo de dados escolhido contém dados provenientes de sensores utilizados para medir o tráfego de veículos e fornece informações atuais e previstas sobre as condições do tráfego.

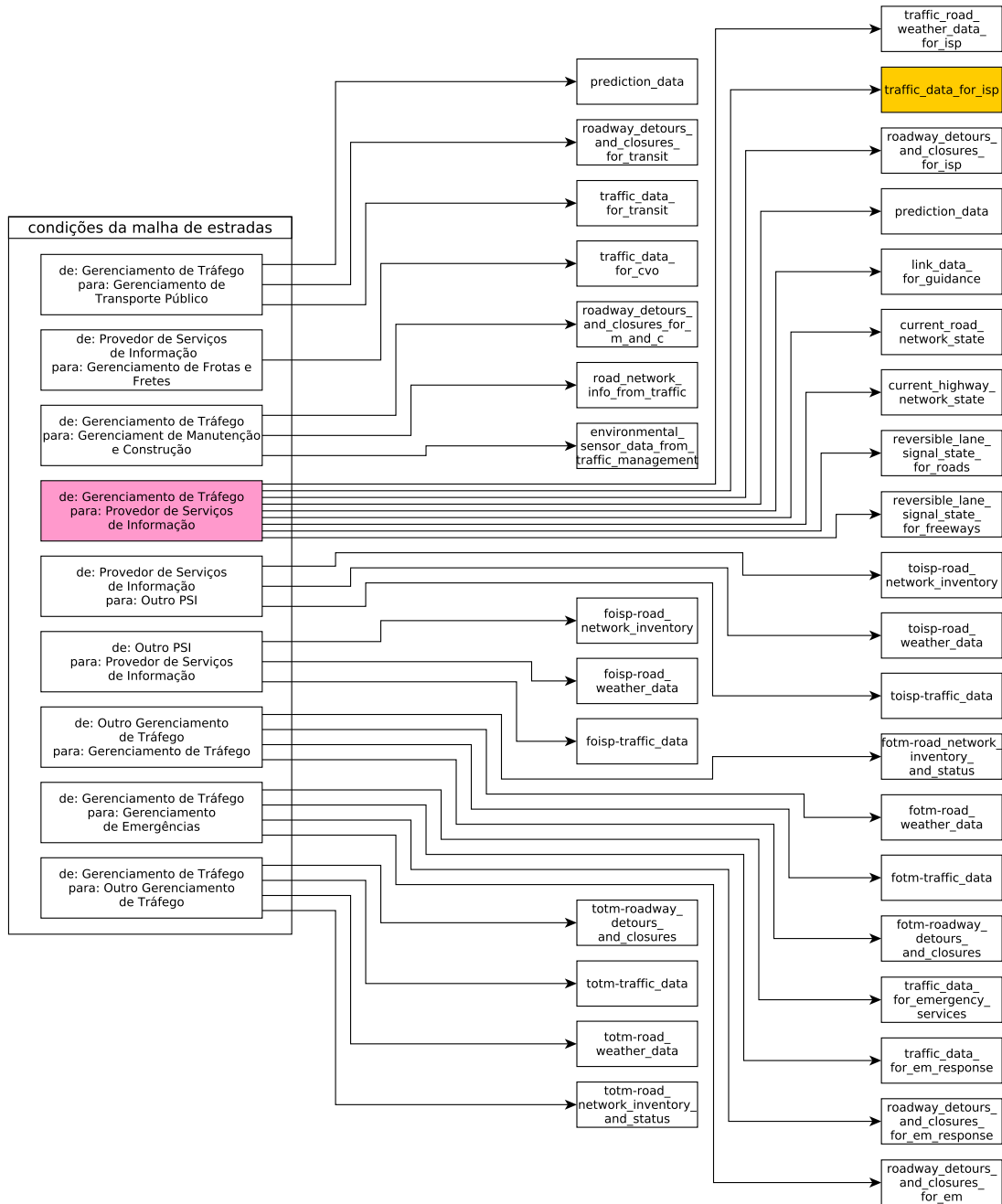


Figura 41: Primeira iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “condições da malha de estradas”

A expansão do fluxo de dados **traffic_data_for_isp** revela oito novos fluxos mostrados na figura 42 e descritos a seguir.

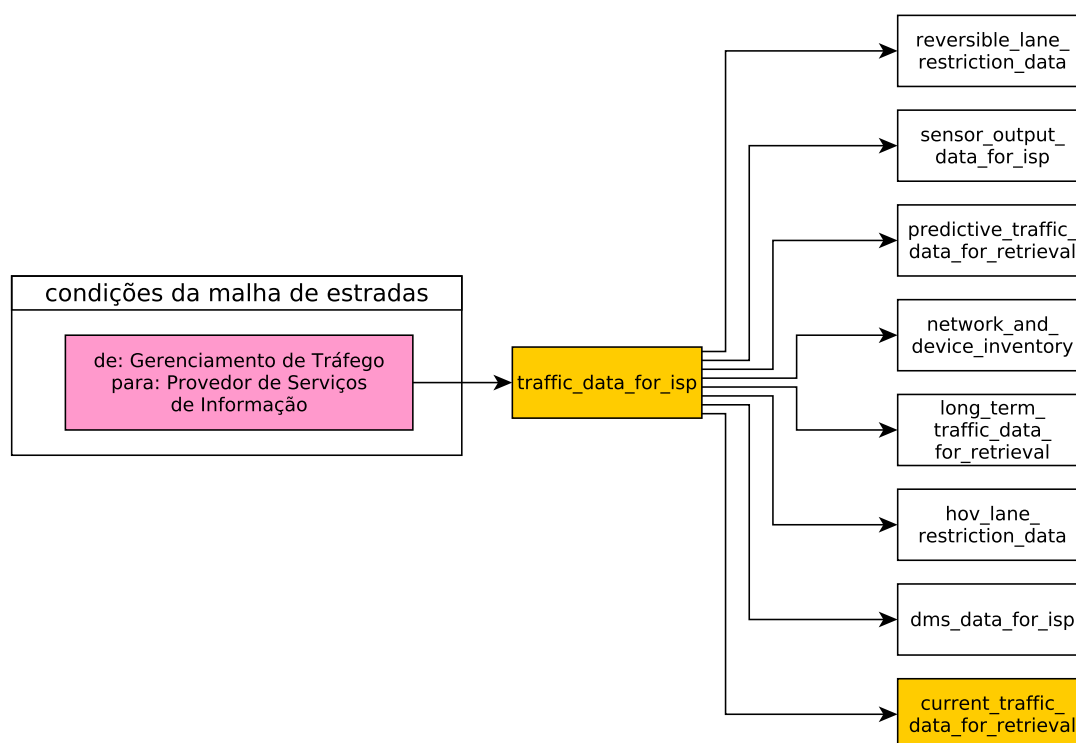


Figura 42: Segunda iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “condições da malha de estradas”

current_traffic_data_for_retrieval: contém informações atuais sobre as condições de tráfego;

dms_data_for_isp: contém dados enviados a dispositivos de sinalização de mensagem variável localizado às margens das estradas;

hov_lane_restriction_data: restrições em faixas de estrada para veículos de alta ocupação;

long_term_traffic_data_for_retrieval: informações de longo prazo sobre as condições do tráfego das estradas;

network_and_device_inventory: base de dados de trechos e cruzamentos para auxílio na localização de dispositivos de campo;

predictive_traffic_data_for_retrieval: informações previstas sobre as condições do tráfego das estradas;

reversible_lane_restriction_data:restrições em faixas de estrada reversíveis;

sensor_output_data_for_isp:informações e dados provenientes de sensores de tráfego.

Através da análise destas descrições e da observação preliminar da composição de cada um destes fluxos é possível concluir que apenas o fluxo de dados **current_traffic_data_for_retrieval** atende aos requisitos do SAIV para o estudo de caso e por isso é selecionado para a próxima iteração.

