

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres
RDT – Recurso de Desenvolvimento Tecnológico

RELATÓRIO FINAL

ESTUDO DO CONJUNTO DE VÍDEO AUDITORIA EM LABORATÓRIO *MULTI-LANE FREEFLOW* EXISTENTE PARA A CONCESSIONÁRIA ECOSUL

Ecosul

21/07/2025

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE TABELAS	9
1. DESCRIÇÃO DO PROJETO	10
2. MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS	13
3. ETAPA 1: INSTALAÇÃO DE EQUIPAMENTOS E ADAPTAÇÃO DO PÓRTICO	14
3.1. laudo instalação do equipamentos	16
3.2. Laudo do pórtico	17
4. ETAPA 2: AQUISIÇÃO DE LICENÇA SOFTWARE	18
5. ETAPA 3: TESTES NO LABORATÓRIO MLFF	18
5.1. Plano de manutenção e intervenções no pórtico.	20
6. ETAPA 4: PESQUISAS	25
7. Análise da Demanda	26
7.1.1. Volumes de Tráfego	26
7.1.1.1. Evolução volume mensal	27
7.1.1.2. Evolução volume por método de pagamento	28
7.1.1.3. Análise por categoria veicular	29
8. Pesquisa Origem-Destino	35
8.1.1. Metodologia	35
8.1.2. Dados Obtidos	35
8.1.3. Fatores de Expansão	37
9. Pesquisa de Preferência Declarada	40
9.1.1. Especificação do modelo econométrico	40
9.1.2. Projeto experimental	42
9.1.3. Questionário da PD	44
9.1.4. Coleta de dados	46
9.1.4.1. Modelagem	47
10. ETAPA 5: ESTUDOS E RELATÓRIOS	50
10.1. Dashboard Análise da Demanda	50
10.2. Resultados da Pesquisa OD	51
10.2.1. Veículos Leves	51
10.2.1.1. Praça 01 - Retiro	51
10.2.1.2. Praça 02 - Capão Seco	60
10.2.1.3. Praça 03 - Glória	69
10.2.2. Veículos Pesados	78
10.2.2.1. Praça 01 - Retiro	78

10.2.2.2.	Praça 02 – Capão Seco	79
10.2.2.3.	Praça 03 – Glória	80
10.3.	Resultados da Pesquisa PD	82
10.3.1.	Estimação dos Modelos	86
10.3.1.1.	Cálculo da Disposição ao Pagamento e Elasticidades	87
10.3.1.2.	Aplicação do Modelo para Previsão de Demanda	90
11.	CONCLUSÕES, CONSIDERAÇÕES FINAIS E PRODUTOS	101
11.1.	Análise dos dados de tráfego das praças de pedágio da Ecosul	101
11.2.	Pesquisa de Origem-Destino	102
11.3.	Pesquisa de Preferência Declarada	103
11.4.	Análise de Desempenho do Sistema MLFF em Estudo na Ecovias Ponte Considerando o Contexto da Ecosul	105
11.5.	Memorial descritivo	109
11.6.	Minuta de Revisão Normativa	110
11.6.1.	Proposta de revisão da Normativa: previsão de compensação da concessionária em função da perda de receita devido à Inadimplência.	112
12.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114
Apêndice 1 – Questionário da PD		117
Apêndice 2 – Questionário da OD		127
Apêndice 3 – Projeto de Instalação de Sistema Multi-Lane Free Flow		129

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 – Implantação dos equipamentos</i>	15
<i>Figura 2 – Disposição dos equipamentos</i>	15
<i>Figura 3 – Laudo de instalação</i>	16
<i>Figura 4 – Laudo Pórtico</i>	17
<i>Figura 5 – Esquemático da arquitetura de funcionamento do pórtico</i>	20
<i>Figura 7 – Sistema gerenciamento de manutenção</i>	22
<i>Figura 8 – Suporte Antena-A3</i>	23
<i>Figura 9 – Suporte Câmera-A3</i>	24
<i>Figura 10 – Suporte Ecovias Ponte IR-A3</i>	25
<i>Figura 11 – Praças de Pedágio EcoSul</i>	26
<i>Figura 12 – Variação do Volume Mensal (2013-2023)</i>	27
<i>Figura 13 – Variação do Volume Mensal (2013-2023): Praças BR 116</i>	27
<i>Figura 14 – Variação do Volume Mensal (2013-2023): Praças BR 392</i>	28
<i>Figura 15 – Variação do Volume Mensal (2013-2023) Pagamento Manual</i>	28
<i>Figura 16 – Variação do Volume Mensal (2013-2023) Pagamento Automático</i>	28
<i>Figura 17 – Variação da Proporção de Veículos com Pagamento Automático (2013-2023)</i>	29
<i>Figura 18 – Variação do Volume Médio Diário Mensal por Categoria de Veículo (P1 Retiro - Manual)</i>	30
<i>Figura 19 – Variação do Volume Médio Diário Mensal por Categoria de Veículo (P1 Retiro - AVI)</i>	30
<i>Figura 20 – Variação do Volume Médio Diário Mensal por Categoria de Veículo (P2 Capão Seco - Manual)</i>	31
<i>Figura 21 – Variação do Volume Médio Diário Mensal por Categoria de Veículo (P2 Capão Seco - AVI)</i>	31
<i>Figura 22 – Variação do Volume Médio Diário Mensal por Categoria de Veículo (P3 Glória - Manual)</i>	32
<i>Figura 23 – Variação do Volume Médio Diário Mensal por Categoria de Veículo (P3 Glória - AVI)</i>	32
<i>Figura 24 – Variação do Volume Médio Diário Mensal por Categoria de Veículo (P4 Pavão - Manual)</i>	33
<i>Figura 25 – Variação do Volume Médio Diário Mensal por Categoria de Veículo (P4 Pavão - AVI)</i>	33
<i>Figura 26 – Variação do Volume Médio Diário Mensal por Categoria de Veículo (P5 Cristal - Manual)</i>	34
<i>Figura 27 – Variação do Volume Médio Diário Mensal por Categoria de Veículo (P5 Cristal - AVI)</i>	34
<i>Figura 28 – Número de entrevistados por praça (veículos leves)</i>	36
<i>Figura 29 – Número de entrevistados por praça (veículos pesados)</i>	36
<i>Figura 30 - Contextualização da pesquisa PD</i>	45
<i>Figura 31 - Situação de escolha 1</i>	45

<i>Figura 32 - Situação de escolha 2</i>	46
<i>Figura 33 – Dashboard</i>	50
<i>Figura 34 - Tipo de local de origem e destino P01</i>	51
<i>Figura 35 - Frequência de viagem Sentido Norte P01</i>	52
<i>Figura 36 - Frequência de viagem Sentido Sul P01</i>	53
<i>Figura 37 - Uso de cobrança automática P01</i>	53
<i>Figura 38 – Número de passageiros P01</i>	54
<i>Figura 39 - Idade do motorista P01</i>	54
<i>Figura 40 - Gênero do motorista P01</i>	55
<i>Figura 41 - Renda do motorista P01</i>	55
<i>Figura 42 - Financiador do pedágio P01</i>	56
<i>Figura 43 - Origens e Destinos dos veículos leves no sentido Norte da P01</i>	57
<i>Figura 44 – Origens e Destinos dos veículos leves no sentido Sul da P01</i>	58
<i>Figura 45 – Linhas de desejo dos veículos leves na P01 Retiro</i>	59
<i>Figura 46 - Tipo de local de origem e destino P02</i>	60
<i>Figura 47 - Frequência de viagem Sentido Norte P02</i>	61
<i>Figura 48 - Frequência de viagem Sentido Sul P02</i>	61
<i>Figura 49 - Uso de cobrança automática P02</i>	62
<i>Figura 50 - Número de passageiros P02</i>	62
<i>Figura 51 - Idade do motorista P02</i>	63
<i>Figura 52 - Gênero do motorista P02</i>	63
<i>Figura 53 – Renda do motorista P02</i>	64
<i>Figura 54 – Financiador do pedágio P02</i>	64
<i>Figura 55 – Origens e Destinos dos veículos leves no sentido norte da P02</i>	66
<i>Figura 56 – Origens e Destinos dos veículos leves no sentido sul da P02</i>	67
<i>Figura 57 – Linhas de desejo dos veículos leves na P02 Capão Seco</i>	68
<i>Figura 58 – Tipo de local de origem e destino P03</i>	69
<i>Figura 59 – Frequência de viagem Sentido Norte</i>	70
<i>Figura 60 – Frequência de viagem Sentido Sul</i>	70
<i>Figura 61 – Uso de cobrança automática P03</i>	71
<i>Figura 62 – Número de passageiros P03</i>	71
<i>Figura 63 – Idade do motorista P03</i>	72
<i>Figura 64 – Gênero do motorista P03</i>	72
<i>Figura 65 – Renda do motorista P03</i>	73
<i>Figura 66 – Financiador do pedágio P03</i>	73
<i>Figura 67 – Origens e Destinos dos veículos leves no sentido norte da P03</i>	75
<i>Figura 68 – Origens e Destinos dos veículos leves no sentido decrescente da P03</i>	76
<i>Figura 69 – Linhas de desejo dos veículos leves na P03 Glória</i>	77
<i>Figura 70 – Caracterização da amostra de veículos pesados OD 2021 – Retiro. Fonte: PERPLAN 2021</i>	78
<i>Figura 71 – Caracterização da amostra de veículos pesados OD 2021 – Capão Seco. Fonte: PERPLAN 2021</i>	80
<i>Figura 72 – Caracterização da amostra de veículos pesados OD 2021 – Glória. Fonte:</i>	

<i>PERPLAN 2021.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 73 – Frequência de uso da rodovia em relação à posse de sistema automático</i>	<i>82</i>
<i>Figura 74 – Distribuição das escolhas de sistemas de cobrança em função da posse de sistema automático.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 75 – Distribuição das escolhas em relação às alternativas de cobrança - Não possui sistema automático de cobrança - Segmentados segundo frequência de utilização da rodovia</i>	<i>84</i>
<i>Figura 76 – Distribuição das escolhas em relação aos cenários PD - Possui sistema automático de cobrança.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 77 – Distribuição das escolhas em relação aos cenários PD – Não possui sistema automático de cobrança.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 78 - Variação da participação do mercado frente ao aumento da fila do pedágio do sistema manual (pagamento manual x automático).....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 79 - Variação da participação do mercado frente ao aumento da fila do pedágio do sistema manual (pagamento manual x automático pré-pago x automático pós-pago).....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 80 - Variação da participação do mercado frente ao aumento do custo do pedágio automático (pagamento manual x automático).....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 81 - Variação da participação do mercado frente ao aumento do custo do pedágio automático (pagamento manual x automático pré-pago x automático pós-pago).....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 82 - Variação da participação do mercado frente ao aumento da taxa de recarga do sistema pré-pago (pagamento manual x automático)</i>	<i>94</i>
<i>Figura 83 - Variação da participação do mercado frente ao aumento da taxa de recarga do sistema pré-pago (pagamento manual x automático pré-pago x automático pós-pago)</i>	<i>95</i>
<i>Figura 84 - Variação da participação do mercado frente ao aumento do custo de adesão do sistema pré-pago (pagamento manual x automático)</i>	<i>95</i>
<i>Figura 85 - Variação da participação do mercado frente ao aumento do custo de adesão do sistema pré-pago (pagamento manual x automático pré-pago x automático pós-pago)</i>	<i>96</i>
<i>Figura 86 - Variação da participação do mercado frente ao aumento do custo da mensalidade do sistema pós-pago (pagamento manual x automático).....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 87 - Variação da participação do mercado frente ao aumento do custo da mensalidade do sistema pós-pago (pagamento manual x automático pré-pago x automático pós-pago).....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 88 - Variação da participação do mercado frente ao aumento do custo de adesão do sistema pós-pago (pagamento manual x automático)</i>	<i>98</i>
<i>Figura 89 - Variação da participação do mercado frente ao aumento do custo de adesão do sistema pós-pago (pagamento manual x automático pré-pago x automático pós-pago)</i>	<i>99</i>
<i>Figura 90 - Variação da participação do mercado frente ao aumento do custo do pedágio manual (pagamento manual x automático).....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 91 - Variação da participação do mercado frente ao aumento do custo do pedágio</i>	

<i>manual (pagamento manual x automático pré-pago x automático pós-pago).....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 92 - Acompanhamento do desempenho de pórticos do sistema SINELEC instalados na EcoNoroeste – leitura de tags.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 93 - Acompanhamento do desempenho de pórticos do sistema SINELEC instalados na EcoNoroeste – reconhecimento de placas frontais.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 94 - Acompanhamento do desempenho de pórticos do sistema SINELEC instalados na EcoNoroeste – reconhecimento de placas traseiras.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 95 – Cadeia de responsabilidade e marcos para liberação dos valores arrecadados.</i>	<i>113</i>

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 – Lista de material</i>	13
<i>Tabela 2 – Plano de Manutenção</i>	21
<i>Tabela 3 – Volume médio diário por sentido e dia da semana para veículos leves – Praça 01</i>	37
<i>Tabela 4 – Volume médio diário por sentido e dia da semana para veículos leves – Praça 04</i>	38
<i>Tabela 5 – Volume médio diário por sentido e dia da semana para veículos leves – Praça 05</i>	39
<i>Tabela 6 – Fatores de expansão veículos leves</i>	40
<i>Tabela 7 – Atributos e níveis</i>	41
<i>Tabela 8 – Valores iniciais dos parâmetros</i>	43
<i>Tabela 9 – Desenho PD</i>	44
<i>Tabela 10 - Distribuição da amostra</i>	46
<i>Tabela 11 - Resultados da pesquisa OD 2021 - Retiro. Fonte: PERPLAN 2021</i>	79
<i>Tabela 12 – Resultados da pesquisa OD 2021 – Capão Seco. Fonte: PERPLAN 2021</i>	79
<i>Tabela 13 – Resultados da pesquisa OD 2021 – Glória. Fonte: PERPLAN 2021</i>	81
<i>Tabela 14 - Resultados do modelo logit multinomial (MNL) estimado para todos os usuários</i>	86
<i>Tabela 15 - Elasticidade da probabilidade de escolha do sistema de cobrança</i>	89
<i>Tabela 16 – Percentual de veículos que possuem número de eixos compatível com a categoria (MLFF Ecovias Ponte – Março/2025)</i>	106
<i>Tabela 17 – Composição de tráfego</i>	107

1. DESCRIÇÃO DO PROJETO

1.1. Título do projeto: Sistemas *Multi-lane Freeflow* em rodovias sob Concessão ANTT.

1.2. Resumo

Este documento relata um dos subprojetos desenvolvidos com recursos RDT que tem por objetivo geral estudar os impactos da implantação do sistema MLFF e a assertividade do conjunto de classificação em laboratório "pré-montado" na Ponte Rio-Niterói, com a aquisição de equipamentos, licenças, desenvolvimento do software e testes de assertividade do conjunto de classificação.

São objetivos deste subprojeto, que aborda o ambiente da Concessão Ecosul: (i) avaliação das condições atuais de operação da rodovia sob gestão da Concessionária Ecosul, e elaboração de cenários de evolução da demanda; (ii) estudo das possibilidades de implantação na Concessionária Ecosul, com base nas medidas estudadas na rodovia considerando o uso do sistema *Multi-lane Freeflow*.

Para avaliação das condições atuais de operação da rodovia e evolução da demanda foram realizados os seguintes estudos: análise do tráfego de veículos pagantes nas praças de pedágio e pesquisa origem-destino. A pesquisa foi realizada próxima a três praças da concessão EcoSul, sendo elas a Praça de Retiro (P01), Praça de Capão Seco (P02) e Praça de Glória (P03), de forma a obter dados quanto aos deslocamentos realizados pelos motoristas que cruzam esses pontos.

Em relação ao segundo objetivo, a análise das possibilidades de implantação do MLFF, foi realizada uma pesquisa de preferência declarada para avaliar a disposição dos usuários a aderir a um sistema de cobrança automático. Adicionalmente, são discutidos os resultados de assertividade do sistema MLFF implantado na Ponte Rio-Niterói, com vistas à adaptação às condições operacionais da Ecosul.

1.3. Palavras-Chave: *Multi-lane Freeflow*, Concessão rodoviária e Análise de demanda.

1.4. Justificativas

O desenvolvimento do projeto se justifica pela crescente implementação de sistemas MLFF e pela necessidade de adaptação das ferramentas de gestão e análise de tráfego, visando maior eficiência operacional, segurança e melhor prestação de serviço.

A implantação de sistemas *Multi-lane Freeflow* (MLFF) representa uma evolução significativa na gestão de pedágios, permitindo que os veículos passem pelas praças de pedágio sem a necessidade de parar ou reduzir a velocidade. Essa tecnologia utiliza sistemas de identificação eletrônica para tornar a cobrança mais eficiente e fluida, eliminando barreiras físicas e permitindo múltiplas faixas de tráfego livre. No entanto, a adoção do MLFF enfrenta diversas barreiras que precisam ser analisadas e superadas. Entre essas barreiras estão a aceitação dos usuários, a compatibilidade tecnológica, os custos de implementação e manutenção, e a necessidade de ajustes na infraestrutura existente.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo Geral:

Estudar os impactos da implantação de Conjunto de Vídeo Auditoria em laboratório do sistema *multi-lane freeflow* "pré-montado" na Ponte Rio-Niterói, Niterói, com o desenvolvimento e gerenciamento do projeto, suporte a operação e testes de assertividade do Conjunto de Vídeo Auditoria.

1.5.2. Objetivos Específicos:

- Avaliação das condições atuais de operação das rodovias sob Concessão Ecosul, e elaboração de cenários de evolução da demanda;
- Desenvolvimento e gerenciamento do projeto, suporte a operação e avaliação da assertividade do sistema e da assertividade do Conjunto de Vídeo Auditoria no laboratório existente na Ponte Rio-Niterói, pórtico 11, pista sul;
- Estudo das possibilidades de implantação na Concessionária Ecosul, com base nas medidas estudadas na rodovia considerando o uso do sistema *multi-lane freeflow*;
- Avaliação desta solução em concessionárias de rodovias federais sob regulação da ANTT.

1.6. Organização do trabalho:

Este relatório está estruturado em 8 capítulos. Após a introdução, o capítulo 2 apresenta os métodos e técnicas utilizadas no estudo. Os capítulos 3, 4, 5, 6 e 7 descrevem as etapas que compõem o plano de trabalho. O capítulo 8 sintetiza as conclusões, considerações finais e produtos do projeto.

1.7. Período de execução:

O projeto foi executado no período compreendido entre 11/07/2022 e 31/12/2024.

1.8. Local de execução:

As atividades do projeto foram executadas no Laboratório de Sistemas de Transportes (LASTRAN), vinculado à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, onde ocorreram as análises técnicas, reuniões da equipe e testes com os dados. O laboratório com os equipamentos do MLFF foi instalado no pórtico número 24, sentido Niterói - Rio de Janeiro, suspenso sobre 4 faixas, garantindo uma área desobstruída de 6,35m de altura.

1.9. Equipe executora:

A equipe executora foi composta pela coordenadora Helena Beatriz Bettella Cybis, PhD, e pela vice-coordenadora Ana Margarita Larranaga Uriarte, PhD. Também integraram a equipe as estudantes de doutorado Giovana Facchini, Me., Mariana Lovato dos Santos, Me., Lucas Cavalcante Machado, Me., o aluno egresso Douglas Zecchin, Dr., o estudante de mestrado Sander Fraga Farinha da Silva, Eng., com apoio do graduando de Engenharia Civil Raul Júlio Campelo Motta.