A expansão do fluxo de dados selecionado, mostrada na figura 43, leva aos fluxos de dados **link_state_data**, **current_roadway_maintenance_status**, **traffic_flow_state**, **work_zone_data_for_status**, dos quais apenas o primeiro (**link_state_data**) atende os requisitos necessários pois contém dados sobre as condições de cada trecho existente em uma estrada.

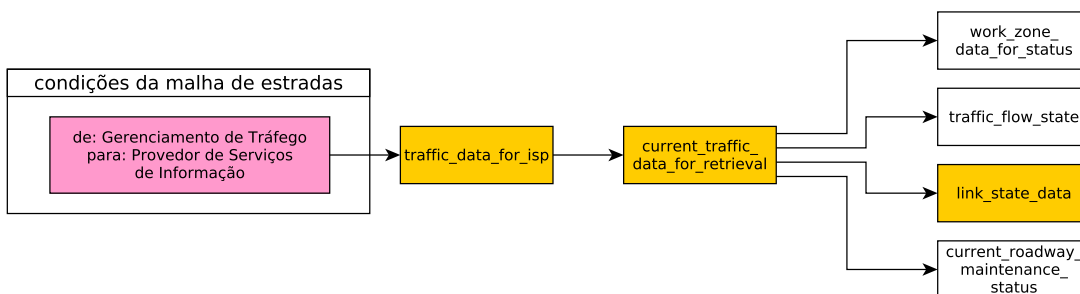


Figura 43: Terceira iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “condições da malha de estradas”

A próxima iteração consiste da expansão do fluxo de dados **link_state_data**, selecionado no passo anterior. Esta expansão revela sete novos fluxos de dados sendo que seis destes são PSPECs e não necessitam novas expansões. Esta etapa pode ser vista na figura 44 e seus fluxos de dados descritos a seguir.

vehicle_count:representa a contagem de veículos que foram detectados por sensores localizados nas estradas;

vehicle_headway:contém a medida de tempo entre dois veículos sucessivos em uma pista de tráfego. Neste trabalho, o termo “brecha” é utilizado nomear este conceito;

vehicle_occupancy:representa a ocupação de um trecho, medida por detectores localizados nas pistas de estradas;

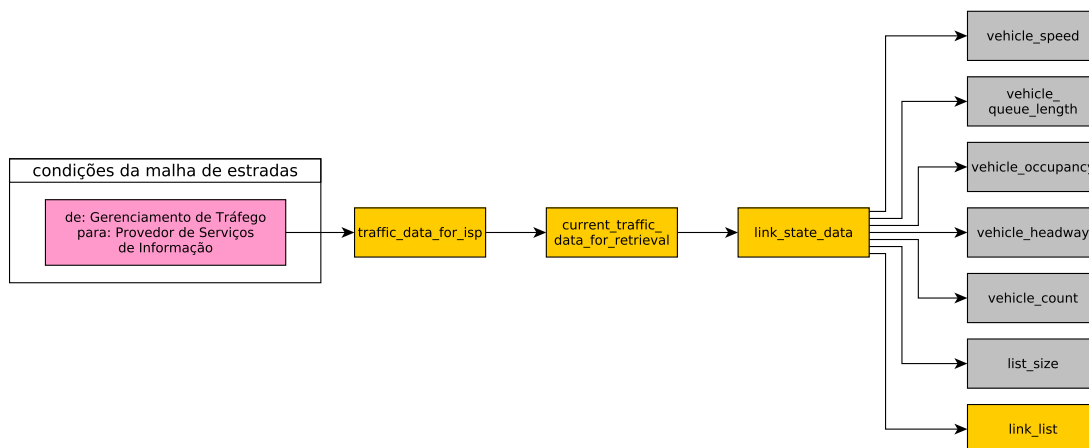


Figura 44: Quarta iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “condições da malha de estradas”

vehicle_queue_length: contém a medida do comprimento das filas detectadas por sensores de tráfego;

vehicle_speed: contém a velocidade dos veículos detectada por sensores de tráfego;

link_list: coleção de trechos aos quais estas condições de tráfego se referem;

list_size: representa o tamanho da coleção de condições de tráfego de trechos.

Expandindo o fluxo de dados restante, **link_list**, chega-se a dois novos fluxos de dados conforme mostra a figura 45. O fluxo **list_size** é um PSPEC e representa o tamanho de uma lista de coisas, assim, mostra que o fluxo que o acompanha (**link_identity** - responsável pela identificação de trechos), é uma coleção e este fluxo, por não ser um PSPEC, necessita mais uma iteração de expansão.

Esta nova expansão, mostrada na figura 46, alcança somente fluxos de dados do tipo PSPEC e portanto é a última iteração para o fluxo de arquitetura condições da malha de estradas. Nela, são revelados os fluxos de dados **unit_number**, responsável por uma identificação única de um trecho; **location_identity**, que contém a identificação da localização do trecho; e **link_type** que armazena o tipo de trecho;

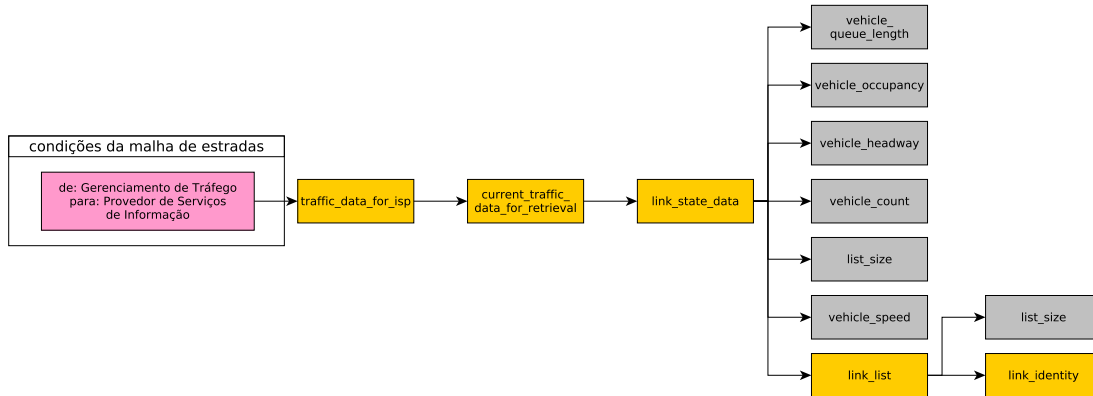


Figura 45: Quinta iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “condições da malha de estradas”

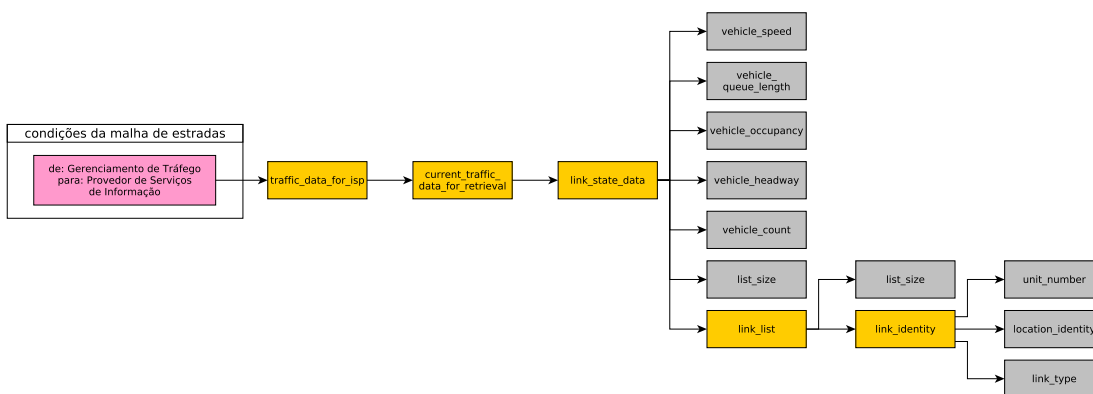


Figura 46: Sexta e última iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “condições da malha de estradas”

B.2 FLUXO DE ARQUITETURA “INFORMAÇÃO SOBRE O TRANSPORTE PÚBLICO”

Este fluxo de arquitetura é responsável por grande parte das informações referentes ao sistema de transporte público tais como itinerários, horários, e tarifas dos serviços de transporte público disponíveis. Como mostra a figura 47, este fluxo de arquitetura só é utilizado entre os subsistemas “Gerenciamento de Transporte Público” e “Provedor de Serviços de Informação” e se encaixando nos requisitos dos SAIV para o estudo de caso.