1.10. Lista de Material

SISTEMAS MULTI-LANE FREEFLOW EM RODOVIAS SOB CONCESSÃO ANTT

Identificação automática de veículos (AVI)			
Descrição	Fabricante	PN	Quantidade
TITAN, High Performance Reader, AVI High Speed Reading RFID	Star Systems	HRD22000-F-1A	2
Artefato Protocol License	Star Systems	HRD20000-L9	2
802.3at Gigabit POE Injector with power cord	Star Systems	HMS07012	2
Titan, 2 Meter Ethernet CABLE, M12 Plug, 8 Position, Code A,	Star Systems	HCB15000-4	2
AVIOR, Narrow Beam Tolling Antenna	Star Systems	HAN25010-1-M	8
6 meter cable, LMR 400 equivalent N Type Male to N Type Male	Star Systems	HCB08002-6	8

Classificação automática de veículos (AVC)			
Descrição	Fabricante	PN	Quantidade
Laser scanner detector	Comark	LSR2001T	4
Raser scanner detector	Comark	RSR4001L	4
Sensors Bracket	Comark	ST-SN-001	4
Prot	Comark	Protez	4
Power Supply 12V 75W	Digimax	SDR-75-24	8
AXLE COUNTER	Tattile	F02002-000	8
EXTERNAL ILLUMINATOR IR H80/V30 TAT 1200	Tattile	F01920-000	8
ADATTATORE DA PALO VIDEOTEC WSFPO_TATTILE COLORE RAL 5002	Tattile	T19841	8
KIT ADATTATORE PALO ORIZZONTALE	Tattile	T19943	8

Sistema de fiscalização de veículos (VES)			
Descrição	Fabricante	PN	Quantidade
VEGA SMART 2HD NRP	Tattile	F01768	4
EXTERNAL ILLUMINATOR IR H40/V15 TAT 1200	Tattile	F01717	4
GPS on n.1 Vega Smart 2HD NRP	Tattile	T20286	1
VEGA SMART 2HD IR7	Tattile	F01761-2C1	4
EXTERNAL ILLUMINATOR IR730 H40/V15 TAT 1200	Tattile	F01921-000	4
KIT MOUNTING EXTERNAL ILLUMINATOR	Tattile	T21075	8
Carmen SDK Freeflow for ANPR, 4 core, 1 regional license	ARH	CARMEN FF Quad	1

Controladores de zona			
Descrição	Fabricante	PN	Quantidade
Zone controller industrial server DELL XR2	DELL		1
IE4010 with 24GE Copper PoE+ ports and 4GE SFP uplink	CISCO	IE-4010-	2

ports		4S24P	
Cables, Power Supply, Cables Terminations	N/A		1
Rack console 19"	DELL	A1310210	1

Tabela 1 – Lista de material

2. MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS

As etapas 1, 2 e 3, são correspondentes à implantação dos equipamentos para o laboratório do MLFF foram instalados no Pórtico 24, sentido Niterói - Rio de Janeiro. Optou-se por criar uma solução sem dispositivos no chão, que será descrita nas etapas correspondentes.

A etapa 4, correspondente a Pesquisas baseou-se em uma sequência de métodos e técnicas estruturadas em três atividades principais. A primeira corresponde à análise da demanda, com base nos volumes de tráfego de veículos pagantes registrados nas praças de pedágio do trecho sob concessão da Ecosul. A análise considerou dados coletados entre janeiro de 2013 e dezembro de 2023, possibilitando a avaliação do comportamento da demanda ao longo do tempo.

A segunda atividade consistiu na realização da pesquisa origem-destino (OD), aplicada pela empresa Perplan, com análise de dados realizada pela equipe do Lastran. Essa pesquisa teve como objetivo identificar as principais origens e destinos dos usuários da Ecosul, por meio da aplicação de um questionário estruturado com perguntas sobre local de origem e destino, frequência da viagem, número de passageiros, e características dos veículos, entre outros aspectos.

A terceira atividade consistiu na elaboração, aplicação e análise de pesquisa de preferência declarada (PD), com o propósito de captar as escolhas e preferências dos usuários em cenários hipotéticos. Essa técnica envolveu três fases: especificação do modelo econométrico, planejamento experimental e desenho do questionário, sendo aplicada para identificar as preferências dos usuários em relação a atributos específicos de diferentes alternativas de viagem. A coleta de dados foi realizada pela empresa Perplan.

Originalmente a proposta considerou a elaboração de pesquisa de Preferência Declarada, que investigasse a disponibilidade dos usuários da Ecosul a alterar seus horários de viagem em resposta a um sistema de tarifas variáveis com o congestionamento. Entretanto ao longo do projeto, uma análise mais aprofundada do perfil dos usuários da Ecosul levou à consideração que existe uma grande heterogeneidade entre estes usuários. A concessão contempla longos trechos interurbanos, tráfego de carga que se destinam ao Porto de Rio Grande, com uma diversidade na composição do tráfego e em grande parte de sua extensão não apresenta congestionamento compatível com este tipo de análise. A investigação da aderência dos usuários à tarifa variável não levaria a um modelo de comportamento consistente e de utilidade para a Concessionária. Desta forma, foi realizada uma reunião entre pesquisadores do Lastran, técnicos da Ecosul e do grupo Ecorodovias para discutir qual escopo de pesquisa seria de maior utilidade, tendo em vista os desafios da Ecosul e o perfil de seus usuários. Esta reunião ocorreu

no dia 6 de dezembro de 2023 e foi estabelecido que o foco da pesquisa de Preferência Declarada seria a análise da disposição dos usuários a aumentar sua adesão a meios eletrônicos de cobrança.

3. ETAPA 1: INSTALAÇÃO DE EQUIPAMENTOS E ADAPTAÇÃO DO PÓRTICO

Para o laboratório do MLFF instalado no Pórtico 24, sentido Niterói - Rio de Janeiro, optou-se por criar uma solução sem dispositivos no chão, fazendo uso de tecnologias inéditas. O pórtico foi equipado com os dispositivos necessários para:

- Detectar veículos;
- Identificar veículos por meio de leitura de *tag* e ou placa;
- Registrar a imagem de placas traseira e/ou dianteira;
- Classificar o veículo de acordo com o tipo, quantidade de eixos e pneus em rodados duplos.

Todas as faixas terão a mesma configuração necessária para a contagem de eixos pelos dispositivos, os quais foram instalados em apenas duas faixas. Além dos dispositivos, foi instalada na parte superior do pórtico a parte eletrônica para garantir energia e comunicação aos dispositivos, enquanto o controlador de zona foi instalado em um outro local coberto.

Para cada veículo que passe por baixo do pórtico, foi criada uma transação contendo todos os dados gerados pelos dispositivos; esses dados e todas as fotos relacionadas foram coletados e disponibilizados em um aplicativo para verificação e análise. Todos os dados coletados foram utilizados para calcular KPIs para avaliação do desempenho do sistema e dos dispositivos.

Durante o período de fevereiro a outubro de 2023, foi realizada com sucesso a instalação dos equipamentos no pórtico 24 da unidade Ecovias Ponte. Essa etapa teve como foco a adaptação da estrutura existente para viabilizar a implantação do Multi-Lane Free Flow (MLFF), voltado à avaliação de tecnologias de pedágio eletrônico sem barreiras.

Foram instalados e configurados diversos dispositivos essenciais para o funcionamento do sistema, incluindo antenas de alta frequência, câmeras rodoviárias com capacidade para monitoramento em alta velocidade, refletores LED e infravermelhos, radares de tráfego e contadores de eixos. Além da instalação física, também foi realizada a configuração da rede e a integração dos equipamentos ao sistema de comunicação, garantindo a operacionalidade do conjunto.

Atividades Executadas:

- Adaptação do pórtico para receber os equipamentos.
- Antenas (12-57V, 1,25A, 860-960MHz e polarizadas 865-928MHz)
- Switch de redundância (HMS12001-1A)
- Contador de eixos (até 180 km/h)
- Câmeras rodoviárias (até 250 km/h, alcance de 35m)

- Refletores LED e infravermelho (IV) (12-30V CC e 1200W 24V CA/CC)
- Radares LTR5001 COMARK (2 unidades)

Além disso, foi realizada a configuração de rede e comunicação dos equipamentos. A Figura 1 mostra a instalação dos equipamentos no pórtico.

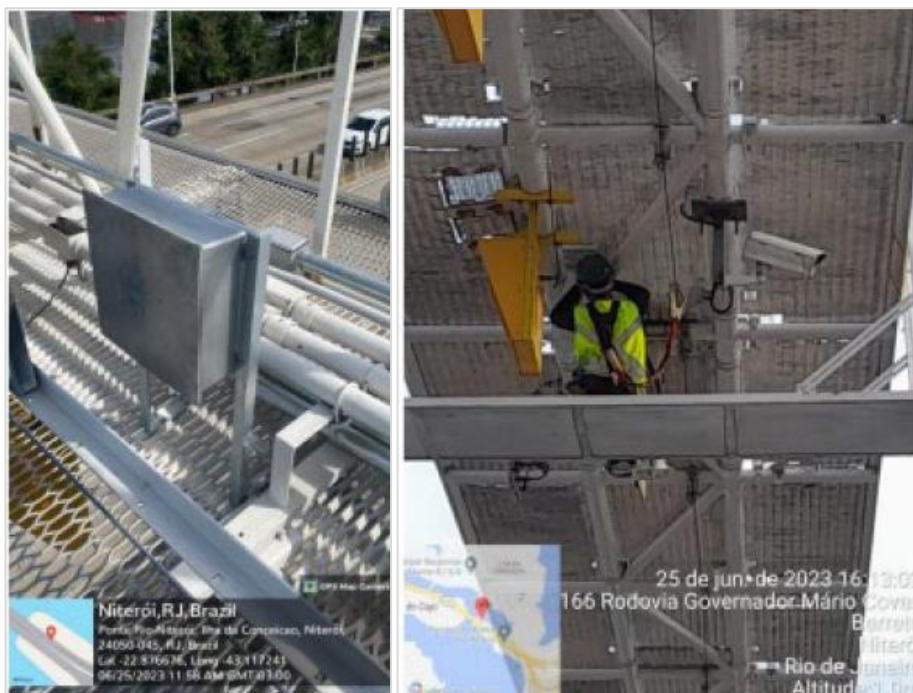


Figura 1 – Implantação dos equipamentos



Figura 2 – Disposição dos equipamentos

3.1. LAUDO INSTALAÇÃO DO EQUIPAMENTOS

O documento "Laudo Instalação art2020250077601.pdf" trata da execução de um serviço técnico de instalação de dispositivos para o sistema Multi Lane Free Flow em um pórtico existente, localizado no trecho de concessão administrado pela Concessionária de Ponte Rio-Niterói S.A. – ECOVIAS PONTE.

Cópia para conferência sem valor legal

2ª Via - CONTRATANTE
ART de Obra ou Serviço

INICIAL
INDIVIDUAL

1. Responsável Técnico LUIZ FERNANDO GOMES ANTUNES Título profissional: ENGENHEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES		RNP: 2613121416
Empresa contratada: MARSAO AUTOMAÇÃO RODOVIARIA LTDA-ME		Registro: 2016110415
		Registro: 2016200590

2. Dados do contrato Contratante: CONCESSIONARIA DE PONTE RIO-NITEROI S.A - ECOPONTE Complemento: TRAVESSA MARIO NEVES Cidade: NITEROI Contrato: EPON-AUT-CT00001/23 Celebrado em: 16/03/2023 Valor do Contrato: R\$ 223.651,60		Bairro: ILHA DA CONCEIC UF: RJ Tipo de Contratante: PESSOA JURIDICA DE DIREITO PRIVADO	CPF/CNPJ: 22.163.297/0001-49 Nº: 1 CEP: 24050290
---	--	---	---

3. Dados da Obra/Serviço RUA MARIO NEVES Complemento: Cidade: NITEROI Data de Início: 01/01/2025 Previsão de término: 31/05/2025 Finalidade: INFRAESTRUTURA Proprietário: CONCESSIONARIA DE PONTE RIO-NITEROI S.A - ECOPONTE		Bairro: ILHA DA CONCEIC UF: RJ Coordenadas geográficas: -22,877896 -43,113825	Nº: 1 CEP: 24050105 CPF/CNPJ: 22.163.297/0001-49
---	--	--	---

4. Atividade técnica 27 - EXECUCAO DE INSTALACAO 42 - MELHORAMENTO 73 - OUTROS 175 - OUTROS	Quantidade 2.00	Unidade h/d	Pavimento -
--	---------------------------	-----------------------	-----------------------

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5. Observações SERVIÇO DE IMPLANTAÇÃO DE DISPOSITIVOS PARA SISTEMA MULTI LANE FREE FLOW EM PÓRTICO EXISTENTE NO TRECHO DE CONCESSÃO ADMINISTRADO PELA CONCESSIONÁRIA ECOPONTE.

6. Declarações

7. Entidade de classe NENHUMA

ATENÇÃO!

- O registro da ART, assim como a sua impressão no formato oficial, serão possíveis somente a partir da confirmação do **seu pagamento no sistema do Crea-RJ**.
- O pagamento do valor de registro da ART deve ser feito unicamente na rede bancária.
- A data de lançamento do pagamento por agendamento não é considerada para registro da ART. Neste caso, somente a **data da liquidação válida o registro**.

Figura 3 – Laudo de instalação

4. ETAPA 2: AQUISIÇÃO DE LICENÇA SOFTWARE

Paralelamente à instalação dos equipamentos, foi realizada a aquisição da licença de software necessária para a operação do sistema MLFF. A licença, identificada como MLFF – SW WBE: T003.00299.005, foi adquirida junto à empresa Sinelec, conforme previsto contratualmente.

O pagamento da invoice foi efetuado dentro do prazo estipulado, assegurando a legalidade e a funcionalidade do ambiente de testes. A obtenção dessa licença foi fundamental para garantir a continuidade das etapas seguintes do projeto, especialmente os testes de desempenho e a coleta de dados em ambiente real.

Atividade Executadas:

- Aquisição da licença de software:
- Produto: MLFF – Licenças SW WBE: T003.00299.005
- Fornecedora: Sinelec

5. ETAPA 3: TESTES NO LABORATÓRIO MLFF

A implantação do sistema de cobrança automática MLFF representou um marco na modernização dos modelos de pedágio, sendo tratada como um verdadeiro laboratório tecnológico em ambiente real. A instalação inicial envolveu o pórtico 24, suspenso sobre quatro faixas, com vão livre de 6,35m de altura.

Para essa Prova de Conceito (POC), foi adotada uma solução disruptiva com nenhuma intervenção no solo (sensores). A ideia era clara — eliminar dispositivos intrusivos e testar tecnologias inéditas no Brasil, criando um modelo avançado e replicável. O pórtico foi equipado com sensores e sistemas de última geração para:

- Detecção e classificação de veículos, incluindo leitura de *tags* (quando disponíveis);
- Leitura automática de placas dianteiras e traseiras com câmeras de Reconhecimento Automático de Placas (ANPR);
- Contagem de eixos e identificação de pneus em rodado duplo, utilizando sensores laser/radar e inteligência de vídeo aplicada.

Embora todas as faixas estejam aptas à operação, os dispositivos de contagem foram alocados em apenas duas faixas, mantendo a padronização necessária para testes comparativos. A estrutura eletrônica foi instalada na parte superior do pórtico para fornecer energia e comunicação, enquanto o controlador de zona foi posicionado em área coberta próxima.

Cada passagem sob o pórtico gera uma transação única e completa — composta por dados oriundos de imagens e metadados. Essas informações são reunidas, processadas e disponibilizadas via aplicativo para análise e verificação. Os dados coletados também são utilizados para calcular KPIs de desempenho do sistema, sendo comparados com os resultados da praça de pedágio tradicional usada como referência.

- Entre os principais objetivos da POC, destacam-se:
- Medição e avaliação de KPIs com base em dados reais;
- Validação técnica da solução em um cenário nacional;
- Comparação com o modelo convencional de pedágio.

A solução S*Gate escolhida para o teste reúne sensores robustos e padronizados, combinando eficiência operacional com facilidade de manutenção. O sistema foi projetado com foco na disponibilidade, simplicidade de operação e flexibilidade para evolução futura, incluindo AET (cobrança eletrônica integral) e arquitetura redundante.

A estrutura conta com:

- Câmeras ANPR dianteiras e traseiras;
- Leitores AVI com antenas para leitura de *tag*;
- Sensores laser/radar para escaneamento volumétrico;
- Contagem automática de eixos via análise de vídeo, dispensando loops no pavimento;
- Servidor industrial dedicado e sistema de comunicação;
- Proteção contra falhas com UPS local, garantindo continuidade e desligamento seguro.

A inteligência do sistema está na correlação em tempo real dos dados: sensores, câmeras e leitores AVI trabalham de forma coordenada, gerando uma única transação por veículo com base em gatilhos automáticos, leitura de placas e dados do *transponder*, se presente. O módulo de controle integra e valida todas essas fontes, formando um registro único por veículo, que é então transmitido ao Host de Pedágio para validação e auditoria.

Um dos diferenciais técnicos é o modo Ativação Automática das câmeras, com início/fim da captura baseado na posição exata do veículo na imagem. Ademais, o sistema de contagem gera uma única imagem reconstituída do veículo, criada a partir de múltiplos frames capturados durante a passagem — ideal para rastreabilidade e auditoria. A Figura 5 apresenta a arquitetura de funcionamento do pórtico instalado.



Figura 5 – Esquemático da arquitetura de funcionamento do pórtilo

O processo de calibração dos equipamentos demandou meses de ajustes finos, especialmente para adaptar o sistema à realidade do tráfego local. Um dos maiores desafios foi o comportamento dos usuários de motocicleta, que frequentemente desrespeitam o fluxo natural das faixas e cortam os veículos por todos os lados, gerando ruído nos dados captados e dificultando a correlação entre sensores e veículos. Esse padrão de comportamento exigiu reprogramações e adaptações específicas na lógica de detecção, principalmente no módulo de contagem e classificação.

5.1.PLANO DE MANUTENÇÃO E INTERVENÇÕES NO PÓRTICO.

Plano de Manutenção.

A tabela Plano de manutenção apresenta os equipamentos e cronograma de preventiva, a Figura 6 apresenta uma interface de um sistema de gestão de manutenção, especificamente voltado para o controle e execução de planos de manutenção preventiva. O foco está no pórtilo de pedágio eletrônico e nos sistemas instalados nele, pertencentes à tecnologia MLFF (Multi-Lane Free Flow) da Ecovias Ponte.


		Multi-Lane Free Flow			
Equipamento	Tarefa	Responsável	Periodicidade		
Câmeras, Laser Scanner e Antenas	Verificar no sistema de monitoramento do freeflow se todas as câmeras, laser scanners e antenas estão funcionando corretamente antes do início das atividades	Manutenção	Anual		
Câmeras	Verificar integridade física da câmera, fixação e realizar limpeza das lentes.	Manutenção	Anual		
Laser Scanner	Verificar integridade física dos equipamentos, fixação e realizar limpeza	Manutenção	Anual		
Antenas	Verificar integridade física das antenas, fixação e realizar limpeza.	Manutenção	Anual		
Software de Monitoramento	Verificar através do software se todos os equipamentos estão funcionando corretamente após as manutenções	Manutenção	Anual		
Câmeras	Verificar funcionamento das câmeras através do software de monitoramento	Manutenção	Mensal		
Laser Scanner	Verificar funcionamento via através do software de monitoramento	Manutenção	Mensal		
Antena	Verificar o correto funcionamento da leitura das tags através do software de monitoramento	Manutenção	Mensal		
Desktop	Verificar o funcionamento, realizar limpeza externa, verificar cabeamento e conferir se há erros.	Manutenção	Mensal		
Pórtico	Inspecionar visualmente os equipamentos instalados na estrutura do pórtico, e verificar se há cabos soltos, pendurados ou expostos	Manutenção	Mensal		
Estrutura do Pórtico	Verificar oxidação, trincas, desalinhamento, parafusos soltos ou corrosão na estrutura metálica.	Manutenção	Anual		
Armário Técnico	Verificar vedação, limpeza e condições dos armários técnicos.	Manutenção	Anual		
Concentrador de Antenas	Observar LEDs indicadores, realizar limpeza externa, verificar aquecimento e garantir que os cabos de rede e energia estejam firmemente conectados	Manutenção	Anual		
Cabos, tomadas e disjuntores	Inspeção elétrica	Manutenção	Anual		
Computador Industrial	Realização de limpeza e backup de dados	Manutenção	Anual		

Tabela 2 – Plano de Manutenção

Habilitado Desabilitado Arquivado

Buscar Descrição Buscar Novo cadastro

Planos de manutenção preventiva Código (TAG) [config]

Família de ativo

OC07.MAN.PREV.MLF.1M-Manutenção Preventiva Mensal MULTI-LANE FREE FLOW Unidade: OC07-ECOVIAS PONTE Família: MLF-MULTI-LANE FREE FLOW

OC07.MAN.PREV.M...

Plano de manutenção: OC07.MAN.PREV.MLF.1M-Manutenção Preventiva Men...