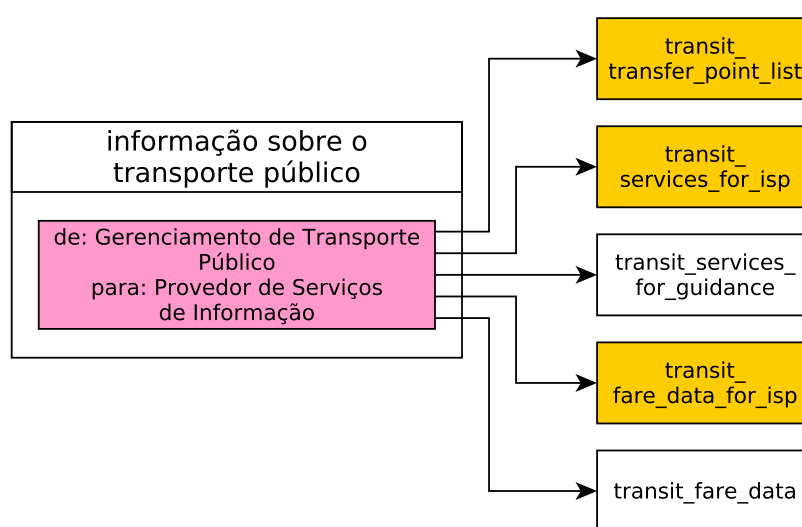


Figura 47: Primeira iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “informação sobre o transporte público”

A figura 47 também apresenta a primeira iteração da análise deste fluxo de arquitetura, revelando cinco fluxos de dados.

Os fluxos de dados **transit_transfer_point_list**, **transit_services_for_isp** e **transit_fare_data_for_isp**, são então selecionados para a próxima iteração de análise, já que atendem aos requisitos do estudo de caso. Esta nova iteração, ilustrada na figura 48 revela cinco novos fluxos de dados, sendo dois deles do tipo já conhecido **list_size**. Estes novos fluxos são: **transit_transfer_point** - responsável pelos locais de baldeação entre linhas de transporte público; **transit_services** - responsável pelos serviços de transporte público; e **transit_fares** - responsável pelas tarifas dos serviços de transporte público. Como todos estes três fluxos de dados atendem aos requisitos necessários, são preservados para a próxima iteração.

O restante das iterações seguem o mesmo princípio, e são ilustradas pelas figuras 49, 50, 51, 52 e 53.

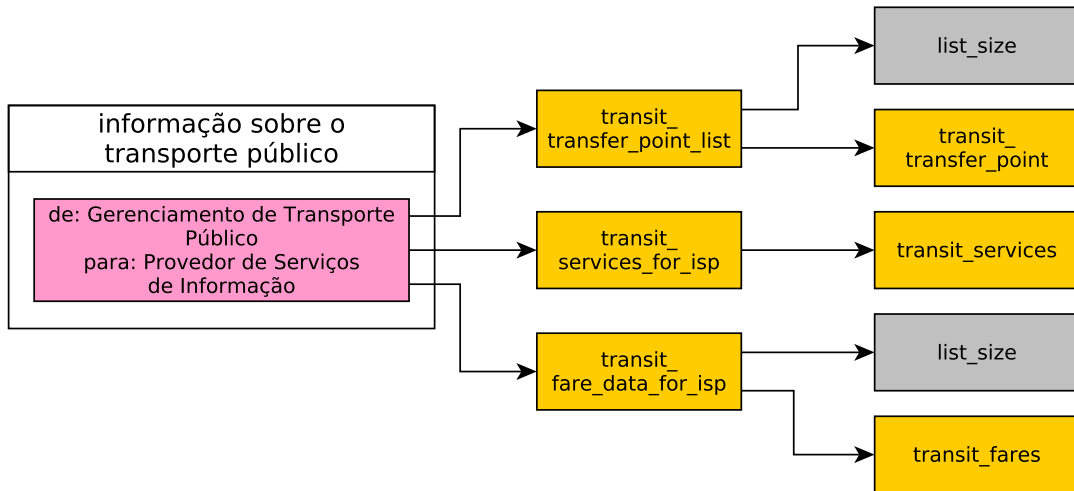


Figura 48: Segunda iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “informação sobre o transporte público”

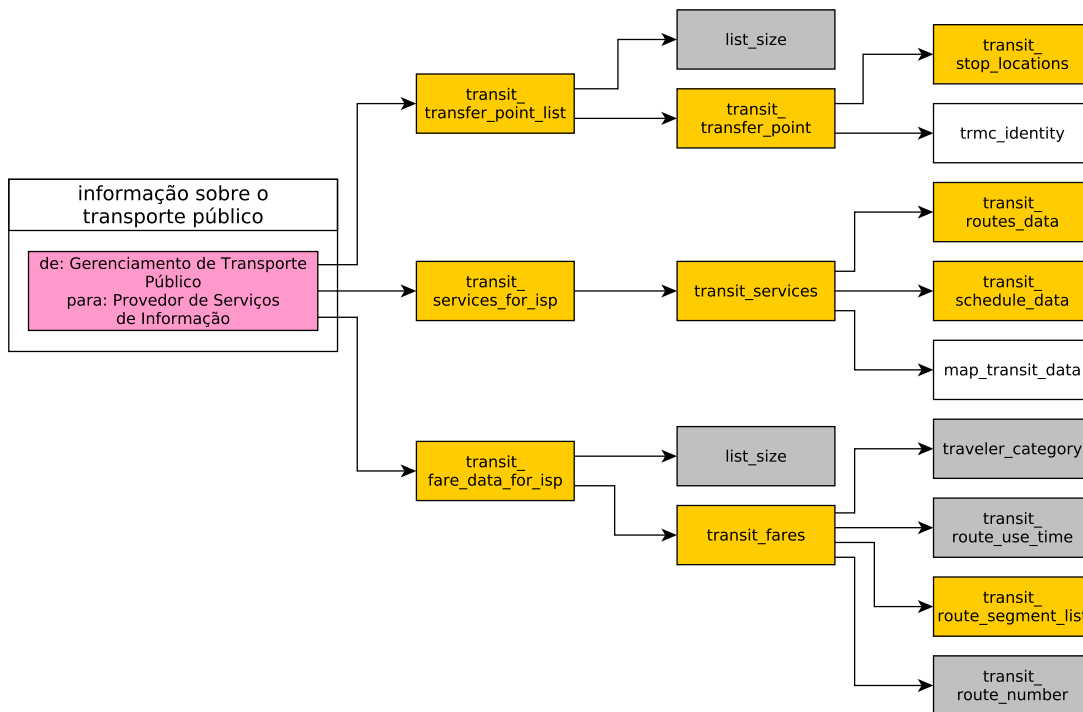


Figura 49: Terceira iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “informação sobre o transporte público”

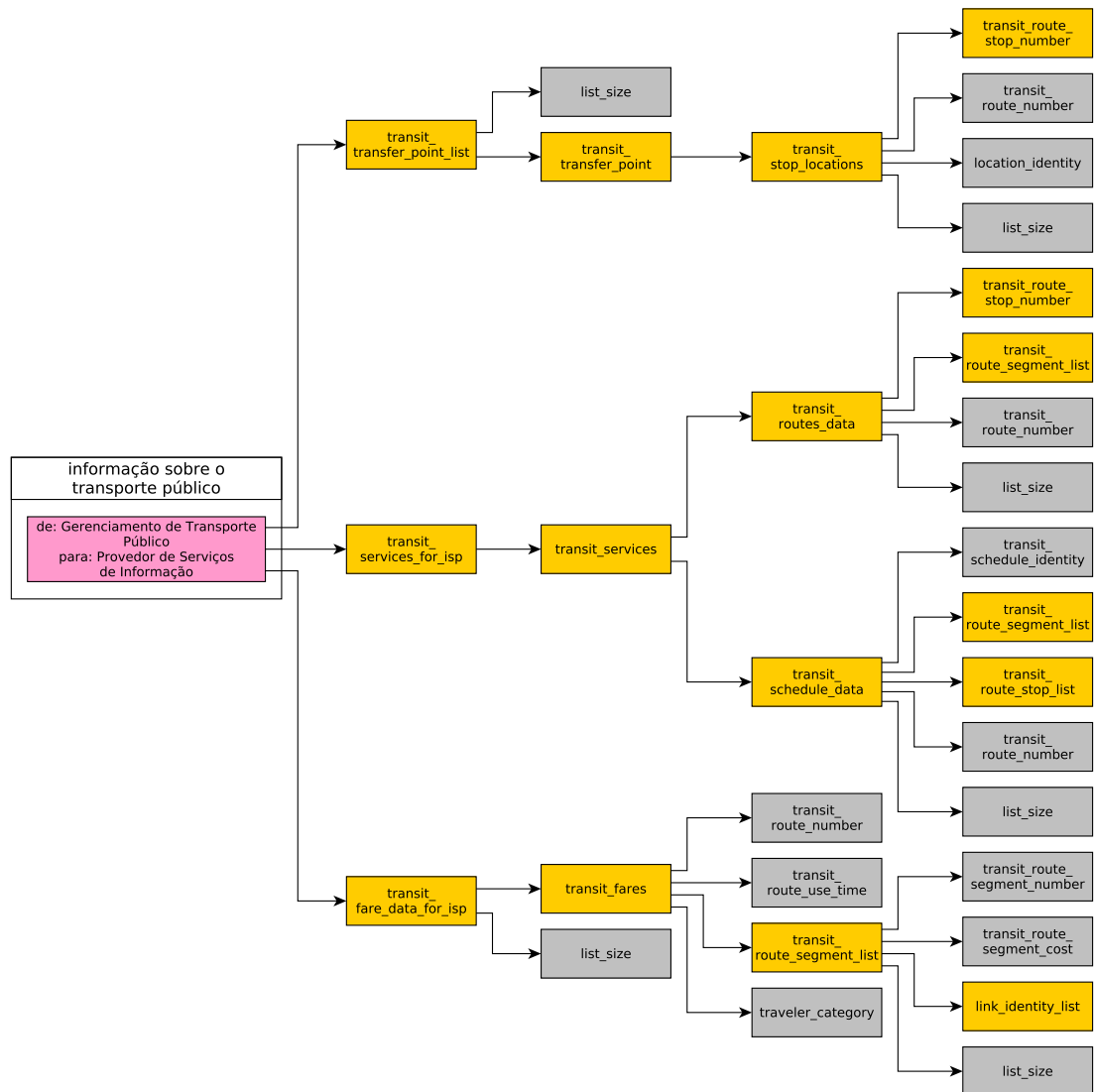


Figura 50: Quarta iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “informação sobre o transporte público”

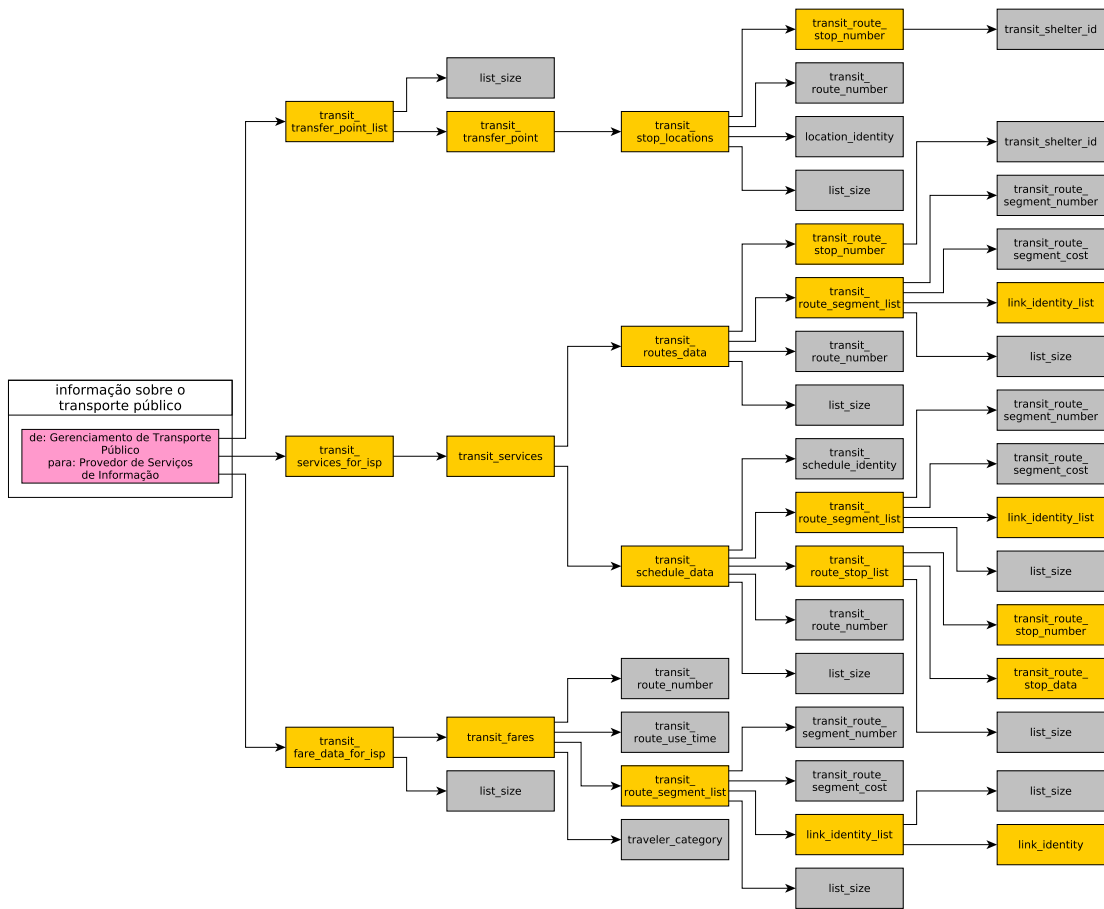


Figura 51: quinta iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “informação sobre o transporte público”