Atividades Ativos Parâmetros Configurações Ordens de manutenção

Buscar Número Buscar Importar

Núme...	Imagem	Atividades
1		<p>Parte a verificar: Câmera OCR Tarefa: Verificar funcionamento via software do Free Flow Instruções de trabalho:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Acessar o sistema do Free Flow, selecionar a câmera em verificação e validar se está ativa, capturando imagens em tempo real e registrando corretamente as placas lidas. Confirmar se as leituras estão sendo armazenadas e enviadas para o banco de dados. • Acompanhar a passagem de veículos e verificar no sistema se a leitura da placa ocorreu corretamente, sem erros ou falhas de reconhecimento • Confirmar se os LEDs infravermelhos (IR) estão acionando automaticamente em condições de baixa luminosidade <p>Caso qualquer uma das condições não seja atendida abrir uma ordem de manutenção corretiva e realizar a normalização. Periodicidade: 1M</p>
		<p>Parte a verificar: Laser Scanner Tarefa: Verificar funcionamento via software Stargate Instruções de trabalho:</p>

Mão de obra: 7,33 Materiais: -- Recursos de apoio: Tempo de parada dc

Figura 6 – Sistema gerenciamento de manutenção

Suporte Antena-A3

A Figura 8 apresenta um desenho técnico de um suporte metálico destinado à fixação de antenas em estruturas rodoviárias a chapa de Aço Carbono com 4 mm de espessura – utilizada como base estrutural do suporte. Barra Rosca M22 (3/4") – elemento de fixação, provavelmente parafusos ou tirantes. Dimensões indicadas no desenho Figura 7 (ex.: 280 mm, 290 mm, 400 mm, 600 mm), que definem o posicionamento e espaçamento dos elementos do suporte. O suporte é parte da infraestrutura necessária para a instalação de antenas em pórticos rodoviários, integrando sistemas de monitoramento e controle de tráfego.

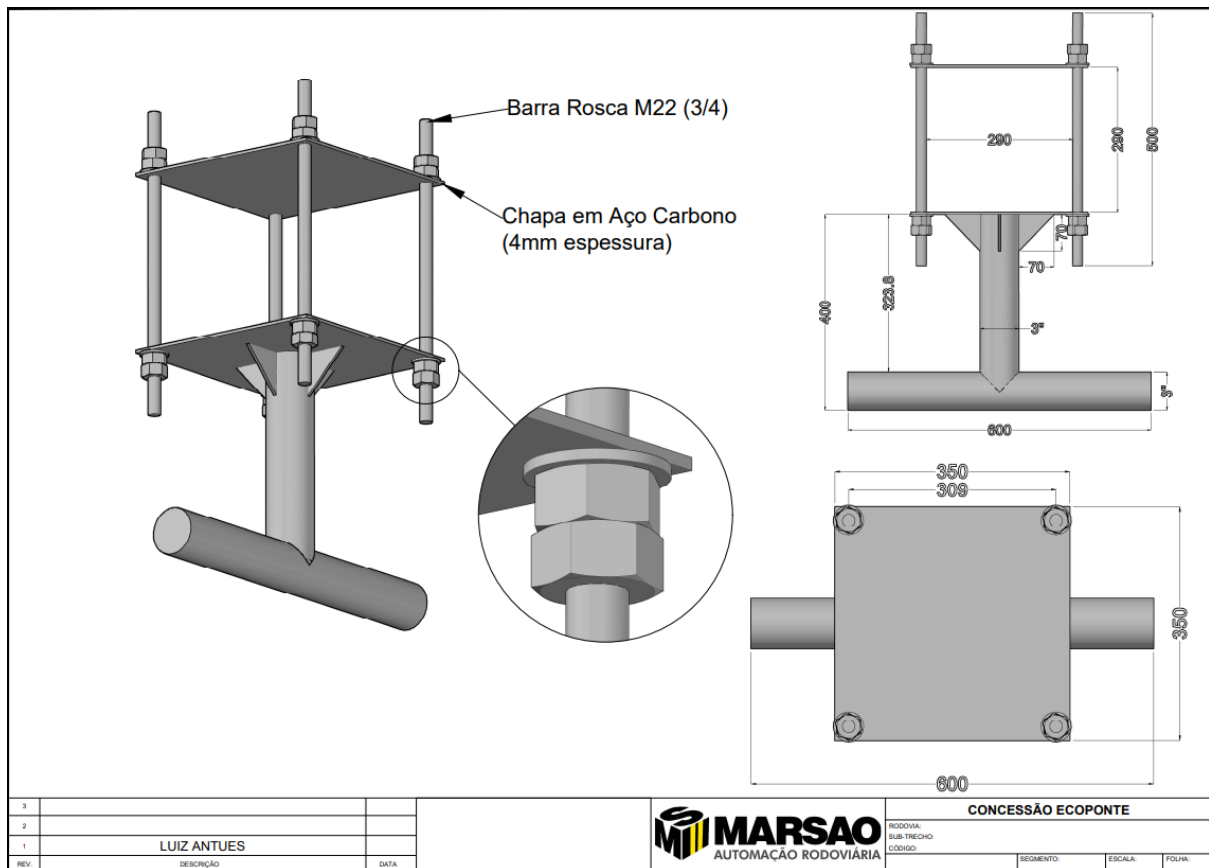


Figura 7 – Suporte Antena-A3

Suporte Câmera-A3

A Figura 9 apresenta um desenho técnico de um suporte metálico destinado à fixação de câmeras com infravermelho (IR) em estruturas rodoviárias. A chapa de Aço Carbono com 4 mm de espessura é utilizada como base estrutural do suporte. Barra Rosca M22 (3/4") – elemento de fixação, provavelmente parafusos ou tirantes. Dimensões indicadas no desenho (ex.: 50 mm, 100 mm, 170 mm, 242 mm, 280 mm, 309 mm, 330 mm, 350 mm), que definem o posicionamento e espaçamento dos elementos do suporte. O suporte é parte da infraestrutura necessária para a instalação de câmeras em pórticos rodoviários, integrando sistemas de monitoramento e controle de tráfego.

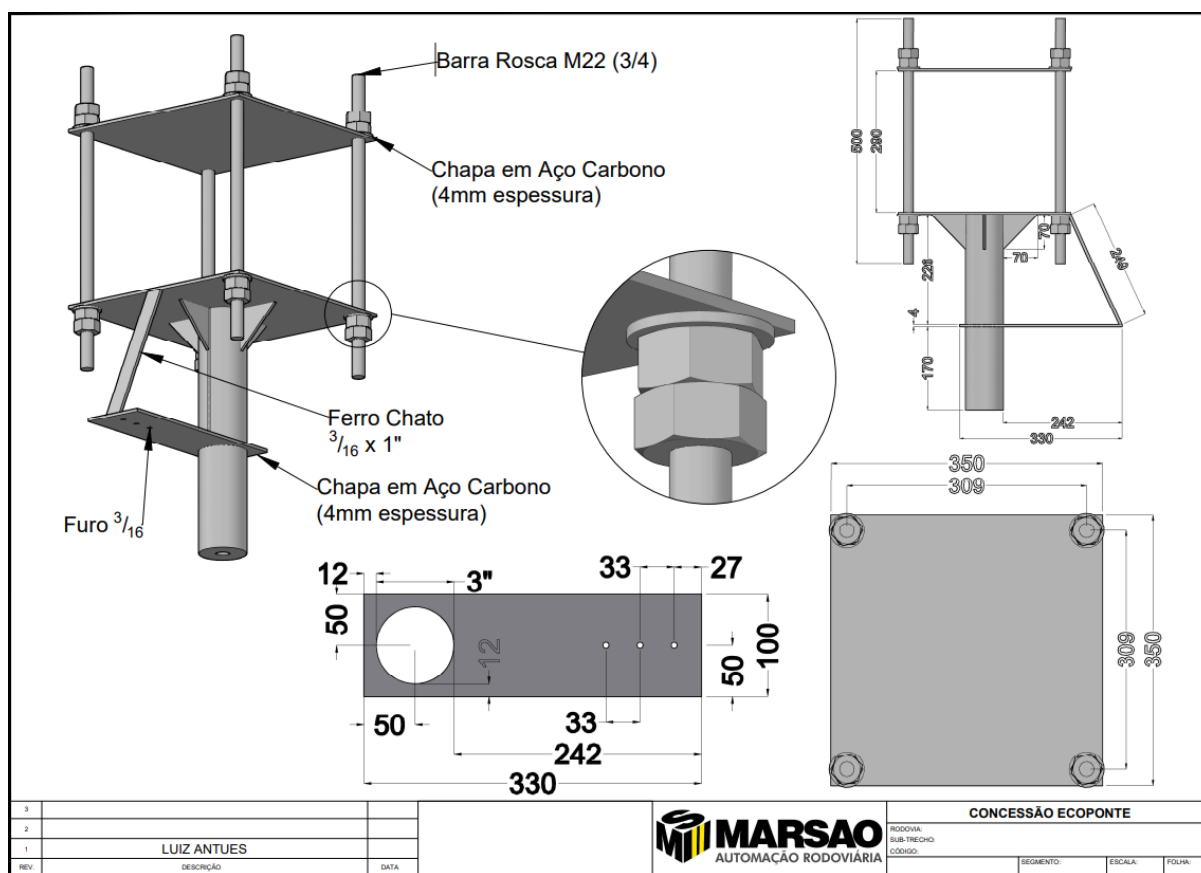


Figura 8 – Suporte Câmera-A3

Suporte IR-A3

A Figura 10 apresenta um desenho técnico de um suporte metálico utilizado em estruturas rodoviárias. A base estrutural do suporte é composta por chapa de Aço Carbono com 4 mm de espessura. O elemento de fixação é uma Barra Rosca M22 (3/4"), possivelmente parafusos ou tirantes. As dimensões indicadas no desenho (ex.: 50 mm, 100 mm, 150 mm, 290 mm, 309 mm, 350 mm, 500 mm) definem o posicionamento e espaçamento dos componentes do suporte. Este suporte faz parte da infraestrutura necessária para a instalação de equipamentos em pórticos rodoviários, podendo integrar sistemas de automação e controle de tráfego.

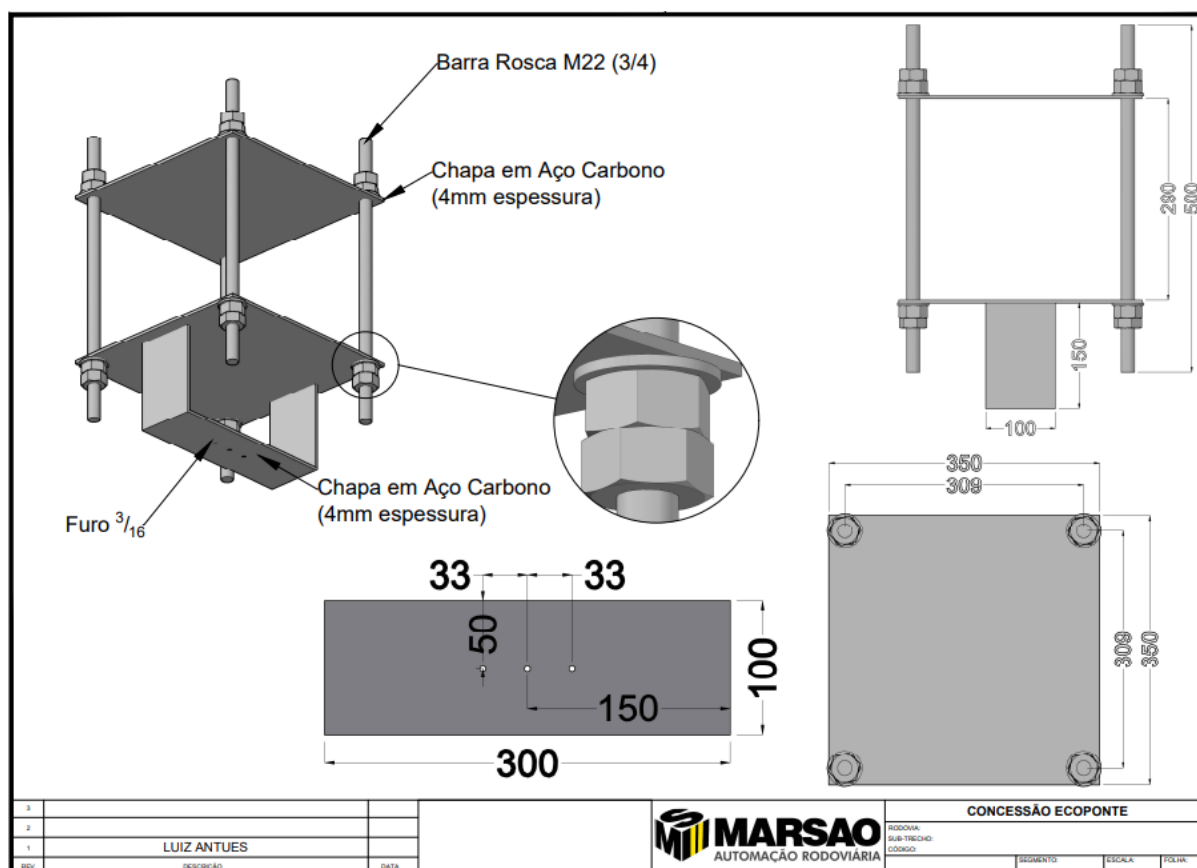


Figura 9 – Suporte Ecovias Ponte IR-A3

6. ETAPA 4: PESQUISAS

A presente seção, referente à Etapa 4, apresenta a análise dos dados de tráfego com base nas informações obtidas nas praças de pedágio ao longo do período avaliado (maio de 2014 a outubro de 2023), buscando identificar padrões de deslocamento e volume veicular. Além disso, são detalhadas a metodologia adotada no planejamento e na execução das pesquisas de origem e destino, voltadas à caracterização dos fluxos de viagem dos usuários, bem como a aplicação da pesquisa de preferência declarada, cujo objetivo é captar as percepções e escolhas dos motoristas diante de cenários hipotéticos de deslocamento.

7. ANÁLISE DA DEMANDA

O Polo de Pelotas possui cinco praças de pedágio, cuja localização e características foram definidas pelo DNER e estabelecidas no PER, com tarifas cobradas nos dois sentidos. A localização das praças é descrita a seguir e apresentadas na Figura 2. As praças foram identificadas na figura como Praças 1, 2, 3, 4 e 5 somente para facilitar a apresentação dos resultados das análises realizadas no presente relatório.

Na BR 116, as praças de pedágio Cristal e Retiro estão situadas nos trechos Camaquã/Pelotas, nas posições relativas de 430,790 km e 510,760 km, respectivamente. Já na rota Pelotas/Jaguarão, a praça de pedágio Pavão está localizada na posição relativa de 541,200 km.

Quanto à BR 392, a praça de pedágio Capão Seco está situada no trecho entre Rio Grande e Pelotas, na posição relativa de 52,180 km. Por sua vez, na rota Pelotas/Santana da Boa Vista, a praça de pedágio Glória está posicionada na marca de 111,460 km.



Figura 10 – Praças de Pedágio EcoSul

O período da análise foi relativo aos volumes de veículos pagantes coletados entre janeiro de 2013 e dezembro de 2023. A análise abrangeu a evolução mensal do volume de veículos pagantes para cada sentido da rodovia e para cada praça. Adicionalmente, foi analisado o método de pagamento, fornecendo a evolução do pagamento automático de pedágio para cada praça.

7.1.1. VOLUMES DE TRÁFEGO

Esta seção apresenta a análise dos dados de volume mensal de veículos pagantes nas praças de pedágio ao longo do trecho concedido, abrangendo o período de janeiro de 2013 a novembro

de 2023. O objetivo da análise é avaliar a variação temporal e a evolução ao longo da última década.

7.1.1.1. EVOLUÇÃO VOLUME MENSAL

O gráfico da Figura 3 ilustra a evolução do volume de veículos em cada sentido da rodovia nas cinco praças ao longo do trecho concedido.

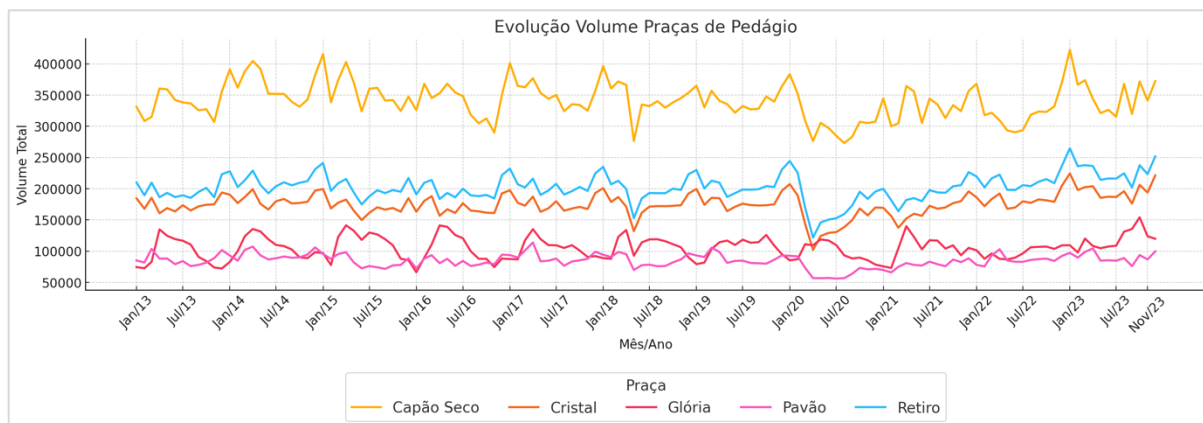


Figura 11 – Variação do Volume Mensal (2013-2023)

O gráfico na Figura 11 apresenta a variação mensal do volume total de veículos registrados em cada praça de pedágio da região entre janeiro de 2013 e novembro de 2023. É possível observar comportamentos distintos entre as praças, com algumas mantendo volumes relativamente estáveis ao longo do tempo, enquanto outras apresentam tendências de crescimento ou queda mais acentuadas. Para uma análise mais aprofundada da evolução do tráfego, as Figura 12 e Figura 13 apresentam separadamente as informações referentes às praças nas rodovias BR 116 e BR 392.

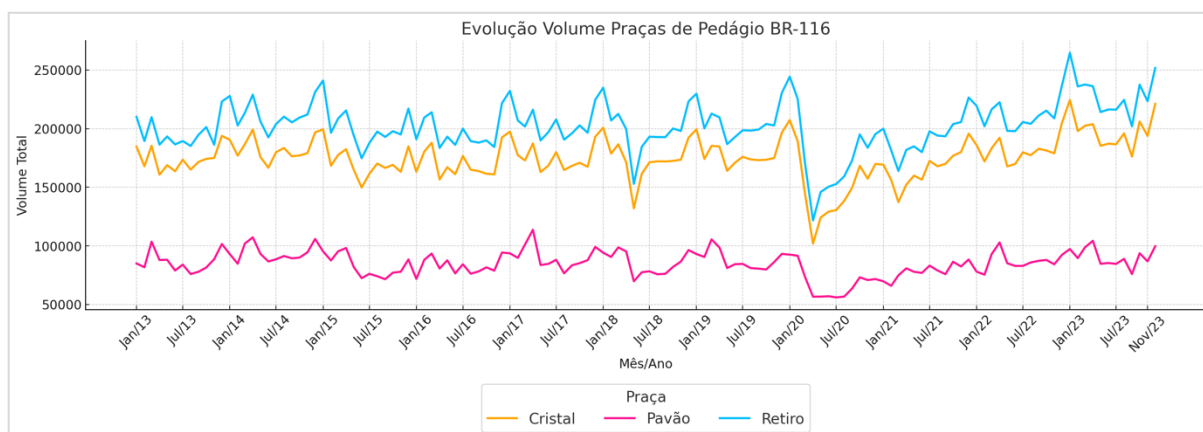


Figura 12 – Variação do Volume Mensal (2013-2023): Praças BR 116

A Figura 12 mostra um aumento no volume de veículos pagantes nas praças da BR116. A praça Pavão registra volumes inferiores em comparação com as praças Cristal e Retiro, representando aproximadamente 35% do volume observado nessas duas últimas praças. O maior volume do período corresponde ao mês de janeiro de 2023, para as praças Cristal e Retiro e a março de 2017 para a praça Pavão.