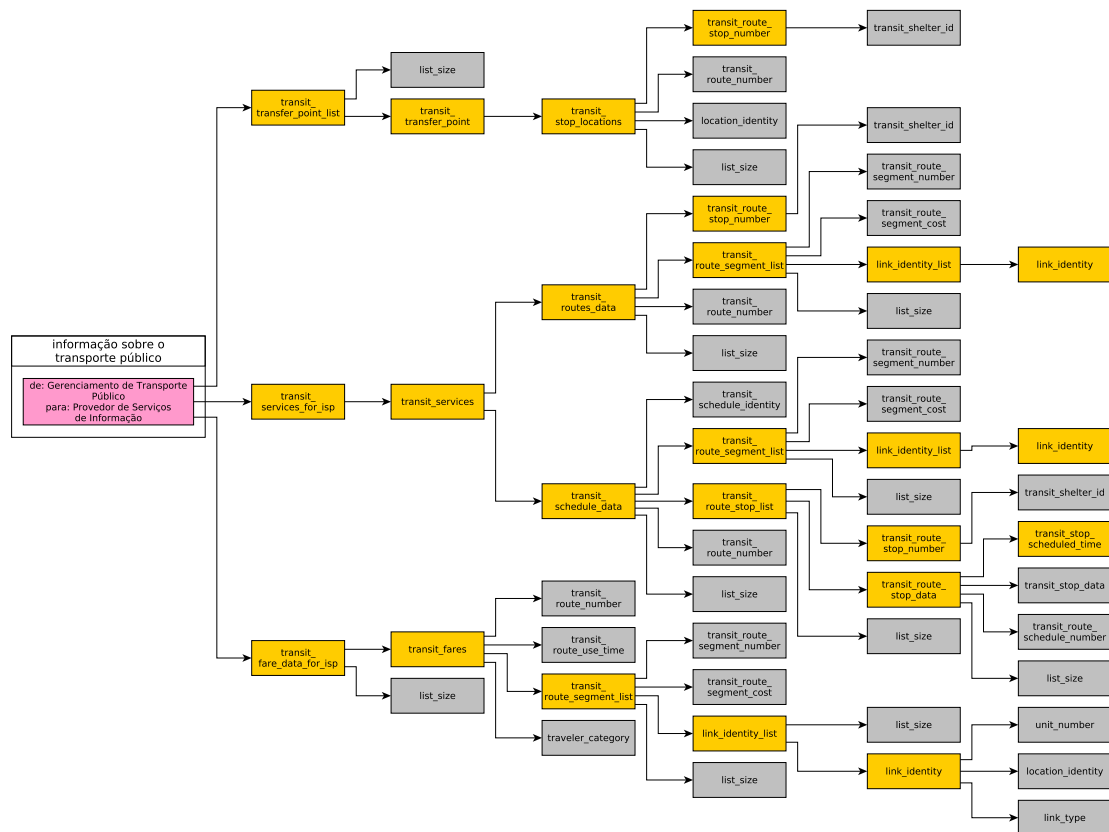


Figura 52: Sexta iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “informação sobre o transporte público”

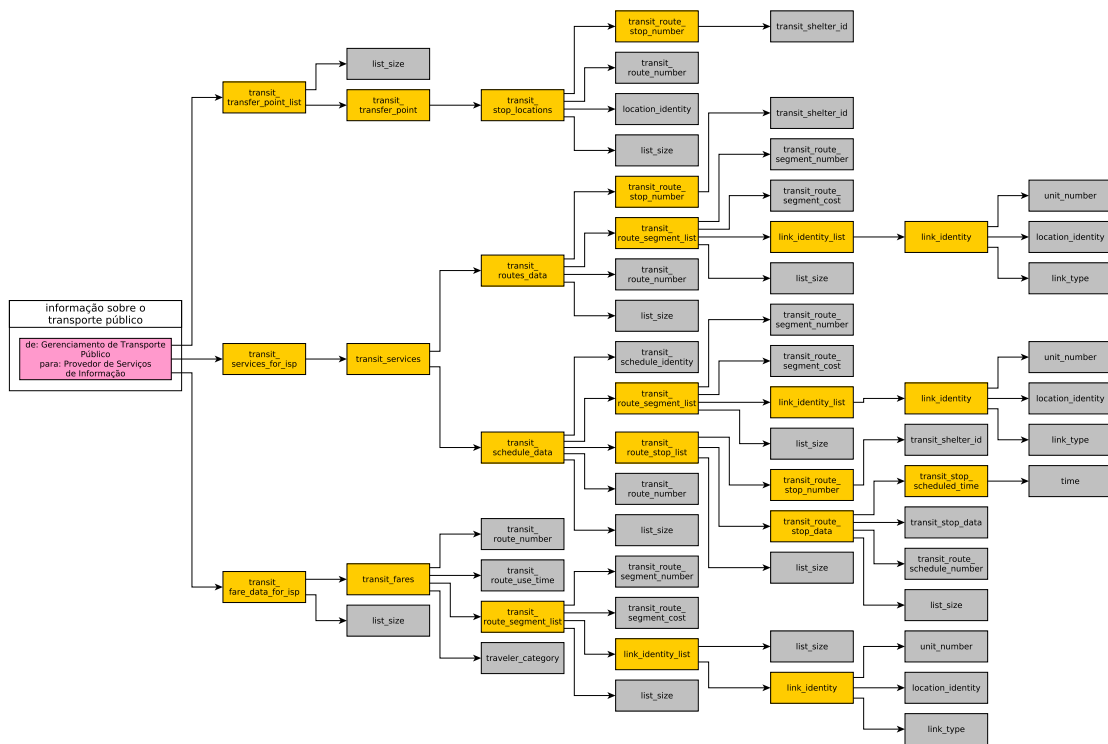


Figura 53: Sétima iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “informação sobre o transporte público”

B.3 FLUXO DE ARQUITETURA “DIFUSÃO DE INFORMAÇÃO AO VIAJANTE”

No que segue, são apresentadas as iterações sobre o fluxo de arquitetura “difusão de informação ao viajante” utilizadas para a obtenção dos fluxos de dados que compõem o Conjunto de Dados do estudo de caso, representadas pelas figuras 59, 60, 61 e 57.

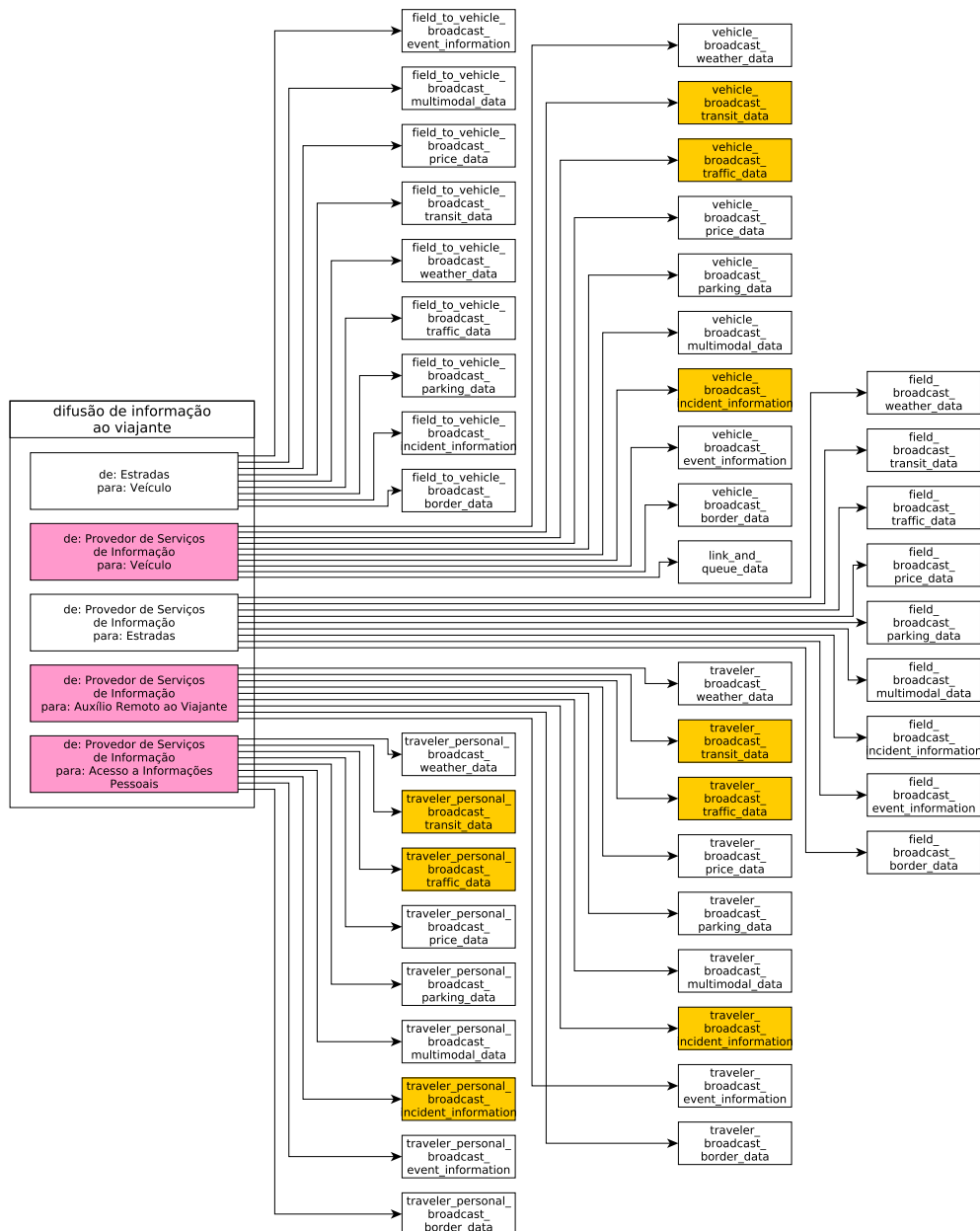


Figura 54: Primeira iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “difusão de informação ao viajante”

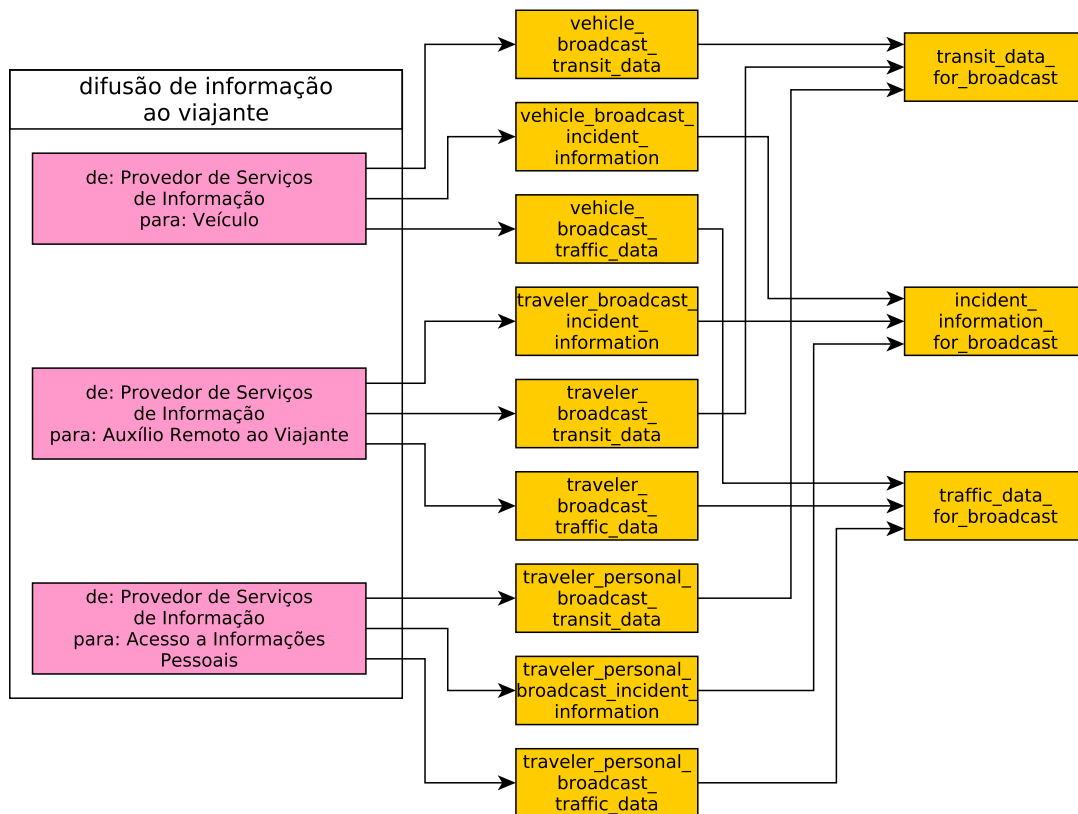


Figura 55: Segunda iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “difusão de informação ao viajante”

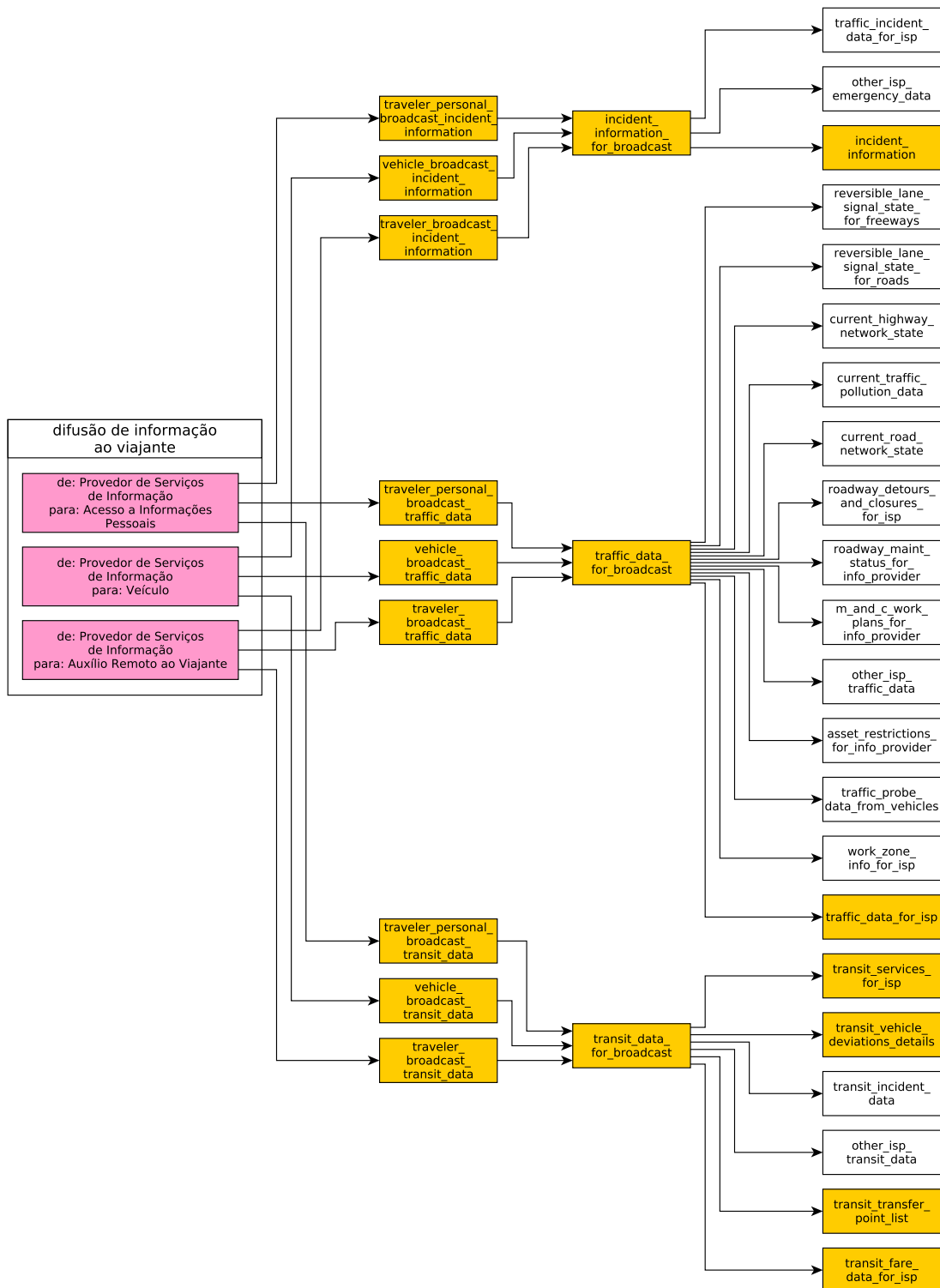


Figura 56: Terceira iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “difusão de informação ao viajante”