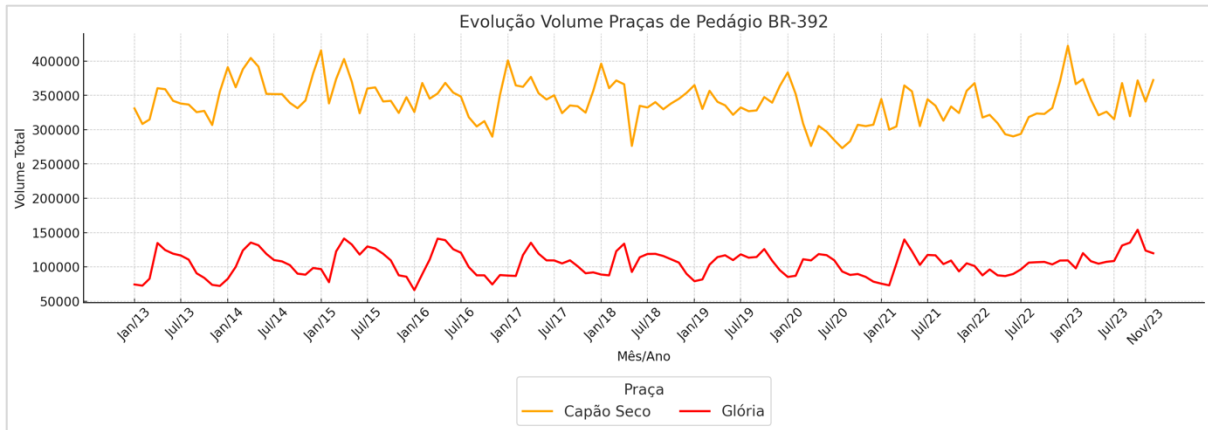


Figura 13 – Variação do Volume Mensal (2013-2023): Praças BR 392

Também é observado um crescimento no volume de veículos pagantes nas praças da BR392, sendo o volume registrado inferior na praça Glória em comparação com a praça Capão Seco. O volume na praça Glória é aproximadamente 31% do volume observado na praça Capão Seco. O maior volume do período corresponde ao mês de janeiro de 2023.

7.1.1.2. EVOLUÇÃO VOLUME POR MÉTODO DE PAGAMENTO

A seguir, é apresentada a evolução do volume de veículos por método de pagamento, manual (Figura 14) e automático (AVI) (Figura 15).

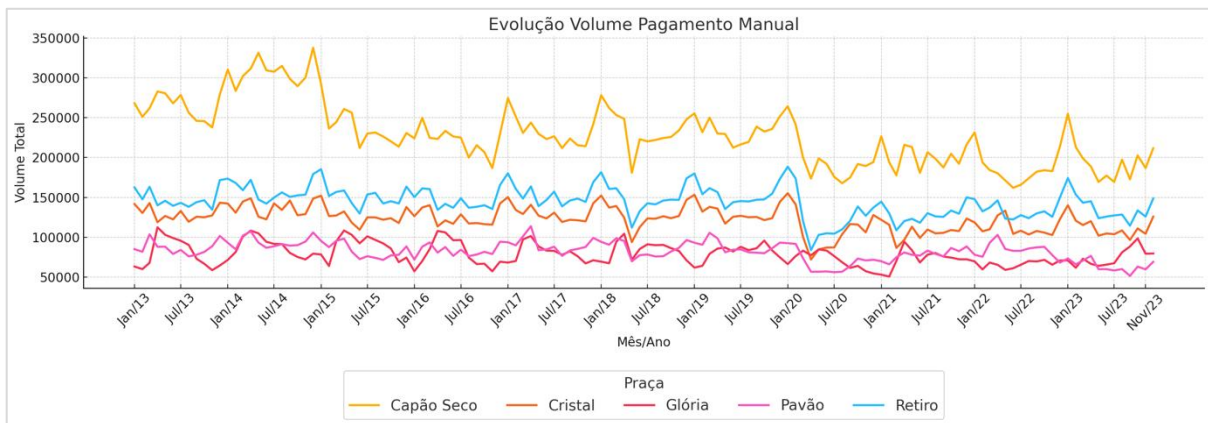


Figura 14 – Variação do Volume Mensal (2013-2023) Pagamento Manual

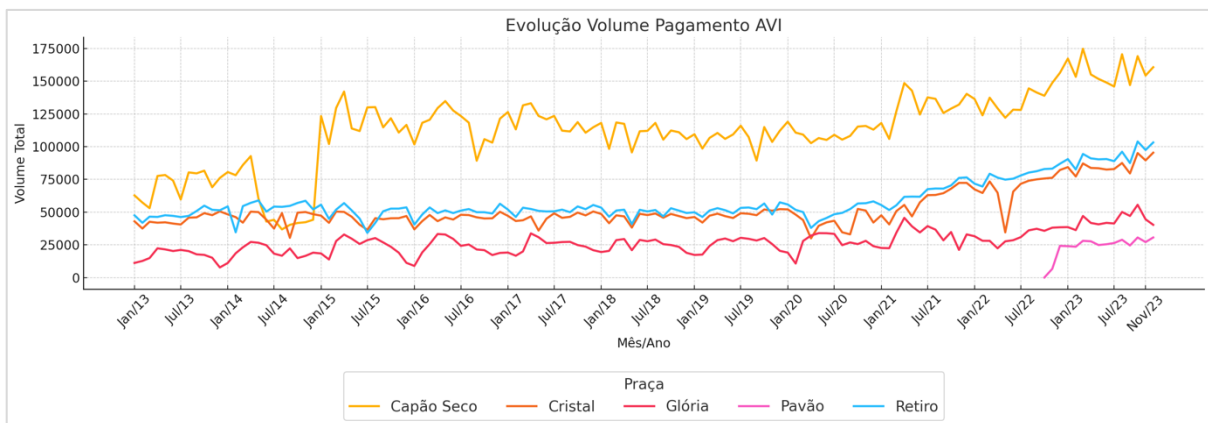


Figura 15 – Variação do Volume Mensal (2013-2023) Pagamento Automático

Observa-se nas figuras um aumento na proporção de veículos que adotam o pagamento automático. Para visualizar mais facilmente essa tendência, a figura subsequente (Figura 16) apresenta a porcentagem de veículos com pagamento automático em relação ao total de veículos pagantes.

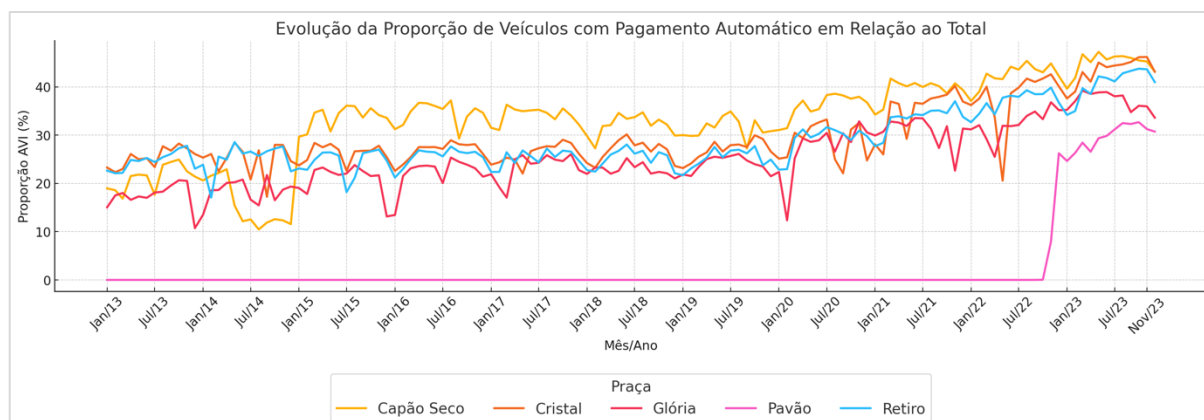


Figura 16 – Variação da Proporção de Veículos com Pagamento Automático (2013-2023)

A porcentagem de veículos com pagamento automático (AVI) apresentou um crescimento expressivo ao longo do período analisado. Em janeiro de 2013, a participação variava entre aproximadamente 17% e 28% nas praças de pedágio. Já em novembro de 2023, os valores situavam-se entre 39% e 64%, representando um aumento de mais de 100% na participação relativa do AVI, o que indica que o uso dessa modalidade praticamente dobrou ao longo da década. Observa-se que a praça Pavão segue apresentando os menores percentuais de adoção do AVI, enquanto praças como Capão Seco e Glória lideram em termos de proporção de veículos com pagamento automático. Os dados recebidos para a praça Pavão não apresentaram fluxos de tráfego na praça AVI antes de outubro de 2022.

7.1.1.3. ANÁLISE POR CATEGORIA VEICULAR

As figuras a seguir apresentam a variação do Volume Médio Diário Mensal por Categoria de Veículo para a P1 Retiro. A Figura 17 para cabines de cobrança manual e a Figura 18 para automáticas. Ao analisar a composição do tráfego, nota-se que, a categoria 1 (veículos de passeio e utilitários) representa mais de 60% do volume médio diário mensal ao longo do período analisado. Essa predominância indica preferência por pagamento manual entre condutores de veículos leves. As demais categorias apresentam participação reduzida, com destaque pontual para as categorias 2 e 11 (veículos comerciais e ônibus). Em contraste com os dados de cabines automáticas, onde a categoria 8 (caminhão com reboque) se destaca, o tráfego manual apresenta uma distribuição mais concentrada na categoria 1.

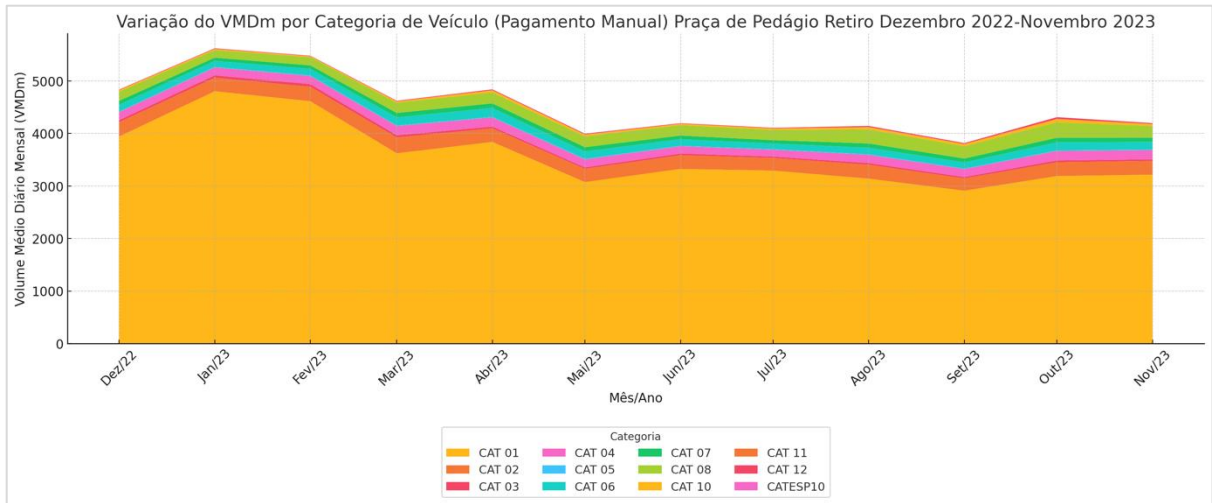


Figura 17 – Variação do Volume Médio Diário Mensal por Categoria de Veículo (P1 Retiro - Manual)

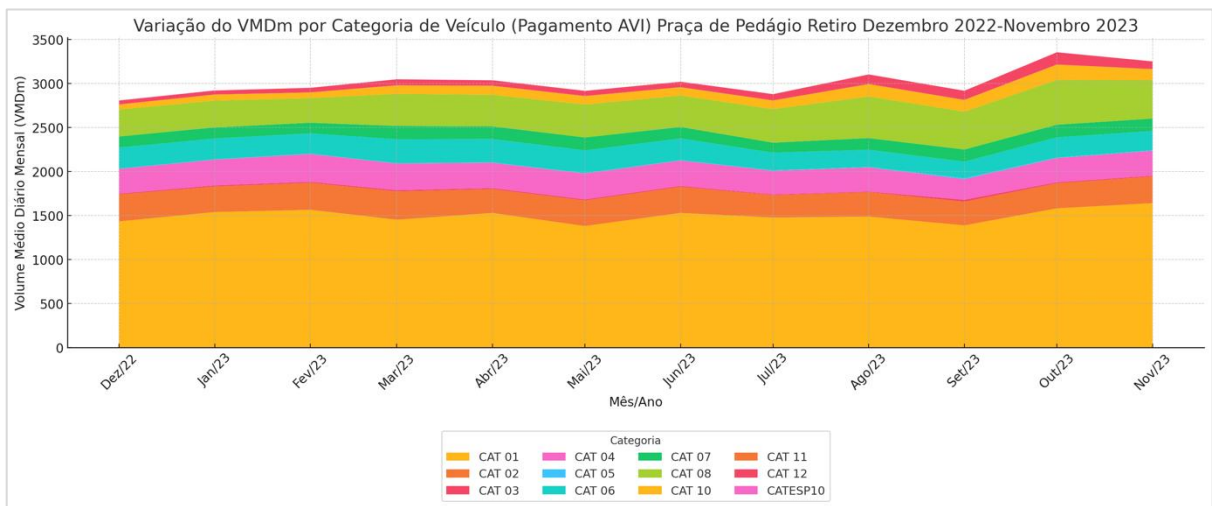


Figura 18 – Variação do Volume Médio Diário Mensal por Categoria de Veículo (P1 Retiro - AVI)

As figuras a seguir apresentam a variação do Volume Médio Diário Mensal por Categoria de Veículo para a P2 Capão Seco. A Figura 19 para cabines de cobrança manual e a Figura 20 para automáticas. Ao analisar a composição do tráfego, nota-se que, nas cabines manuais, a categoria 1 (veículos de passeio e utilitários) representa mais de 70% do volume médio diário mensal. As categorias 2 e 8 aparecem com participação bem menor e estável ao longo do tempo. Já no pagamento automático, a participação da categoria 1 cai para cerca de 35% a 40%, enquanto a categoria 8 cresce e atinge entre 25% e 30%. As categorias comerciais, como 6, 7 e 10, também ganham mais relevância no AVI, indicando uma composição mais diversificada entre os veículos que utilizam o sistema automático.

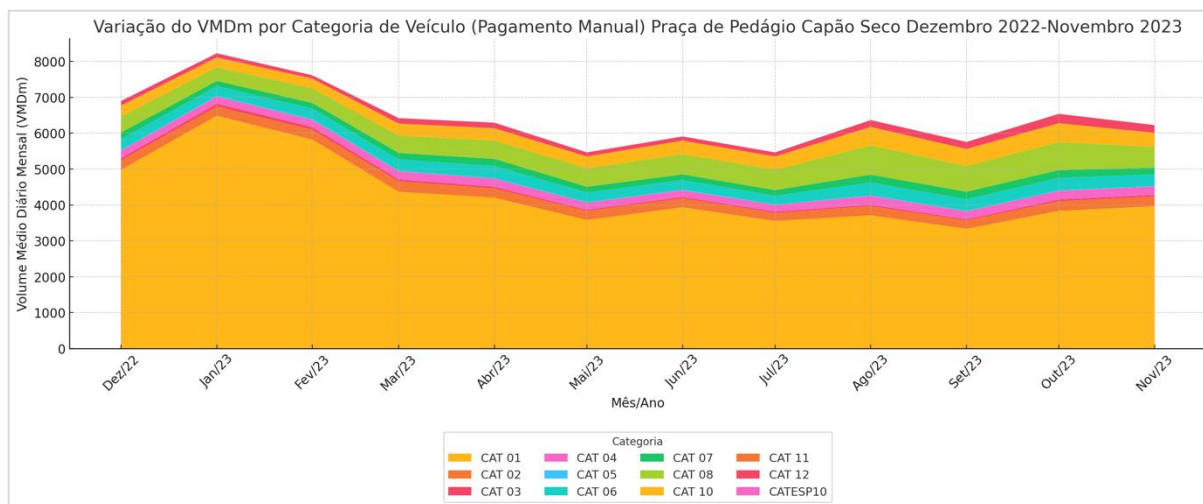


Figura 19 – Variação do Volume Médio Diário Mensal por Categoria de Veículo (P2 Capão Seco - Manual)

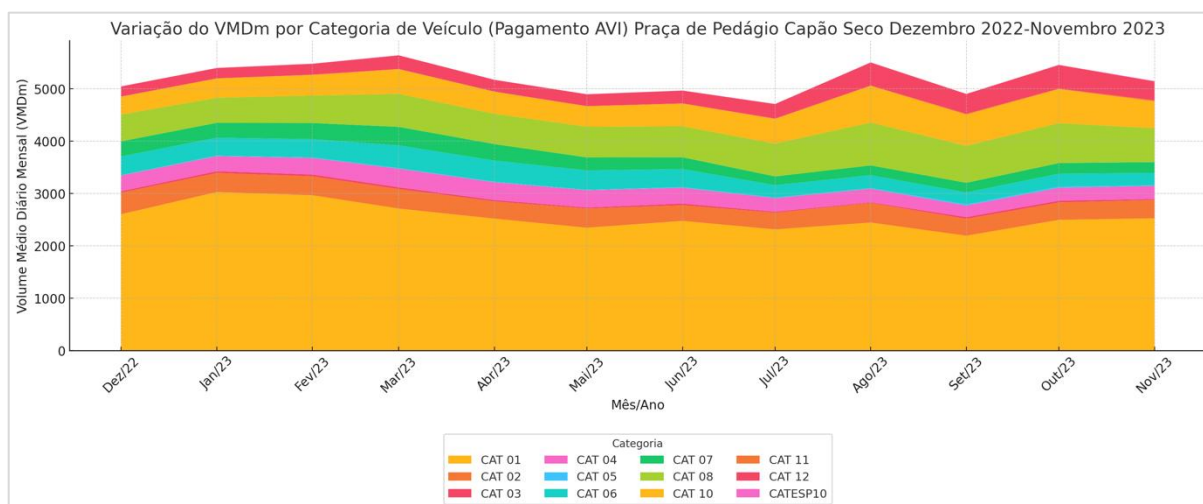


Figura 20 – Variação do Volume Médio Diário Mensal por Categoria de Veículo (P2 Capão Seco - AVI)

As figuras a seguir apresentam a variação do Volume Médio Diário Mensal por Categoria de Veículo para a P3 Glória. A Figura 21 para cabines de cobrança manual e a Figura 22 para automáticas. Os gráficos mostram que por pagamento manual a categoria 1 apresentou participação entre 50% e 60% ao longo do período. As categorias 2 e 8 também possuem volumes significativos, mas em menor escala. Por outro lado, no pagamento automático a

categoria 8 apresenta mais de 30% do volume, seguida pelas categorias comerciais 6 e 10. A categoria 1, que predomina no manual, representa cerca de 10% a 15% no automático.