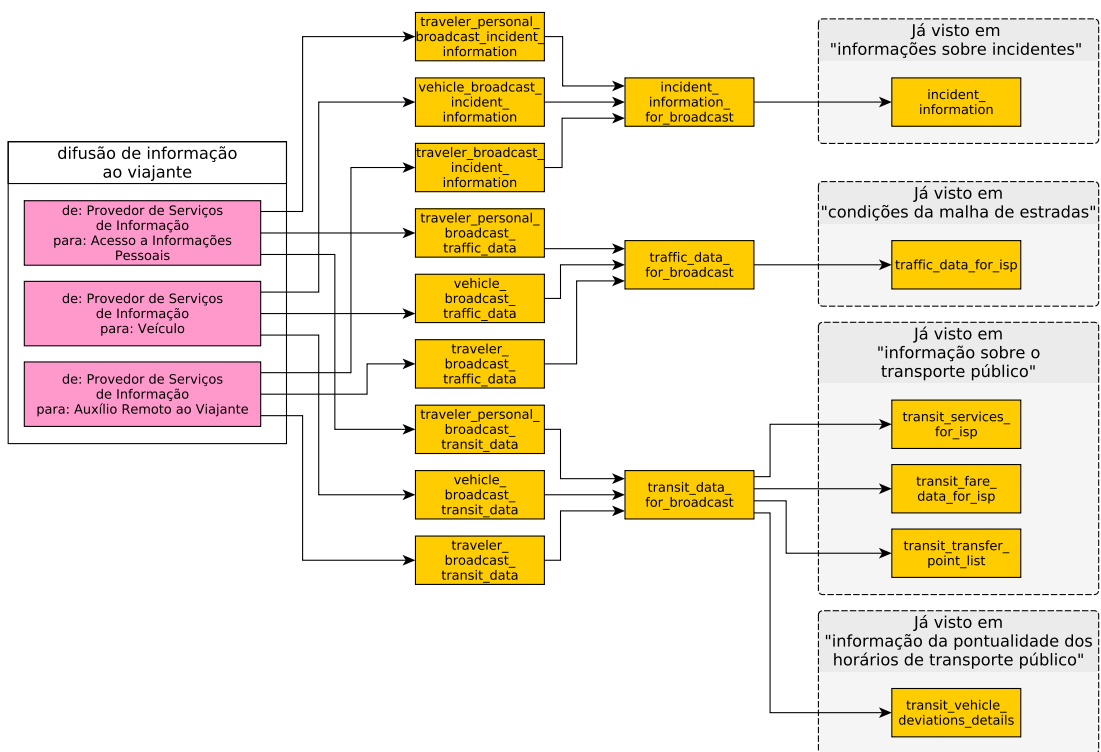


Figura 57: Quarta iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “difusão de informação ao viajante”

B.4 FLUXO DE ARQUITETURA “INFORMAÇÃO PERSONALIZADA PARA O VIAJANTE”

Nesta seção são apresentadas as iterações para a identificação dos fluxos de dados para compor o Conjunto de Dados do SAIV de estudo de caso a partir do fluxo de arquitetura “informação personalizada para o viajante”. Estas iterações são apresentadas pelas figuras , , e .

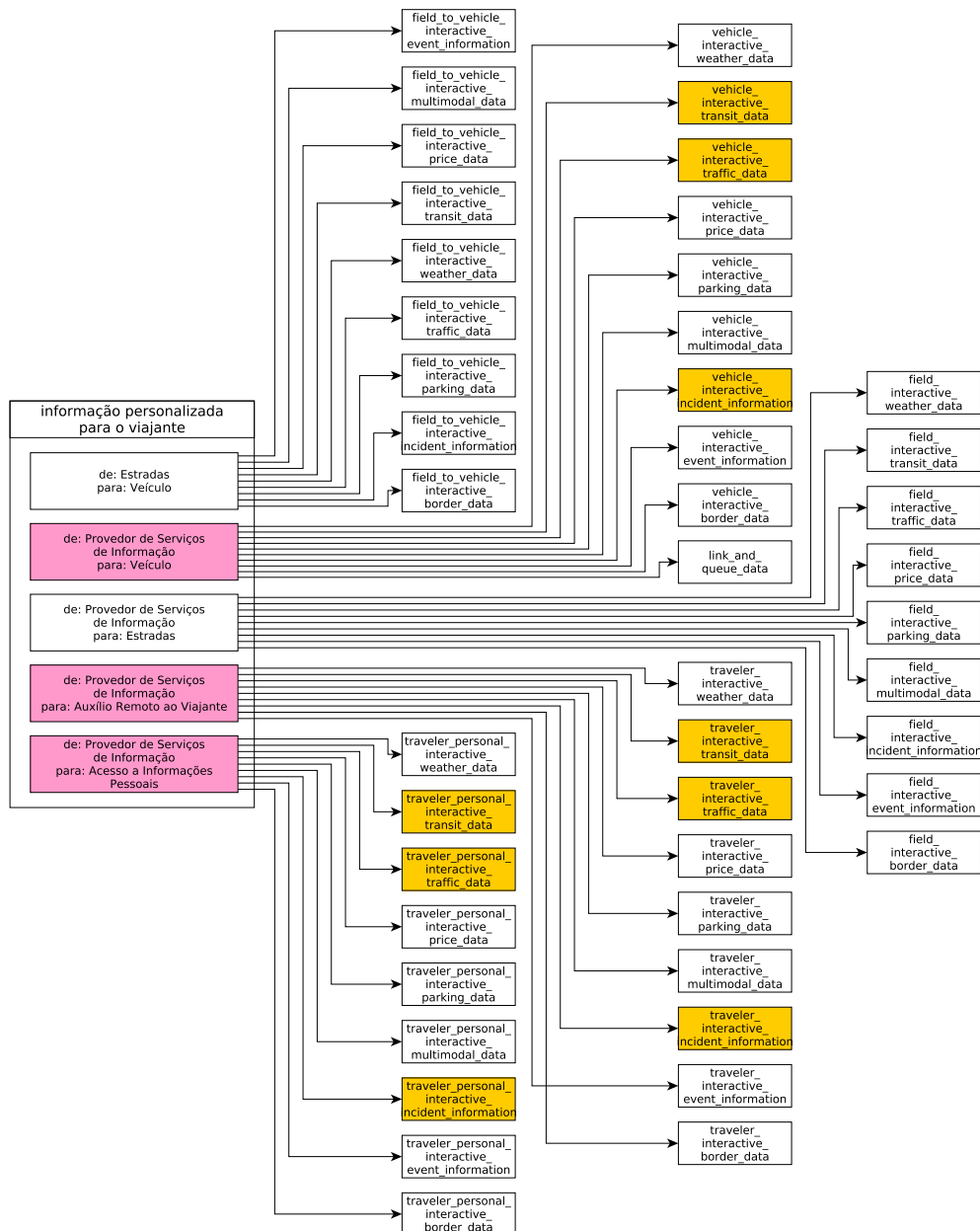


Figura 58: Primeira iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “informação personalizada para o viajante”

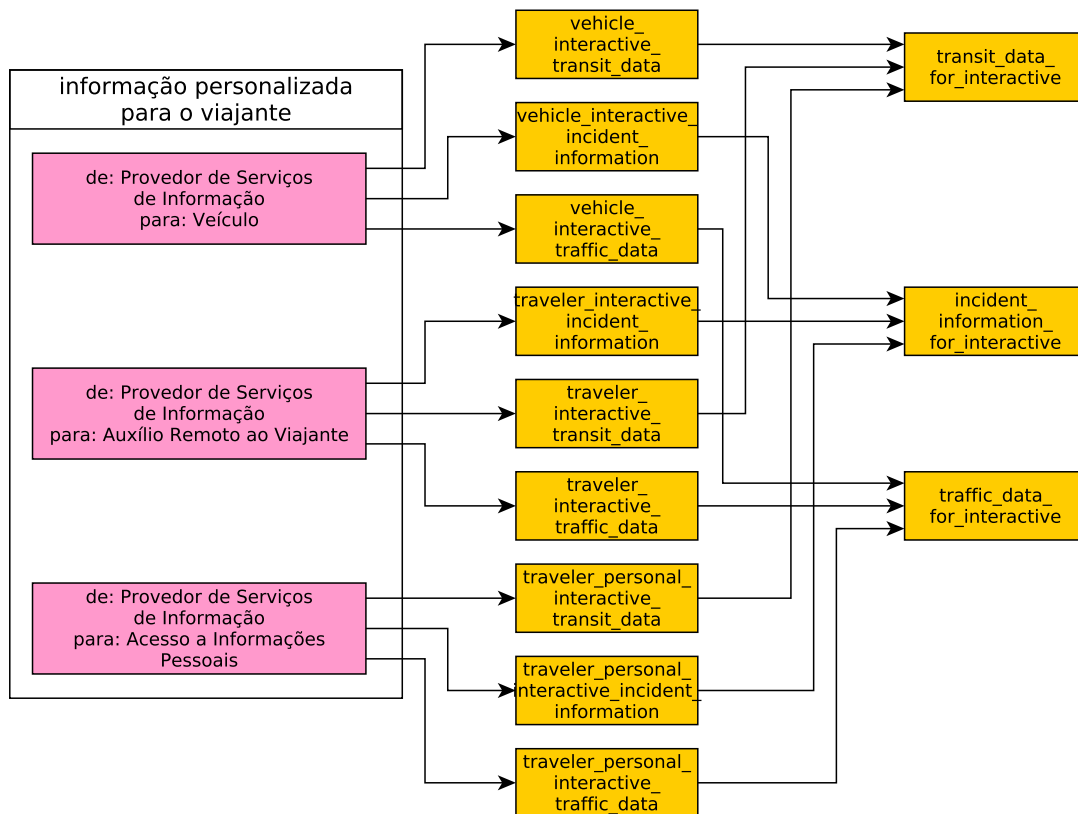


Figura 59: Segunda iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “informação personalizada para o viajante”

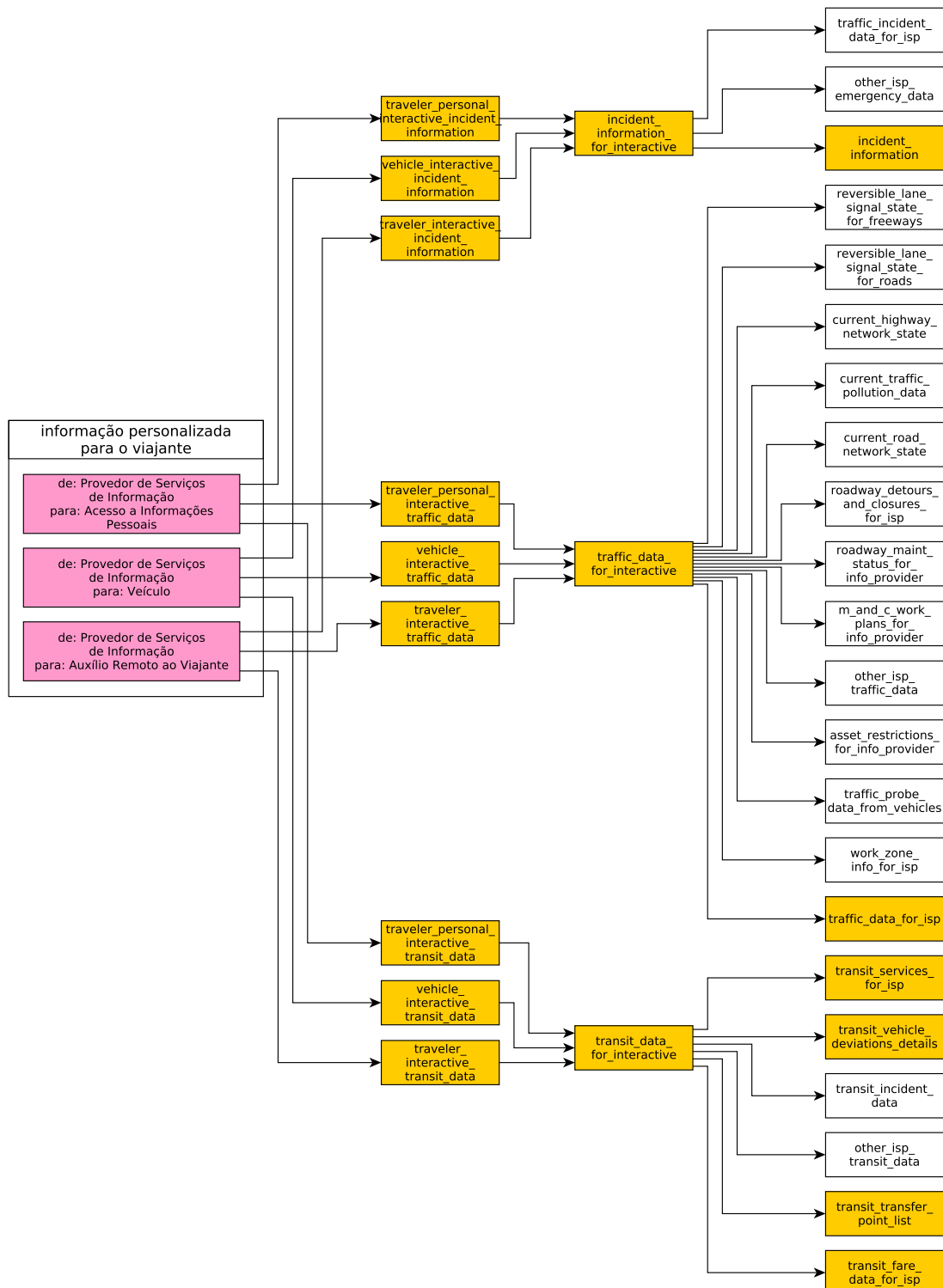


Figura 60: Terceira iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “informação personalizada para o viajante”

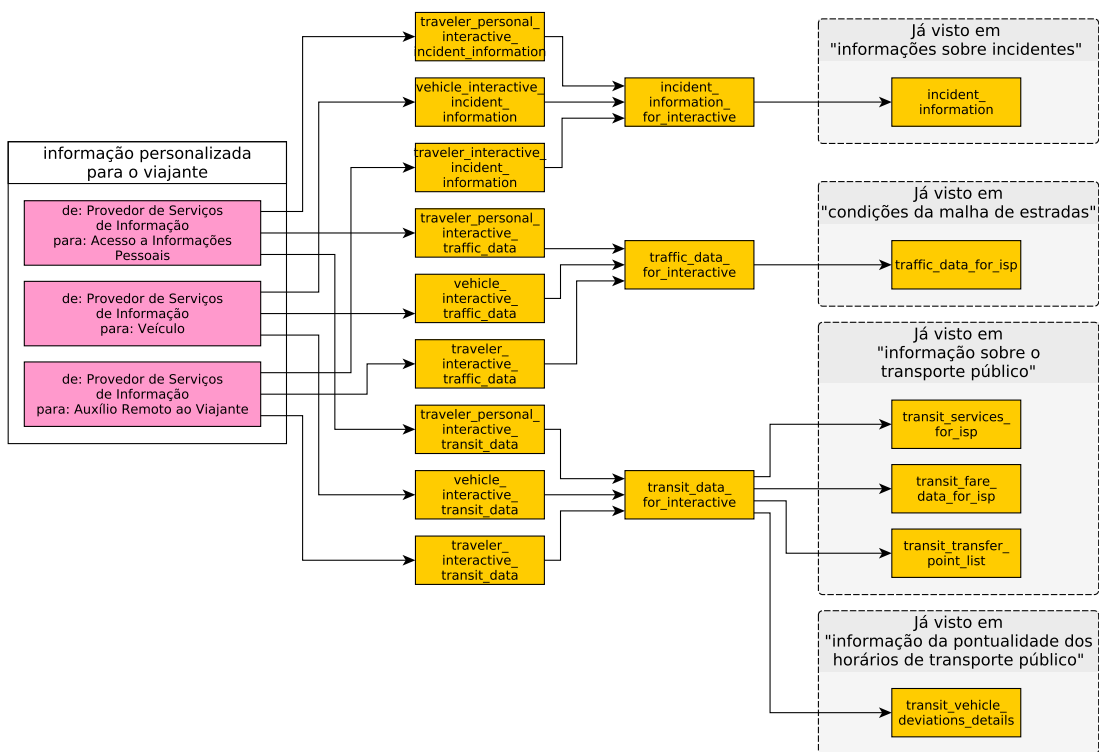


Figura 61: Quarta iteração da identificação do conjunto de dados do fluxo de arquitetura “informação personalizada para o viajante”