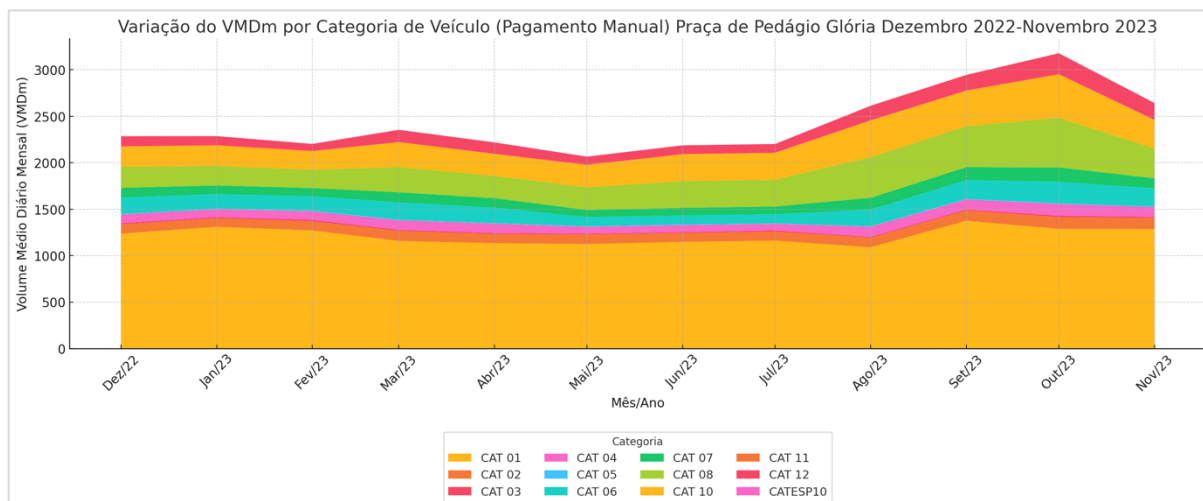


Figura 21 – Variação do Volume Médio Diário Mensal por Categoria de Veículo (P3 Glória - Manual)

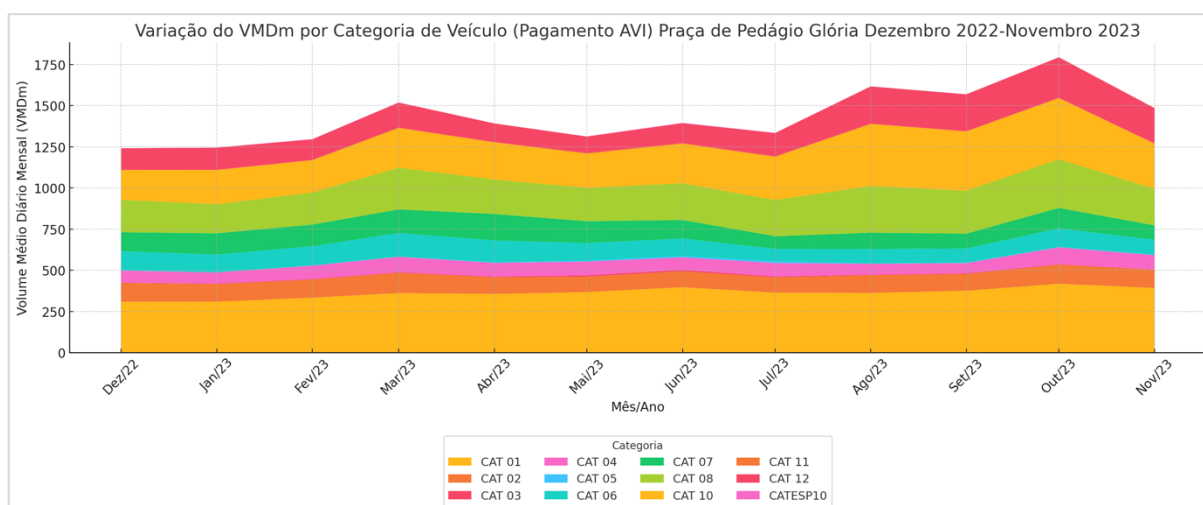


Figura 22 – Variação do Volume Médio Diário Mensal por Categoria de Veículo (P3 Glória - AVI)

As figuras a seguir apresentam a variação do Volume Médio Diário Mensal por Categoria de Veículo para a P4 Pavão. A Figura 23 para cabines de cobrança manual e a Figura 24 para automáticas. Os gráficos evidenciam uma significativa presença da categoria 1 (veículos de passeio e utilitários). Nas cabines de cobrança manual, a categoria 1 representa superior a 60% do tráfego, mantendo-se estável durante todo o período analisado. As demais categorias, como 2, 8 e 10, apresentam proporções significativamente menores, com variações discretas. No pagamento automático, a categoria 1 permanece como a de maior participação, embora reduzida para valores entre 35% e 40%, enquanto a categoria 8 apresenta crescimento, atingindo aproximadamente 20% a 25%. Outras categorias comerciais, como 6 e 10, também aumentam sua representatividade.

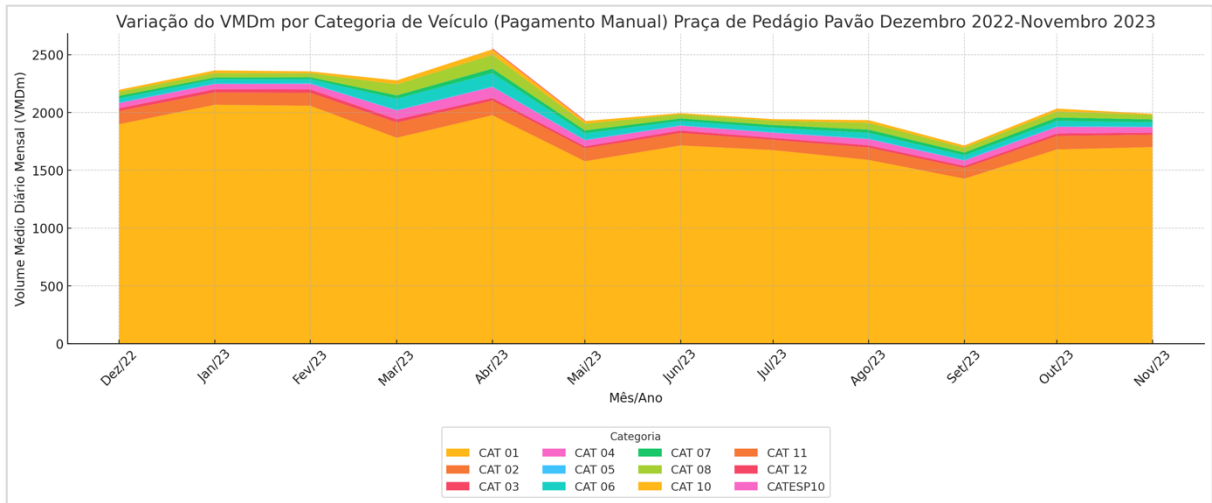


Figura 23 – Variação do Volume Médio Diário Mensal por Categoria de Veículo (P4 Pavão - Manual)

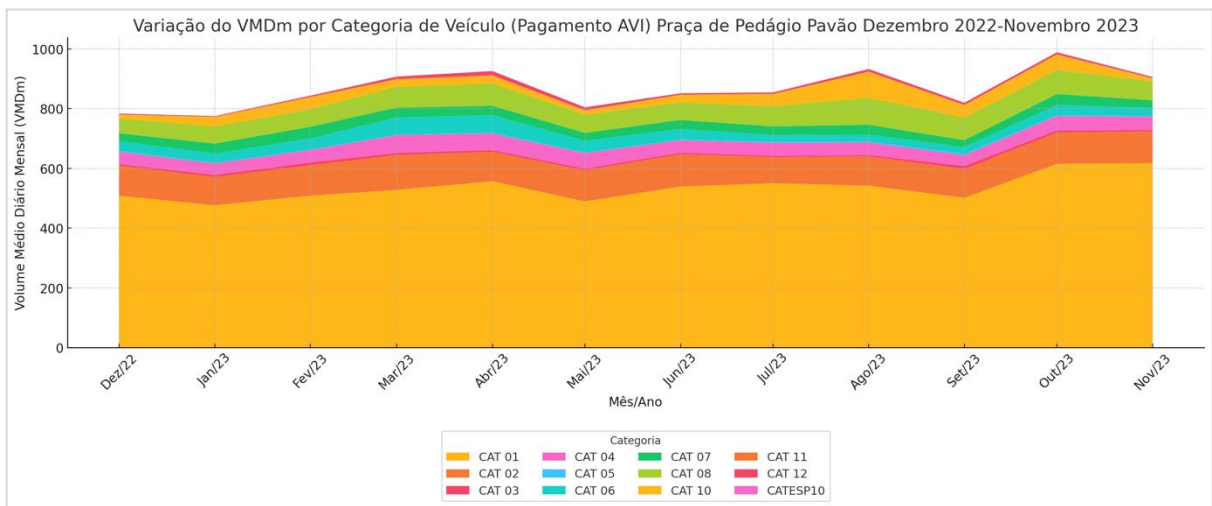


Figura 24 – Variação do Volume Médio Diário Mensal por Categoria de Veículo (P4 Pavão - AVI)

As figuras a seguir apresentam a variação do Volume Médio Diário Mensal por Categoria de Veículo para a P5 Cristal. A Figura 25 para cabines de cobrança manual e a Figura 26 para automáticas. Os gráficos evidenciam uma significativa presença da categoria 1 (veículos de passeio e utilitários). Nas cabines de cobrança manual, a categoria 1 representa entre 60% e 70% do VMDm mensal. As categorias 2 e 8 aparecem de forma complementar, com contribuições modestas e relativamente constantes. Já no pagamento automático, observa-se uma distribuição mais equilibrada entre as categorias: a categoria 1 representa cerca de 40%, enquanto a categoria 8 contribui com aproximadamente 25%. As categorias comerciais 6 e 10 também ganham relevância, indicando maior presença desses veículos no sistema automático.

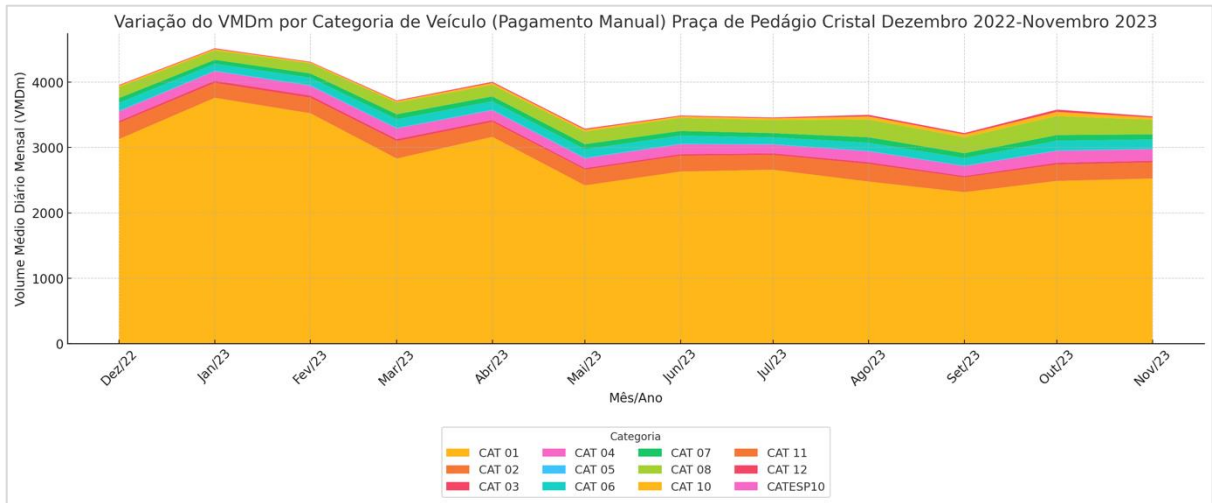


Figura 25 – Variação do Volume Médio Diário Mensal por Categoria de Veículo (P5 Cristal - Manual)

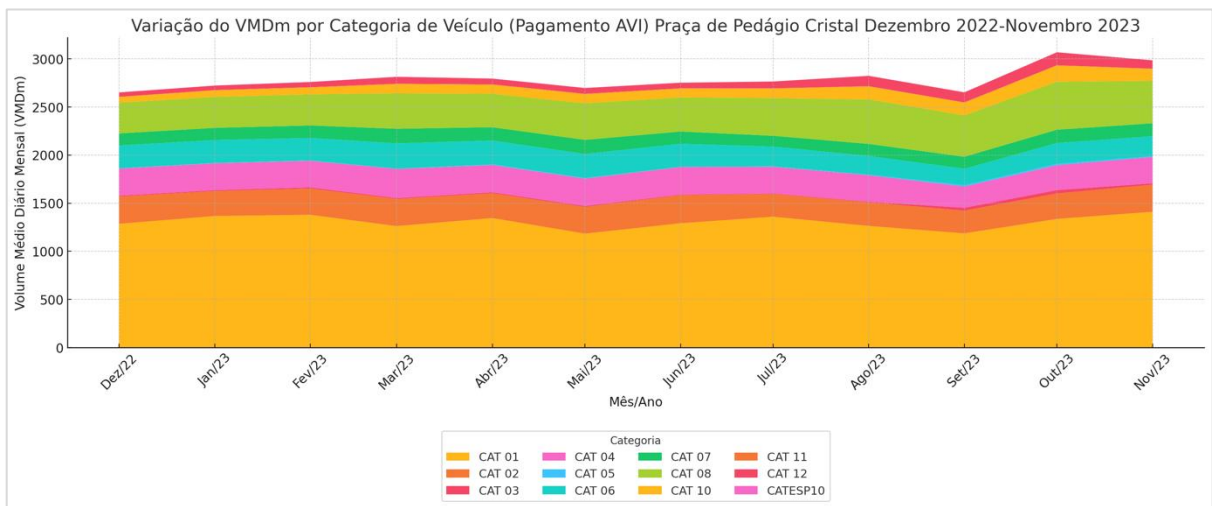


Figura 26 – Variação do Volume Médio Diário Mensal por Categoria de Veículo (P5 Cristal - AVI)

8. PESQUISA ORIGEM-DESTINO

A elaboração e aplicação da pesquisa de origem e destino (OD) foi realizada através de um trabalho conjunto dos integrantes da equipe do LASTRAN e da empresa Perplan. O planejamento da pesquisa foi um produto conjunto do LASTRAN e Perplan, de forma a atender aos objetivos do projeto. A coleta dos dados ficou a cargo da Perplan, realizada nos dias 16 a 20/12/2024, atendendo a restrições operacionais da rodovia e orientações da Polícia Rodoviária Federal.

8.1.1. METODOLOGIA

A pesquisa de origem e destino tem como objetivo principal estabelecer a matriz de viagens dos usuários da Ecosul, identificando as principais origens e destinos desses veículos. Dessa forma, o questionário foi elaborado incluindo perguntas como bairro, município ou estado de origem, bairro, município ou estado de destino, frequência da viagem, número de passageiros, informações sobre os veículos, entre outros. O questionário final da pesquisa está apresentado nos Apêndices deste relatório.

A coleta de dados da pesquisa foi realizada durante três dias pela empresa Perplan nos municípios de Retiro (P01), Capão Seco (P02) e Glória (P03), conforme as datas e locais informados abaixo:

- 17, 19 e 20/12 – Retiro (P01)
- 18, 19 e 20/12 – Capão Seco (P02)
- 17/12 – Glória (P03)

8.1.2. DADOS OBTIDOS

Durante a pesquisa de campo realizada nos dias 17, 18, 19 e 20 de dezembro de 2024, com o objetivo de coletar dados sobre o tráfego de veículos, foram obtidas 490 respostas. Os veículos foram classificados em Leves e Pesados. Devido ao baixo número de veículos pesados entrevistados, não foi feita diferenciação entre o número de eixos na análise do comportamento de viagem desses veículos.

A Figura 27 apresenta a distribuição percentual dos veículos leves entrevistados. Dos 463 veículos pesquisados, sendo a Praça 01 (P01-Decrescente) com a maior participação (33%). Já os demais segmentos foram distribuídos da seguinte forma: P02-Decrescente com 23%, P02-Crescente com 15%, P01-Crescente com 11%, P03-Decrescente com 10% e P03-Crescente com 8%. Apesar da alta concentração de veículos leves nas entrevistas, esse perfil não representa a distribuição real dos veículos nas praças de pedágio, onde a distribuição média é de 64% de veículos leves e 36% de veículos pesados. No item a seguir (Fatores de Expansão) esses números e suas implicações serão apresentados detalhadamente.

A distribuição de veículos pesados é apresentada na Figura 28. No total, foram obtidas somente 27 entrevistas, sendo a sua maioria na Praça 02 (Capão Seco) no sentido decrescente (sul). A Praça 03 (Glória) obteve 7 entrevistas, e os demais pontos de pesquisa obtiveram 2, 1 ou

nenhuma pesquisa de veículo pesado. Segundo a empresa PERPLAN, responsável pela elaboração da pesquisa Origem-Destino, a falta de apoio da Polícia Rodoviária Federal (PRF) prejudicou a obtenção de um maior número de entrevistas. Sem apoio da PRF, as entrevistas precisaram ser realizadas após as cabines de pedágio, sinalizando aos veículos para parar. Dessa forma, foram entrevistados na sua maioria veículos leves, devido à insegurança para abordagem de veículos pesados. Em um segundo momento, os pesquisadores foram solicitados a se posicionar antes das cabines, e convidar os usuários a parar o veículo após a cabine para responder à pesquisa. Tendo em vista que a maior parte dos veículos pesados utiliza a pista AVI, essa operação diminuiu ainda mais a captura de veículos pesados.

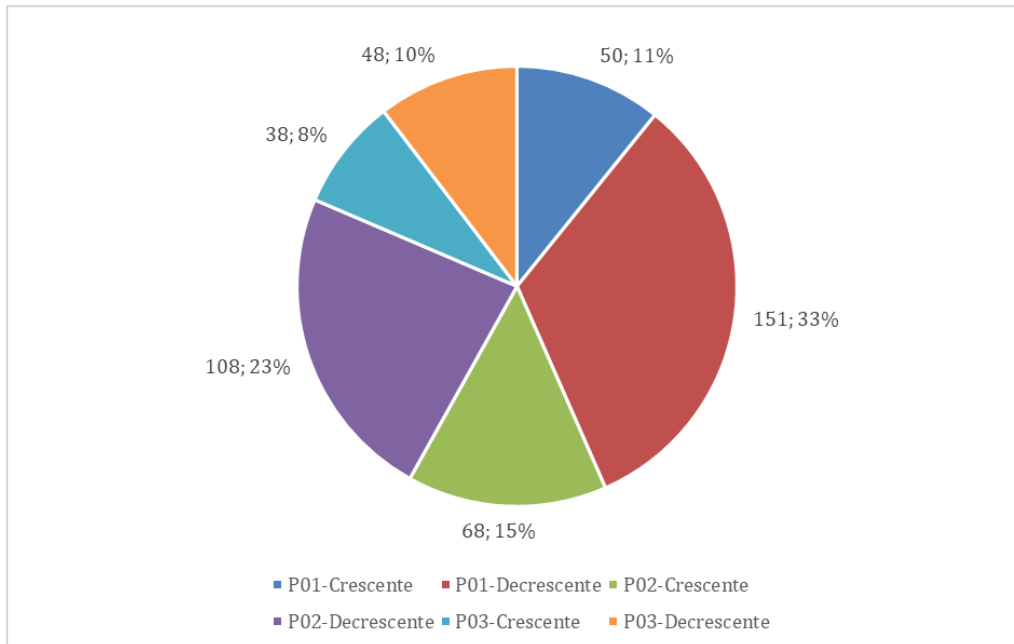


Figura 27 – Número de entrevistados por praça (veículos leves)

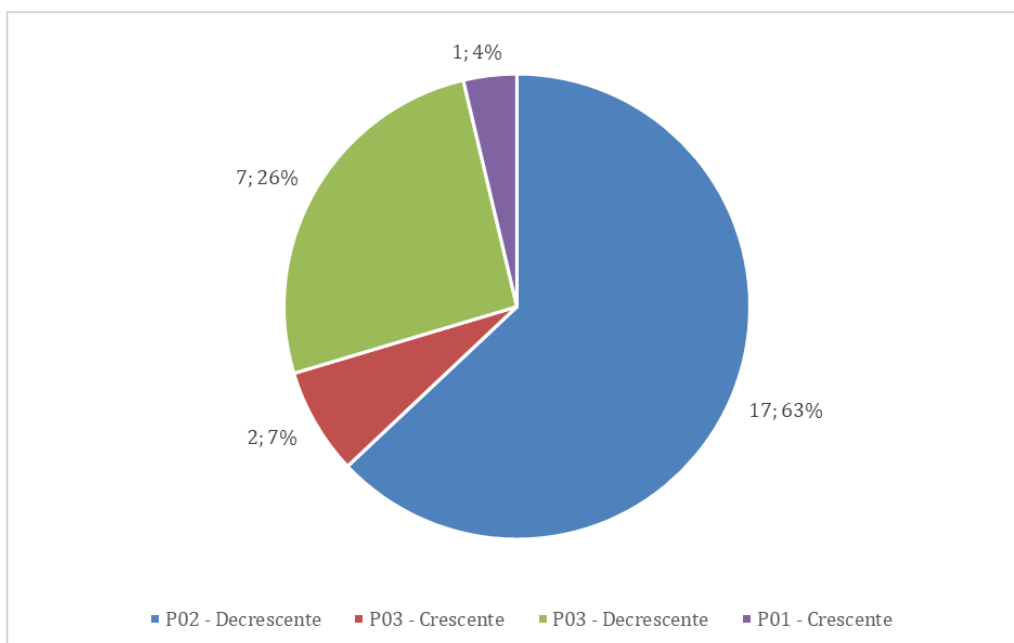


Figura 28 – Número de entrevistados por praça (veículos pesados)

8.1.3. FATORES DE EXPANSÃO

Para o cálculo dos Fatores de Expansão (FE) para a Praça 01, foi considerado o volume médio diário de tráfego entre segunda e quinta-feira nos meses de dezembro de 2022 a novembro de 2023, utilizando o último ano completo de dados disponíveis das cabines de pedágio manuais e do sistema AVI. Inicialmente, foi calculada a média diária por tipo de dia da semana (segunda a quinta-feira) para cada mês considerado. Os meses de dezembro, janeiro e fevereiro foram excluídos na análise, pois nesses meses o tráfego é atípico.

Com o volume médio diário de cada dia da semana, foi calculada o volume médio diário por sentido. Essa média forneceu um valor representativo do tráfego típico durante o ano. Em seguida, o volume médio diário foi dividido pelo número de entrevistas realizadas em cada classe de veículo, resultando nos Fatores de Expansão (FE). A Tabela 3 mostra os resultados do volume médio diário de veículos leves por sentido e por dia da semana na Praça 01.

Mês/Ano	Crescente				Decrescente			
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Segunda	Terça	Quarta	Quinta
dezembro/2022	9.067	7.614	7.346	9.801	7.747	7.096	7.311	10.122
janeiro/2023	13.460	10.907	8.085	8.157	13.172	10.854	8.501	8.711
fevereiro/2023	9.703	9.875	9.172	8.167	8.345	8.249	8.652	8.693
março/2023	8.210	6.628	8.012	8.176	6.814	5.975	8.132	9.295
abril/2023	8.287	6.510	6.621	8.631	7.117	6.091	6.610	8.766
maio/2023	10.512	7.937	7.277	6.252	8.866	7.229	7.503	6.579
junho/2023	7.631	6.299	6.578	9.652	6.440	5.719	6.878	9.492
julho/2023	10.445	6.631	6.306	6.726	8.621	6.252	6.638	6.999
agosto/2023	7.900	7.916	7.740	8.043	6.455	7.543	7.669	8.805
setembro/2023	7.120	5.670	5.323	6.266	6.039	5.364	5.788	6.061
outubro/2023	9.898	7.984	6.559	7.558	8.079	7.502	7.218	7.188
novembro/2023	8.282	6.862	8.204	8.986	6.675	6.452	8.738	9.088
Média	8.698	6.937	6.958	7.810	7.234	6.459	7.242	8.030
	7.601				7.241			

Tabela 3 – Volume médio diário por sentido e dia da semana para veículos leves – Praça 01

Para os meses analisados (dezembro de 2022 a novembro de 2023), observa-se variações distintas nos volumes médios diários ao longo dos diferentes dias da semana. Os volumes médios diários de tráfego nos sentidos crescente e decrescente revelam padrões específicos. No sentido crescente, os volumes médios são geralmente maiores às segundas-feiras, como observado em janeiro de 2023 (13.460) e maio de 2023 (10.512), enquanto os menores volumes aparecem às quartas-feiras, como em setembro de 2023 (5.323). No sentido decrescente, observa-se um padrão semelhante, com os maiores volumes nas segundas-feiras, como em janeiro de 2023 (13.172), e os menores nas terças-feiras, como em setembro de 2023 (5.364).

A média geral dos volumes diários no sentido crescente foi de 7.601, enquanto no sentido decrescente foi de 7.241. Essas diferenças indicam um fluxo levemente maior no sentido crescente, com variações moderadas entre os dias da semana. Essas informações são essenciais

para a definição dos Fatores de Expansão e para a correta modelagem da demanda de tráfego na Praça 01.

A Tabela 4 apresenta o volume médio diário de veículos leves na Praça 04, distribuído por dia da semana e sentido (Crescente e Decrescente), entre os meses de dezembro de 2022 a novembro de 2023. Observa-se que no sentido crescente, as segundas-feiras registram os maiores volumes médios, com destaque para janeiro de 2023, onde o volume médio foi de 21.089 veículos. As quintas-feiras, em contraste, apresentam menores volumes, como em maio de 2023, onde o menor volume foi de 9.056 veículos. A média geral de tráfego no sentido crescente é de 9.973, com os maiores volumes ocorrendo nas quintas-feiras (10.335) e os menores nas terças-feiras (9.545).

No sentido decrescente, também há uma predominância dos maiores volumes nas segundas-feiras, sendo o mês de janeiro de 2023 o mais expressivo, com um volume médio de 15.982 veículos. As terças-feiras e quartas-feiras apresentam volumes relativamente menores, com setembro de 2023 registrando o menor volume médio nas terças-feiras (7.945). A média geral de tráfego no sentido decrescente é de 10.233, com os maiores volumes médios ocorrendo nas segundas-feiras (10.831) e os menores nas terças-feiras (9.793). Os dados apresentam uma tendência de maior fluxo de veículos leves no início da semana, com uma redução gradual até o final da semana em ambos os sentidos.

Mês/Ano	Crescente				Decrescente			
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Segunda	Terça	Quarta	Quinta
dezembro/2022	10.401	9.761	10.579	13.474	11.663	10.834	11.298	14.483
janeiro/2023	21.089	15.622	12.638	12.003	15.982	15.116	12.355	12.562
fevereiro/2023	13.283	14.710	13.659	12.157	11.970	10.441	12.636	12.007
março/2023	10.262	9.395	12.424	12.107	10.414	9.459	12.193	11.735
abril/2023	9.389	8.916	9.630	10.847	10.235	9.174	9.357	11.201
maio/2023	11.560	10.689	11.008	9.056	12.275	11.219	10.857	8.835
junho/2023	8.949	8.766	9.960	12.709	10.099	9.009	9.479	12.293
julho/2023	10.924	8.721	8.585	8.487	12.338	8.900	8.420	8.103
agosto/2023	8.704	10.745	11.218	11.514	10.031	11.068	11.270	11.044
setembro/2023	7.830	7.818	7.548	7.183	8.949	7.945	7.825	7.585
outubro/2023	11.025	11.191	9.840	9.356	12.494	11.426	9.529	9.742
novembro/2023	9.564	9.661	11.688	11.759	10.641	9.938	11.519	11.776
Média	9.801	9.545	10.211	10.335	10.831	9.793	10.050	10.257
	9.973				10.233			

Tabela 4 – Volume médio diário por sentido e dia da semana para veículos leves – Praça 04

A Tabela 5 apresenta o volume médio diário de veículos leves na Praça 05 - Guarapari, distribuído por dia da semana e sentido, entre os meses de dezembro de 2022 e novembro de 2023. No sentido crescente, as quintas-feiras apresentam os maiores volumes médios, exceto em janeiro de 2023, quando o volume médio atingiu 3.194 veículos em uma segunda-feira. Os menores volumes são registrados nas terças-feiras, como em abril de 2023, com 1.870 veículos.

A média geral do volume diário no sentido crescente foi de 2.436 veículos, com a quinta-feira apresentando o maior volume médio (2.606) e a terça-feira o menor (2.280).

No sentido decrescente, os volumes também são mais elevados no início da semana, com outubro de 2023 registrando o maior volume médio nas segundas-feiras (3.498). As terças-feiras tendem a ter os menores volumes médios, com o menor valor em abril de 2023, com 1.964 veículos. A média geral no sentido decrescente foi de 2.555 veículos, com o maior volume médio nas segundas-feiras (2.785) e o menor nas terças-feiras (2.403). Os dados indicam que o fluxo de veículos leves é mais intenso no início da semana em ambos os sentidos na Praça 05, com uma leve redução nos volumes à medida que a semana avança, especialmente nas terças-feiras.

Mês/Ano	Crescente				Decrescente			
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Segunda	Terça	Quarta	Quinta
dezembro/2022	2.093	1.971	1.922	2.731	2.516	2.213	2.149	3.000
janeiro/2023	3.194	2.663	2.050	2.148	3.239	2.883	2.186	2.276
fevereiro/2023	2.267	2.406	2.226	2.312	2.405	2.267	2.317	2.252
março/2023	2.112	2.003	2.418	2.620	2.362	2.102	2.548	2.686
abril/2023	2.077	1.870	1.985	2.619	2.399	1.964	2.118	2.427
maio/2023	2.807	2.503	2.449	2.230	3.347	2.699	2.536	2.086
junho/2023	2.161	2.030	2.203	2.884	2.289	2.124	2.172	3.006
julho/2023	2.695	2.092	2.178	2.275	3.134	2.216	2.169	2.223
agosto/2023	2.097	2.327	2.368	2.532	2.466	2.480	2.477	2.496
setembro/2023	2.579	2.539	2.553	2.673	2.844	2.629	2.463	2.661
outubro/2023	3.172	2.934	2.448	2.464	3.498	3.065	2.500	2.445
novembro/2023	2.353	2.223	3.053	3.158	2.724	2.352	3.111	3.145
Média	2.450	2.280	2.406	2.606	2.785	2.403	2.455	2.575
	2.436				2.555			

Tabela 5 – Volume médio diário por sentido e dia da semana para veículos leves – Praça 05

Por fim, a Tabela 6 apresenta os resultados dos Fatores de Expansão (FE) para veículos leves das três praças de pedágio (P01, P02 e P03), calculados com base nos volumes médios diários (VMDm) obtidos e no número de entrevistas realizadas para cada categoria de veículo. Na praça P01, o sentido crescente registrou um FE de 152, enquanto no sentido decrescente o FE foi de 48. Na praça P02, o FE no sentido crescente foi de 147 e no sentido decrescente foi de 95. Já na praça P03, o FE no sentido crescente foi de 64, enquanto no sentido decrescente foi de 53. Observa-se que os fatores de expansão variam de acordo com a quantidade de entrevistas realizadas e os volumes médios diários de tráfego. Em algumas praças, os valores de FE são mais elevados, indicando um maior volume médio diário por entrevista realizada.

Praça/Sentido		Entrevistas	VMDm	FE
P01	Crescente	50	7.601	152
	Decrescente	151	7.241	48
P02	Crescente	68	9.973	147
	Decrescente	108	10.233	95
P03	Crescente	38	2.436	64
	Decrescente	48	2.555	53

Tabela 6 – Fatores de expansão veículos leves

Os fatores de expansão apresentados correspondem somente aos veículos leves. Os fatores para os veículos pesados não foram calculados devido ao baixo número de entrevistas realizadas no período de pesquisa (27 entrevistas no total das 3 praças). A pouca quantidade de pesquisas de veículos pesados realizadas impede a utilização desses dados como amostra característica do fluxo da região, pois não possui relevância estatística.

Dessa forma, os dados apresentados na seção de resultados para os veículos pesados correspondem a uma pesquisa Origem-Destino em 2021 nas praças de Retiro, Capão Seco e Glória pela mesma empresa. Os resultados da pesquisa foram fornecidos já processados pela Ecorodovias, em formato de apresentação (ou seja, não foram realizadas novas análises no presente relatório).

9. PESQUISA DE PREFERÊNCIA DECLARADA

A pesquisa de preferência declarada (PD) é um instrumento baseado em técnicas que utilizam juízos de valor declarados pelos indivíduos. Estas técnicas consistem em um conjunto de metodologias fundamentadas nas respostas e escolhas que os indivíduos expressam em cenários hipotéticos, permitindo a análise das suas preferências e comportamentos em relação a diferentes alternativas. Seu princípio básico é apresentar ao entrevistado um conjunto de situações hipotéticas. Em cada situação, o entrevistado escolhe uma alternativa (caracterizada por diversos atributos) dentre o conjunto de opções oferecido. Essa escolha feita pelo indivíduo representa sua preferência por determinados atributos de uma alternativa em comparação com as outras. O objetivo das pesquisas de preferência declarada é obter, dos usuários da rodovia, suas preferências em relação às alternativas apresentadas.

A elaboração da pesquisa PD requer três estágios: (i) especificação do modelo econométrico a ser estimado; (ii) projeto experimental; e (iii) desenho do questionário. Os itens a seguir apresentam os passos adotados para cada um desses estágios.

9.1.1. ESPECIFICAÇÃO DO MODELO ECONOMÉTRICO

O primeiro estágio consistiu na determinação completa da especificação do modelo com os parâmetros a estimar. Cada experimento PD é criado para estimar um modelo específico. Assim, este estágio requer o entendimento do problema de escolha a ser analisado, a identificação das alternativas, determinação dos atributos relacionados com cada alternativa, e dos níveis dos atributos que serão utilizados no estudo, e a determinação do tipo de modelo que será estimado, definindo sua estrutura funcional.

Assim, foi analisado o problema de escolha determinando três alternativas: (i) sistema de cobrança manual, (ii) sistema de cobrança automática pré-paga (tag) e (iii) sistema de cobrança automática pós-paga (tag). A seleção dos atributos que influenciam na decisão de escolha de um sistema de cobrança foi baseada numa revisão bibliográfica de artigos nacionais e internacionais relevantes na área. A escolha do sistema de cobrança é uma decisão afetada por uma série de fatores, sendo que o custo do sistema e aqueles relacionados à espera no pedágio se mostraram essenciais no processo decisório. Esta espera no pedágio pode ser representada pela fila de veículos ou pelo tempo ou distância de fila no pedágio. O atributo associado à fila de veículos foi escolhido por ser de mais fácil percepção para os usuários. Os tempos de espera das diferentes alternativas podem ser pequenos e, por tanto, não ser perceptíveis para os usuários, dificultando a escolha. Da mesma forma, a distância de fila pode ser uma representação que dificulte a escolha. Assim, os atributos selecionados para o projeto do experimento foram *Expectativa de Fila de veículos no pedágio*, *Custo do pedágio*, *Custo de adesão*, *Taxa de recarga* e *Custo da mensalidade*.

Os níveis dos atributos utilizados para gerar o projeto experimental são apresentados a seguir (Tabela 7).

Tabela 7 – Atributos e níveis

Variáveis	Cobrança manual			Cobrança automática pré-paga (tag)			Cobrança automática pós-paga (tag)		
	5	10	15	0	2	4	0	2	4
Expectativa de Fila de veículos no pedágio (n° veículos)									
Custo do pedágio (R\$)	19,6			13,70 (-30%)	16,70 (-15%)	19,6 0	13,70 (-30%)	16,70 (-15%)	19,60
Custo de adesão (R\$)	-			0	20	40	0	5	10
Taxa de recarga (R\$)	-			5	15	30	-		
Custo da mensalidade (R\$)	--			-			5	15	30

Para a alternativa de cobrança manual foi utilizado como referência o valor do pedágio atual das praças para a elaboração do projeto experimental e as filas médias existentes nos pedágios nos horários de pico, com base em informações do tráfego atual. Foram consideradas variações entre 5 e 15 veículos em fila. Para aumentar o realismo do experimento e a percepção dos usuários da distância e o tempo em fila, ao invés de representar a fila com a unidade “veículo”, optou-se por especificar o número de caminhões e número de automóveis em fila. Os percentuais de caminhões em cada praça foram extraídos dos dados de veículos pagantes fornecidos pela concessionária; entretanto, esses valores foram ajustados considerando que os veículos pesados utilizam majoritariamente a cobrança automática.

A alternativa cobrança automática foi considerada sem fila, com fila de 2 e 4 veículos; com o valor atual da tarifa de pedágio e descontos de 15% e 30% da tarifa atual. O custo do pedágio e a fila de veículos para cobrança automática pré e pós-paga foi a mesma. Entretanto, para a alternativa de cobrança pré-paga foi considerado o custo de adesão, superior ao da pós-paga e uma taxa de recarga, valor pago com cada recarga realizada pelo usuário. Para a alternativa de cobrança automática pós-paga foi considerado um custo de adesão e custo de mensalidade,

com três níveis cada um.

O valor para o nível médio dos custos de adesão, recarga e mensalidade foram extraídos dos planos existentes das empresas que realizam a cobrança automática atualmente nas praças analisadas. Cabe destacar que os valores de recarga atuais não são fixos, senão que proporcionais aos valores de recarga, entretanto, optou-se por colocar um valor fixo para reduzir a complexidade cognitiva da pesquisa para os entrevistados. A partir do valor médio atual, foram reduzidos e aumentados os valores para poder analisar a mudança comportamental dos usuários a variações nos valores dessas características. Os níveis selecionados permitem a análise da não linearidade dos atributos e representar de forma mais adequada o comportamento de escolha.

O projeto experimental requer a definição do modelo econométrico a ser usado. O modelo utilizado correspondeu a um modelo logit multinomial (MNL), utilizando funções de utilidade lineares nos parâmetros.

9.1.2. PROJETO EXPERIMENTAL

A partir das informações identificadas no primeiro estágio, foi elaborado o projeto experimental. Foram definidas 12 situações de escolha a serem apresentadas aos usuários da rodovia. Essa quantidade foi definida seguindo os seguintes critérios: tamanho da amostra, natureza da escolha estudada, balance entre os níveis dos atributos, e graus de liberdade (número de situações de escolha não deve ser inferior aos graus de liberdade do experimento).

O projeto experimental foi elaborado utilizando desenhos eficientes, definidos como aqueles que resultam na estimação de modelos com parâmetros de erros padrão baixos, utilizando o software N-gene (Choice Metrics, 2013). Os desenhos eficientes surgiram a partir do ano 2000 como alternativa aos desenhos fatoriais ortogonais utilizados até então. Os desenhos ortogonais utilizam técnicas baseadas em princípios que se aplicam a modelos lineares, mas que não são relevantes para modelos de escolha (por exemplo, ortogonalidade), levando a resultados ineficientes. Os desenhos eficientes são mais apropriados para este tipo de estudo, pois permite trabalhar com amostras menores e obter vantagens com este tipo de desenhos. Entretanto, desenhos eficientes requerem informações que geralmente não estão disponíveis inicialmente, como a estrutura das funções de utilidade e os valores dos parâmetros do modelo a estimar. Portanto, foi realizado um levantamento bibliográfico dos valores dos parâmetros a estimar, prática atual do planejamento deste tipo de desenhos.

Na geração do desenho foi adotada uma aproximação Bayesiana dos parâmetros ao invés de assumi-los fixos, considerando que eles seguem uma distribuição uniforme. Essa técnica, embora requiera maior esforço de estimação, permite incluir a incerteza em relação aos valores dos parâmetros iniciais, incerteza resultante dos valores serem provenientes de estudos realizados em outros contextos. A distribuição uniforme foi considerada para levar em consideração a incerteza associada à validade dos parâmetros iniciais utilizados. Os valores iniciais adotados são os provenientes de estudos reportados na revisão bibliográfica (Hensher e Rose, 2009; Holguín e Preziosi, 2010) assim como dos estimados em um estudo prévio numa

rodovia de Rio Grande do Sul. Os valores são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Valores iniciais dos parâmetros

Atributos	Valor inicial do parâmetro
Expectativa de Fila de veículos no pedágio (n° veículos)	N(-0.04, 0.09)
Custo do pedágio (R\$)	N(-0.72, 0.5)
Custo de adesão (R\$)	N(-0.06, 0.23)
Taxa de recarga (R\$)	N(-0.7, 0.7)
Custo da mensalidade (R\$)	N(-0.7, 0.7)

*N(a,b) se refere a uma distribuição normal com média a e desvio-padrão b.

A aproximação Bayesiana considera uma distribuição para os valores de cada parâmetro, gerando a través de números quase aleatórios (foi utilizada a sequência Halton) diferentes desenhos e calculando o valor médio da eficiência de todos os desenhos. Foram utilizadas 500 extrações de cada parâmetro e avaliada a eficiência de cada desenho.

O indicador de ineficiência adotado, utilizado habitualmente em desenhos eficientes, é o D_error, calculado como o determinante da matriz Ω_1 , que é a matriz de variância e covariância para apenas um indivíduo (Rose e Bliemer, 2009):

$$D_error = \det(\Omega_1)^{1/L} \quad \text{Equação 1}$$

Para o caso de distribuições de probabilidades para as aproximações dos parâmetros, como a aproximação bayesiana adotada neste estudo, tem-se o Bayesian D_error (Db_error) dado por:

$$D_{b_error} = \int_{\beta} \det(\Omega_1)^{1/L} f(\beta) d\beta \quad \text{Equação 2}$$

Um desenho D-eficiente busca minimizar este valor, e espera produzir modelos com baixos erros padrão para um tamanho de amostra dado. Assim, estimar modelos com o nível de precisão desejado utilizando uma amostra menor que com desenhos ortogonais. O valor de D_{b_error} (mediana) obtido foi de 0.33. O desenho final é apresentado na tabela a seguir (Tabela 9).

Situação de escolha	Cobrança manual		Cobrança automática pré-paga				Cobrança automática pós-paga			
	Custo Pedágio	Fila	Custo Pedágio	Custo adesão	Taxa recarga	Fila	Custo Pedágio	Custo adesão	Custo Mensalidade	Fila
1	19.6	5	16.7	40	15	2	16.7	5	30	2
2	19.6	15	13.7	0	5	4	13.7	10	5	4

3	19.6	5	13.7	20	5	4	13.7	0	5	4
4	19.6	15	13.7	40	15	4	13.7	0	5	4
5	19.6	5	19.6	0	15	0	19.6	10	15	0
6	19.6	10	19.6	20	30	4	19.6	10	15	4
7	19.6	10	16.7	40	30	2	16.7	5	30	2
8	19.6	5	19.6	0	5	2	19.6	5	30	2
9	19.6	5	13.7	0	5	4	13.7	10	15	4
10	19.6	5	16.7	20	30	0	16.7	0	15	0
11	19.6	10	16.7	20	30	4	16.7	5	30	4
12	19.6	10	19.6	40	15	2	19.6	0	5	2

Tabela 9 – Desenho PD

9.1.3. QUESTIONÁRIO DA PD

A partir do projeto experimental foi construído o questionário da pesquisa PD. Este questionário foi estruturado em duas partes: (i) Perguntas iniciais (nome, idade, frequência de uso da rodovia, etc.) e (ii) Preferência declarada: apresentação da pesquisa PD (12 situações de escolha). As perguntas iniciais trataram a caracterização dos usuários, abordando questões relativas à idade, gênero, uso do sistema de cobrança automática, origem e destino da viagem que está sendo realizada, frequência de uso da rodovia.

A seguir, se apresenta um exemplo da pesquisa PD a ser aplicada, a contextualização (Figura 29) e situações de escolha 1 (cenário 1) (Figura 30) e situação de escolha 2 (Figura 31) (das 12 apresentadas). A pesquisa completa para cada uma das praças está apresentada no Apêndice 1.




Apresentação			
<p>Suponha que o pagamento do pedágio pudesse ser realizado das 3 formas apresentadas a seguir com os valores específicos que mostraremos em cada cenário. Solicitamos que você indique sua preferência para cada cenário apresentado. Em relação a toda aquela informação omitida e que considera relevante para a sua decisão, considere que afeta por igual a todas as alternativas.</p> <p>As alternativas de pagamento que apresentaremos são: Cobrança manual, dinheiro ou cartão Cobrança automática PRÉ-PAGA, utilizada atualmente nas praças de pedágio, permite o pagamento de tarifas de pedágio com um tag, associado a uma conta PRÉ-PAGA, que pode ser RECARREGADA conforme desejado, mediante um pago de uma taxa de recarga. Lembrando que o sistema pode ser usado em Pedágios, Shoppings, Aeroportos e Estacionamentos; Cobrança automática PÓS-PAGA, utilizada atualmente nas praças de pedágio, permite o pagamento de tarifas de pedágio com um tag, os usuários pagam uma mensalidade fixa, além das tarifas de pedágio. Lembrando que o sistema pode ser usado em Pedágios, Shoppings, Aeroportos e Estacionamentos;</p> <p style="text-align: center;">Qual alternativa preferiria?</p>			
  			
Alternativas	Cobrança Manual	Cobrança Automática Pré-paga	Cobrança Automática Pós-paga
		(Shoppings, Aeroportos, Estacionamentos)	(Shoppings, Aeroportos, Estacionamentos)
	1	2	3

Figura 29 - Contextualização da pesquisa PD




Cenário 1			
  			
Alternativas	Cobrança Manual	Cobrança Automática Pré-paga	Cobrança Automática Pós-paga
		(Shoppings, Aeroportos, Estacionamentos)	(Shoppings, Aeroportos, Estacionamentos)
	1	2	3
Custo Pedágio	R\$ 19.60	R\$ 16.70	R\$ 16.70
Custo Adesão	---	R\$ 40	R\$ 5
Taxa de Recarga	---	R\$ 15	---
Custo Mensalidade	---	---	R\$ 30
Expectativa de Fila de veículos no pedágio	5 veículos	2 veículos	2 veículos

Figura 30 - Situação de escolha 1

Alternativas	Cobrança Manual	Cobrança Automática Pré-paga	Cobrança Automática Pós-paga
		(Shoppings, Aeroportos, Estacionamentos)	(Shoppings, Aeroportos, Estacionamentos)
	1	2	3
Custo Pedágio	R\$ 19.60	R\$ 13.70	R\$ 13.70
Custo Adesão	----	R\$ 0	R\$ 10
Taxa de Recarga	----	R\$ 5	---
Custo Mensalidade	----	----	R\$ 5
Expectativa de Fila de veículos no pedágio	15 veículos	4 veículos	4 veículos

Figura 31 - Situação de escolha 2

9.1.4. COLETA DE DADOS

A coleta de dados da pesquisa foi realizada com usuários da rodovia nas praças de pedágio de Capão Seco, Retiro e Glória, seguindo a distribuição apresentada na tabela 4. A realização da pesquisa foi adiada em função das inundações no Rio Grande do Sul e sua data ainda não foi definida. Os dados foram coletados com aplicação do questionário presencial descrito na seção anterior. A amostra foi composta por 400 usuários de veículos leves distribuídos conforme mostra a Tabela 10 - Distribuição da amostra. Esta pesquisa foi realizada conjuntamente com a pesquisa Origem Destino.

Tabela 10 - Distribuição da amostra

PRAÇA	Nº entrevistas total
Praça Capão Seco	180
Praça Retiro	140
Praça Glória	80
Total	400

O tamanho da amostra foi definido através do cálculo para estimadores de proporção em amostras aleatórias simples, usada tradicionalmente (Equação 3).

$$n = \frac{z_{\alpha/2}^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{E^2} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

n = número de indivíduos na amostra,

$Z_{\alpha/2}$ = valor crítico que corresponde ao grau de confiança desejado, neste caso foi adotado um nível de confiança de 95% obtendo um valor crítico de 1.96,

p = proporção populacional de indivíduos que utiliza pedágio automático, valor obtido de dados históricos da concessionária e que corresponde a 50% (o percentual vem aumentando nos últimos anos, sendo inferior a 50% no ano 2022 e superior em 2023)

E = erro máximo de estimativa, adotado o valor de 4.5%.

9.1.4.1.MODELAGEM

A partir dos dados coletados, foram estimados modelos de escolha discreta para determinar a escolha do sistema de cobrança de usuários da rodovia. Os sistemas de cobrança considerados na estimação forma: (i) sistema de cobrança manual, (ii) sistema de cobrança automática pré-paga (tag) e (iii) sistema de cobrança automática pós-paga (tag)..

A seguir, uma descrição das formulações econométricas dos modelos utilizados.

9.1.4.1.1. Formulações econométricas

Os modelos de escolha discreta utilizados na modelagem da demanda de transportes baseiam-se na teoria da utilidade aleatória (McFadden, 1974). Esta teoria se fundamenta no princípio da maximização da utilidade, onde é postulado que o indivíduo q associa a cada alternativa i uma utilidade do tipo estocástica U_{iq} , escolhendo aquela alternativa que maximiza sua utilidade. A incapacidade de apreciar, por parte do analista, todos os atributos e variações de preferências que determinam o comportamento dos indivíduos, bem como erros de medição, torna necessário considerar que a utilidade é uma variável aleatória (Ben Akiva e Lerman, 1995). A utilidade aleatória de uma alternativa é expressa como a soma dos componentes observáveis ou sistemáticos (denotados como V_{iq}) e componentes não observáveis (denotados como ε_{iq}) conforme Equação 4 (Domencich e McFadden, 1972).

$$U_{iq} = V_{iq} + \varepsilon_{iq} \quad \text{Equação 4}$$

O componente aleatório é necessário para capturar deficiências na especificação de atributos não observados, erros de medição, diferenças entre indivíduos, percepções incorretas de atributos e aleatoriedade inerente à natureza humana (Manski, 1977).

De acordo com a teoria da maximização da utilidade, o indivíduo q escolhe a alternativa i , sempre que a utilidade desta alternativa seja maior que a associada a quaisquer das restantes j , ambas pertencentes ao conjunto de alternativas disponíveis $A(q)$ para o indivíduo q (Equação 5):

$$U_{iq} \geq U_{jq}, \forall j \in A(q), i \neq j \quad \text{Equação 5}$$

isto é,

$$V_{iq} + \varepsilon_{iq} \geq V_{jq} + \varepsilon_{jq} \implies V_{iq} - V_{jq} \geq \varepsilon_{jq} - \varepsilon_{iq} \quad \text{Equação 6}$$

Considerando que o analista não conhece $(\varepsilon_{jq} - \varepsilon_{iq})$, não pode ter certeza se a expressão (Equação 6) é satisfeita ou não e, portanto, só pode postular a probabilidade de ocorrência.

Assim, a probabilidade de escolher a alternativa i é dada por (Equação 7):

$$P_{iq} = \text{Prob} \{ \varepsilon_{jq} \leq \varepsilon_{iq} + (V_{iq} - V_{jq}), \forall j \in A(q) \} \quad \text{Equação 7}$$

Os resíduos, ε_{iq} , são variáveis aleatórias com média zero. Dependendo da distribuição estatística que seja considerada para os resíduos, será possível determinar distintos modelos probabilísticos.

Frequentemente, a componente determinística da utilidade é definida como uma função linear nos atributos e parâmetros (Equação 8),

$$V_{iq} = \sum_{k=1}^K \beta_{ik} x_{ikq} \quad \text{Equação 8}$$

sendo x_{ikq} o valor que adota o atributo k -ésimo para o indivíduo q e β_{ik} o parâmetro ligado a este atributo.

Especificar o modelo requer a especificação do V_{iq} e suposições sobre a distribuição conjunta da componente aleatória ε_{iq} . Diferentes hipóteses sobre a distribuição de probabilidade adotada para a componente aleatória ε_{iq} leva a diversos modelos de escolha discreta (Ortúzar e Willumsen, 2011).

O logit multinomial (multinomial logit - MNL) (McFadden, 1974) é um dos modelos mais simples de escolha discreta e também o mais utilizado. Ele se baseia na hipótese que o termo aleatório ε_{iq} da função utilidade é identicamente e independentemente distribuído conforme

uma distribuição de Gumbel (Valor Extremo tipo I). Este modelo é caracterizado pela simplicidade no seu processo de estimação. Ele impõe uma série de restrições (McFadden, 1973 e 1978; Train, 1986) como: (i) coeficientes das variáveis (β_{ik}) são os mesmos para toda a população. Isto implica que as diferentes pessoas com as mesmas características atribuem o mesmo valor a cada uma das variáveis do modelo, embora possam variar entre alternativas; (ii) verificam a propriedade da independência de alternativas irrelevantes (IIA). Esta propriedade implica que a razão entre as probabilidades de duas alternativas que fazem parte de um conjunto de escolha A_n é constante e independente da existência de outras alternativas no conjunto. Assim, o modelo MNL é apropriado para situações em que as alternativas apresentem esta característica. Quando o componente sistemático da utilidade é bem especificado, explicitando todas as variáveis explicativas do comportamento e o termo de erro é apenas ruído branco, a IIA é geralmente respeitada (Train, 2009).

10. ETAPA 5: ESTUDOS E RELATÓRIOS

Os itens dessa etapa apresentam os principais resultados das pesquisas apresentadas na etapa anterior, que geraram os estudos e relatórios a seguir.

10.1. DASHBOARD ANÁLISE DA DEMANDA

Para analisar visualmente os dados das praças de pedágio da Ecosul no período entre janeiro de 2013 e dezembro de 2023, foi elaborado um dashboard interativo que pode ser visualizado através do [link](#). A interface permite a seleção do tipo de cabine (AVI ou Manual) e do mês/ano desejado, além de filtrar as informações por praça de pedágio.

Em um dos gráficos, é exibida a evolução do volume de praças ao longo do tempo. À direita, a proporção de veículos que utilizam o sistema AVI por mês/ano é mostrada, revelando uma leve tendência de aumento. A localização das praças de pedágio é mapeada visualmente para referência geográfica. Na parte inferior esquerda, a variação do VDM (Volume Diário Médio) por categoria de veículo é ilustrada com uma série temporal empilhada, mostrando a distribuição de diferentes categorias de veículos. Por fim, é exibida a variação volumétrica diária de cada praça, sendo possível analisar mês a mês as flutuações diárias.

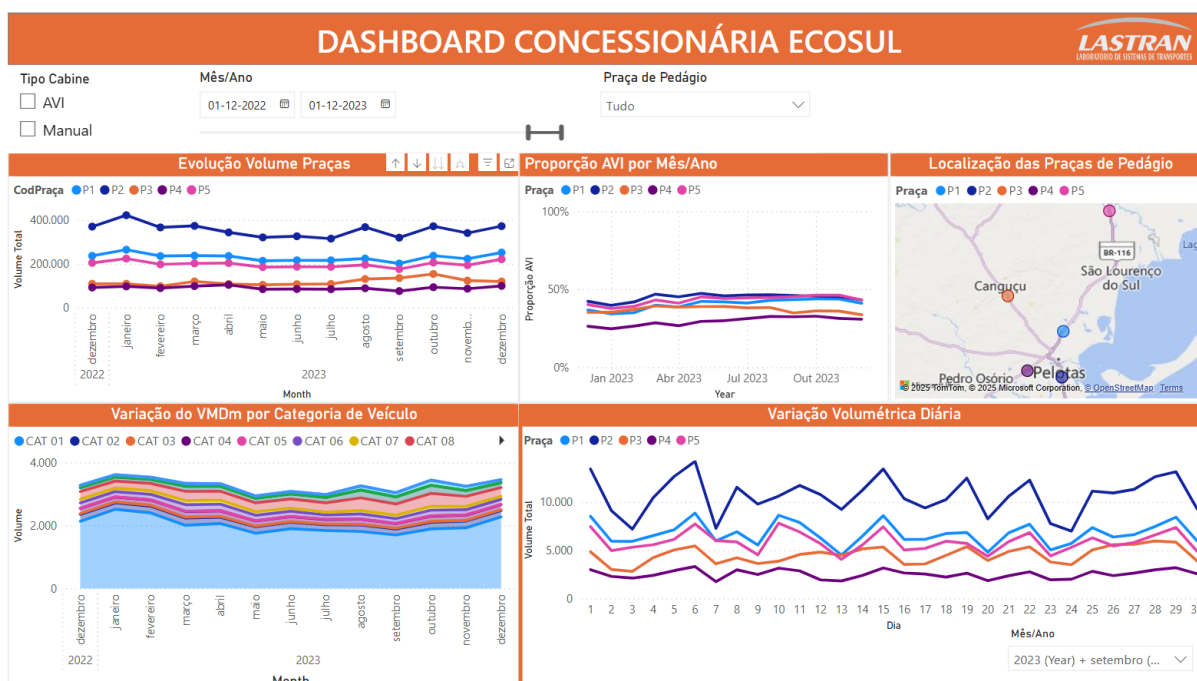


Figura 32 – Dashboard

10.2. RESULTADOS DA PESQUISA OD

Os resultados da pesquisa de origem e destino (OD) foram analisados por praça de pedágio e por sentido (Sul e Norte). A divisão das zonas de tráfego foi estabelecida seguindo os limites municipais oficiais, tendo em vista que a maioria das entrevistas continha somente o município de origem ou destino (sem especificação de bairro).

10.2.1. VEÍCULOS LEVES

10.2.1.1. PRAÇA 01 - RETIRO

A Figura 33 apresenta a distribuição dos tipos de locais de origem e destino das viagens com veículos leves, categorizadas por sentido (Norte e Sul) e por tipo de local: residência, local de trabalho, estudo, negócios, saúde, compras, passeio/visita/lazer e outros. A residência é a principal origem e destino, com destaque para o sentido Norte como origem e o sentido Sul como destino, evidenciando um padrão forte de retorno para casa. O local de trabalho aparece com frequência elevada, especialmente como destino no sentido Sul, sugerindo um deslocamento predominante casa-trabalho nesse sentido. A categoria passeio/visita/lazer também apresenta relevância, sobretudo como origem no sentido Norte, o que pode indicar saídas para atividades recreativas. As categorias negócios, saúde, compras, estudo e outros têm participações menores, com pequenas variações entre os sentidos.

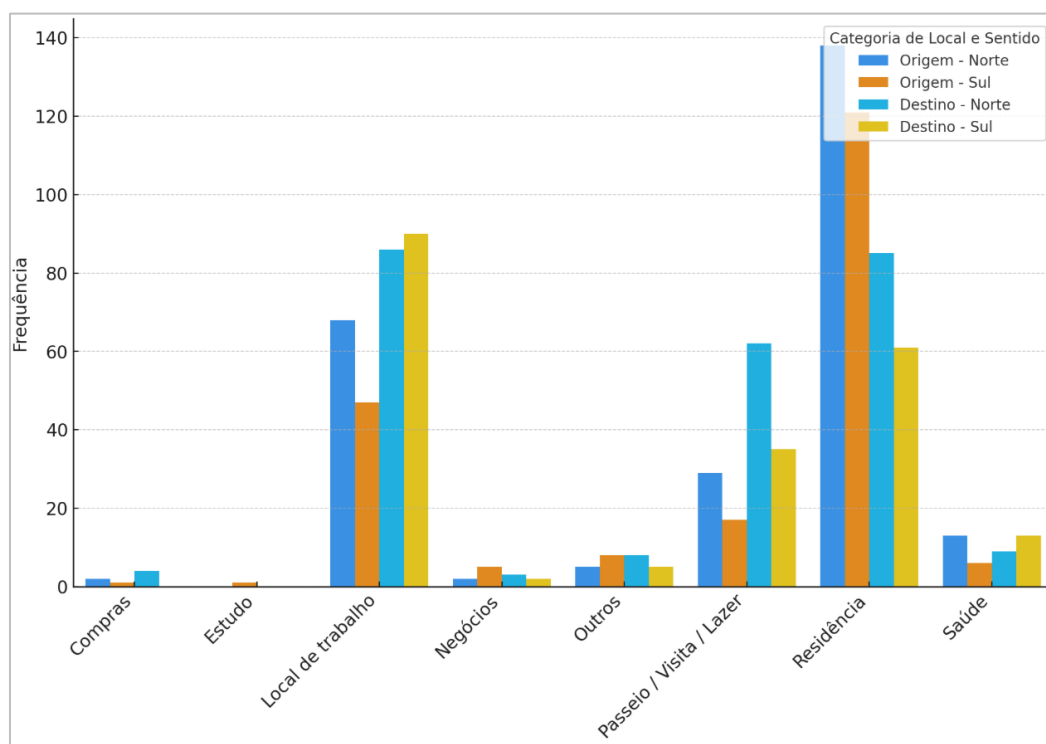


Figura 33 - Tipo de local de origem e destino P01

A Figura 34 - Frequência de viagem Sentido Norte apresenta a frequência de viagem no sentido Norte para veículos leves na Praça de Retiro. Os dados são apresentados em função do número de entrevistados, conforme a frequência informada por eles no momento da pesquisa. É importante ressaltar que tais valores devem ser multiplicados pelos fatores de expansão

apresentados no capítulo anterior, visto que cada entrevista de veículo leve equivale a 48 viagens no sentido Norte da P01 e a 152 viagens no sentido Sul. O gráfico referente mostra uma predominância clara de viagens realizadas com maior regularidade. A categoria "por mês" concentra a maior quantidade de entrevistas, especialmente com frequências de 1 a 3 vezes, com destaque para o número 1. "Por semana" também apresenta um volume considerável, com distribuição mais espalhada entre 1 a 7 vezes. A categoria "por ano" aparece em seguida, com respostas mais concentradas nos valores 1, 2, 4 e 6 vezes. As categorias "por dia", "primeira vez" e "eventual" possuem poucas entrevistas e estão representadas quase exclusivamente pelo número 1, sugerindo um caráter mais esporádico. De maneira geral, o sentido norte está fortemente associado a deslocamentos regulares, especialmente mensais e semanais.

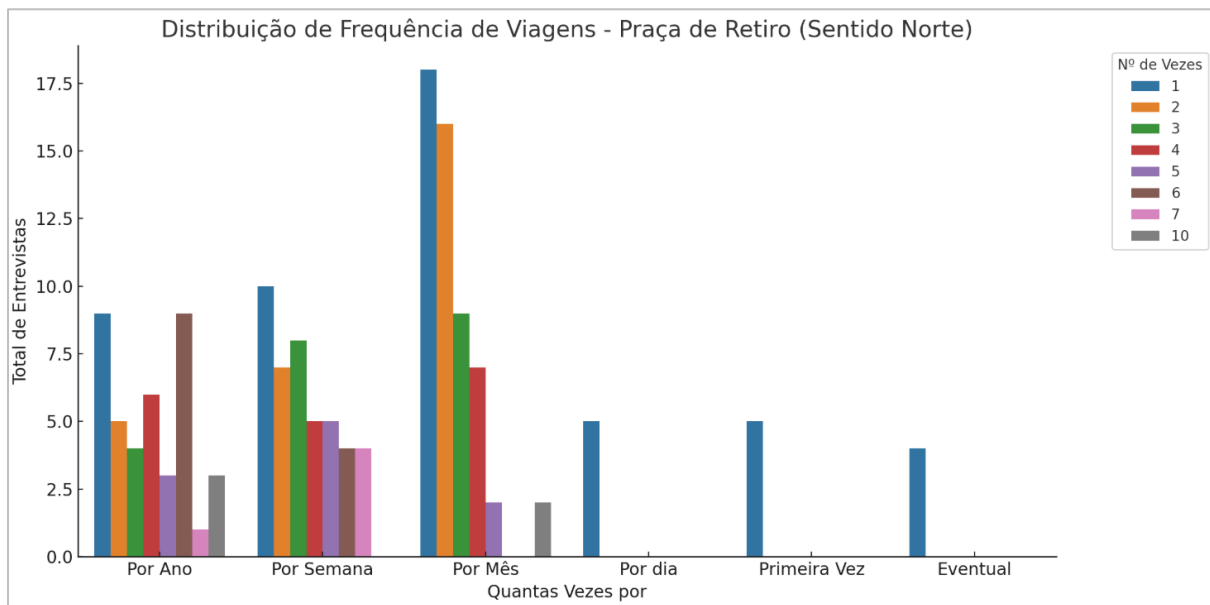


Figura 34 - Frequência de viagem Sentido Norte P01

Já na Figura 35 observa-se uma menor quantidade total de entrevistas, mas a distribuição apresenta algumas diferenças importantes. A categoria "por mês" lidera em volume, com predominância de viagens realizadas 1 ou 2 vezes, mas também com presença de outras frequências como 3, 4 e até 8 vezes. A categoria "por semana" aparece logo em seguida, com um perfil semelhante ao do mensal, mas em menor escala. "Por ano" mostra um comportamento mais disperso, com várias frequências aparecendo uma única vez. A presença de viagens "eventuais" e "por dia" é reduzida, mas não desprezível, e novamente concentrada em baixa frequência.

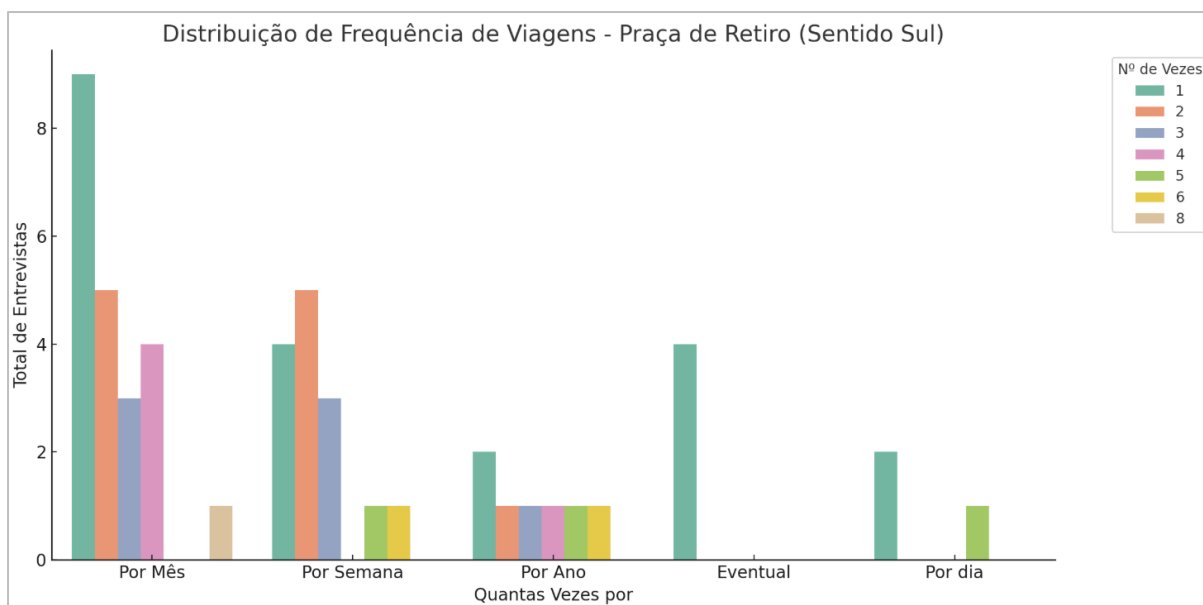


Figura 35 - Frequência de viagem Sentido Sul P01

A Figura 36 apresenta dados sobre o uso e o interesse em cobrança automática. No primeiro gráfico, observa-se que 84,6% dos entrevistados não possuem cobrança automática, enquanto 15,4% utilizam esse método, indicando que a maioria ainda não adotou essa tecnologia. No segundo gráfico, 36,3% demonstraram interesse em aderir à cobrança automática, enquanto 63,7% não possuem interesse. A Figura 37 mostra a distribuição da frequência do número de passageiros por veículo. Observa-se que a maioria dos veículos transporta apenas um ou dois passageiros, com uma frequência mais elevada na categoria de um passageiro. A partir de quatro passageiros, a frequência diminuiu progressivamente, sendo pouco comum veículos com cinco ou mais passageiros.

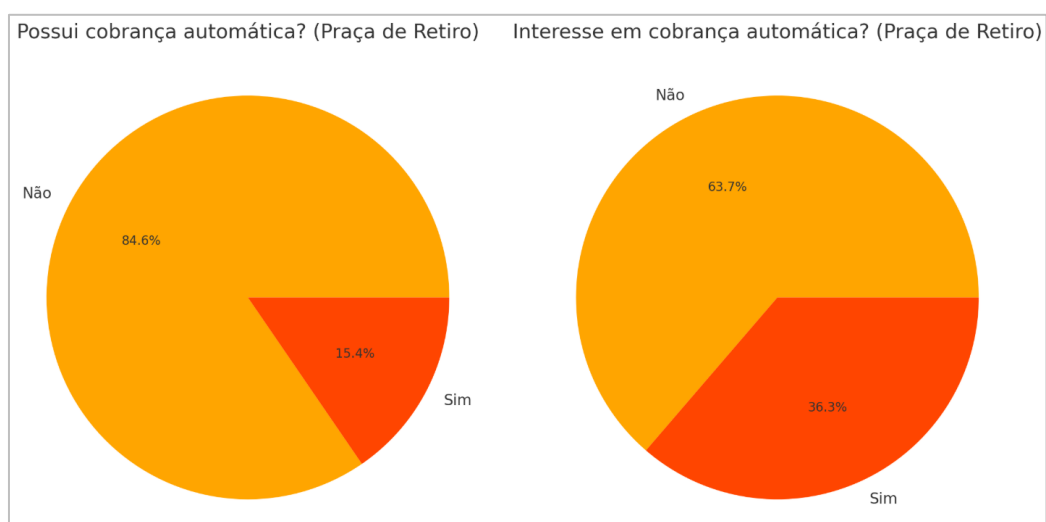


Figura 36 - Uso de cobrança automática P01



Figura 37 – Número de passageiros P01

A Figura 38 demonstra a distribuição etária dos motoristas entrevistados. Observa-se que a maioria dos condutores está concentrada na faixa etária entre 35 e 45 anos, com um pico de frequência em torno dos 40 anos. Faixas etárias mais jovens, abaixo de 30 anos, e mais avançadas, acima de 65 anos, apresentam frequências significativamente menores. A fonte de referência não encontrada apresenta o gênero dos motoristas, evidenciando uma grande predominância masculina, com 80,1% dos condutores identificados como homens e apenas 19,9% como mulheres.

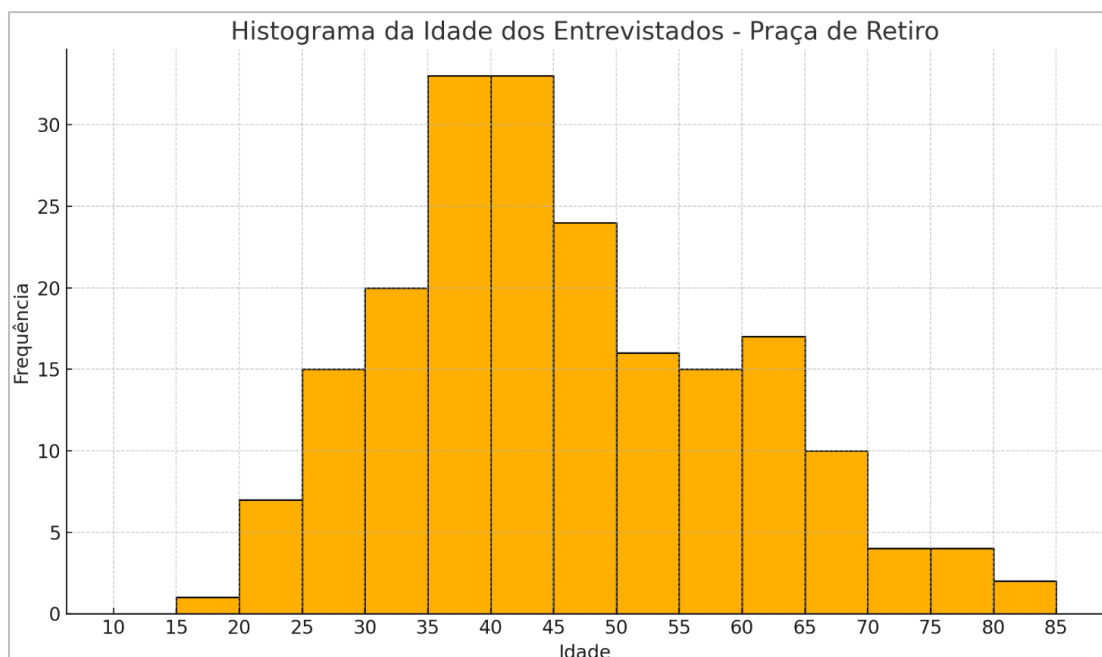


Figura 38 - Idade do motorista P01

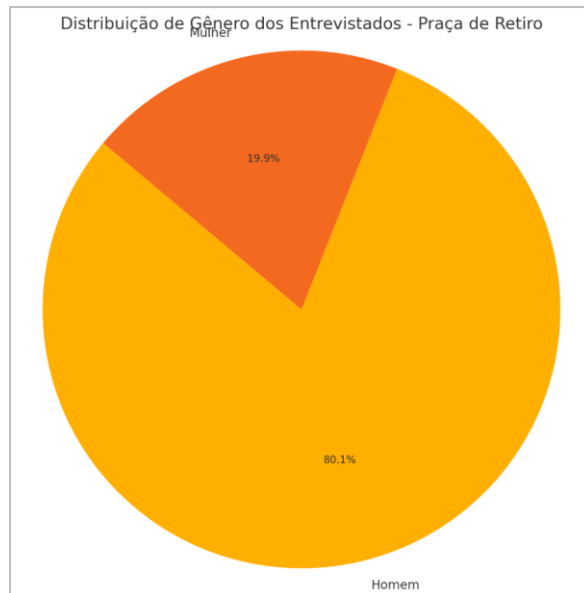


Figura 39 - Gênero do motorista P01

Na Figura 40, observa-se a distribuição de renda dos motoristas entrevistados. A maior parte dos condutores está nas faixas de renda entre R\$5.601 e R\$14.000, e R\$2.801 a R\$5.600, que juntas representam a maior parte da amostra. Faixas mais altas de renda, como entre R\$14.000 e R\$28.000, apresentam frequências menores, enquanto a faixa acima de R\$28.000 é a menos representada. A Figura 41 destaca quem é o principal financiador do pedágio. A maioria dos motoristas (150 casos) paga o pedágio diretamente, evidenciando que o custo geralmente recai sobre o condutor, em menor proporção, as empresas financiam os custos do pedágio.

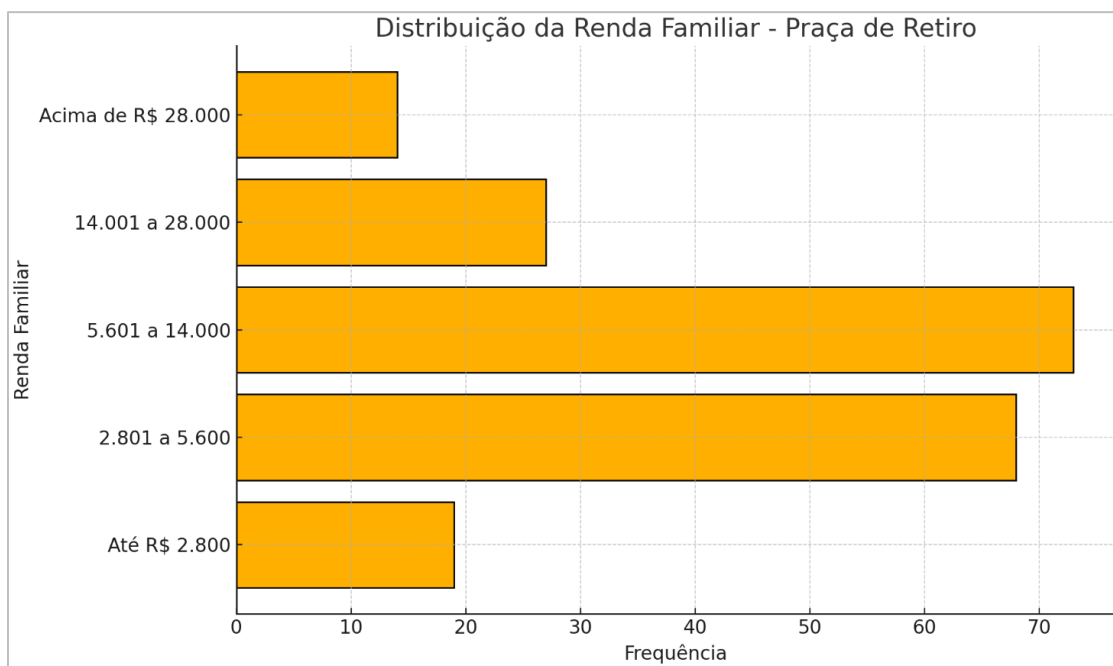


Figura 40 - Renda do motorista P01

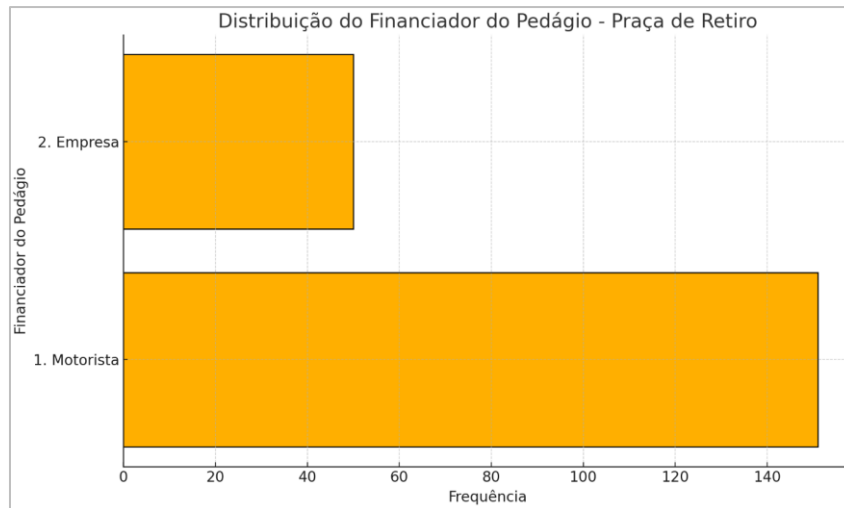


Figura 41 - Financiador do pedágio P01

O mapa apresentado na Figura 42 ilustra as zonas geradoras (origem) e atratoras (destino) de viagens dos veículos leves no sentido norte da Praça Retiro (P01). As zonas são representadas por círculos, onde o tamanho do círculo é proporcional ao número de viagens registradas, com as zonas de origem em azul e as zonas de destino em vermelho. O mapa indica que Pelotas é a principal origem dos veículos que transitam no sentido norte da P01, enquanto Porto Alegre e São Lourenço do Sul se destacam como importantes destinos de viagens na região. Outras localidades como Rio Grande e Jaguarão também contribuem como origens para o fluxo de viagens na direção norte.

A Figura 43 apresenta as origens e os destinos de viagens dos veículos leves no sentido sul da Praça Retiro (P01). Pelotas aparece como o principal polo atrator de viagens, conforme evidenciado pelo maior círculo vermelho. São Lourenço do Sul se destaca como a principal origem, sendo acompanhada por outras localidades como Porto Alegre e Camaquã, que também possuem volumes relevantes de deslocamentos na direção sul. No extremo sul, Rio Grande e Chuí aparecem como destinos relevantes, demonstrando uma distribuição espacial das viagens ao longo da BR-116 e da BR-392.

A Figura 44 exhibe as linhas de desejo representando os fluxos de viagens dos veículos leves na Praça Retiro (P01), tanto no sentido norte quanto sul. As linhas mais espessas representam volumes maiores de tráfego, indicando os principais corredores viários utilizados pelos veículos leves. O principal par origem-destino é Pelotas-Porto Alegre seguido pelo par Pelotas-São Lourenço do Sul no sentido norte, assim como os sentidos contrários de viagem no sentido sul. As viagens de São Lourenço do Sul para Rio Grande também se destacam na direção sul de deslocamento. As viagens entre Porto Alegre e Rio Grande contribuem em menor escala em ambos os sentidos, assim como as viagens entre Pelotas e Gramado no sentido norte.

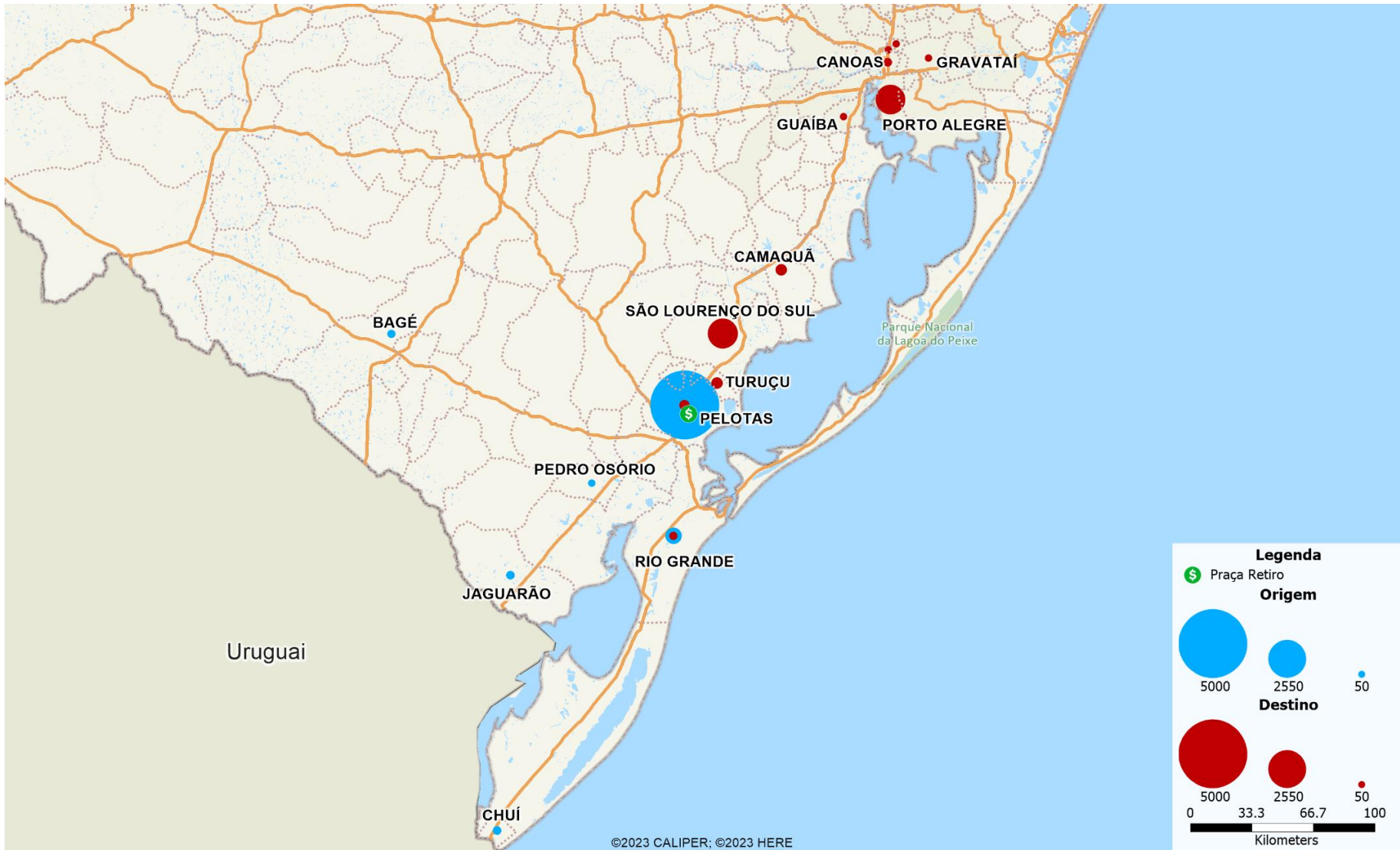


Figura 42 - Origens e Destinos dos veículos leves no sentido Norte da P01

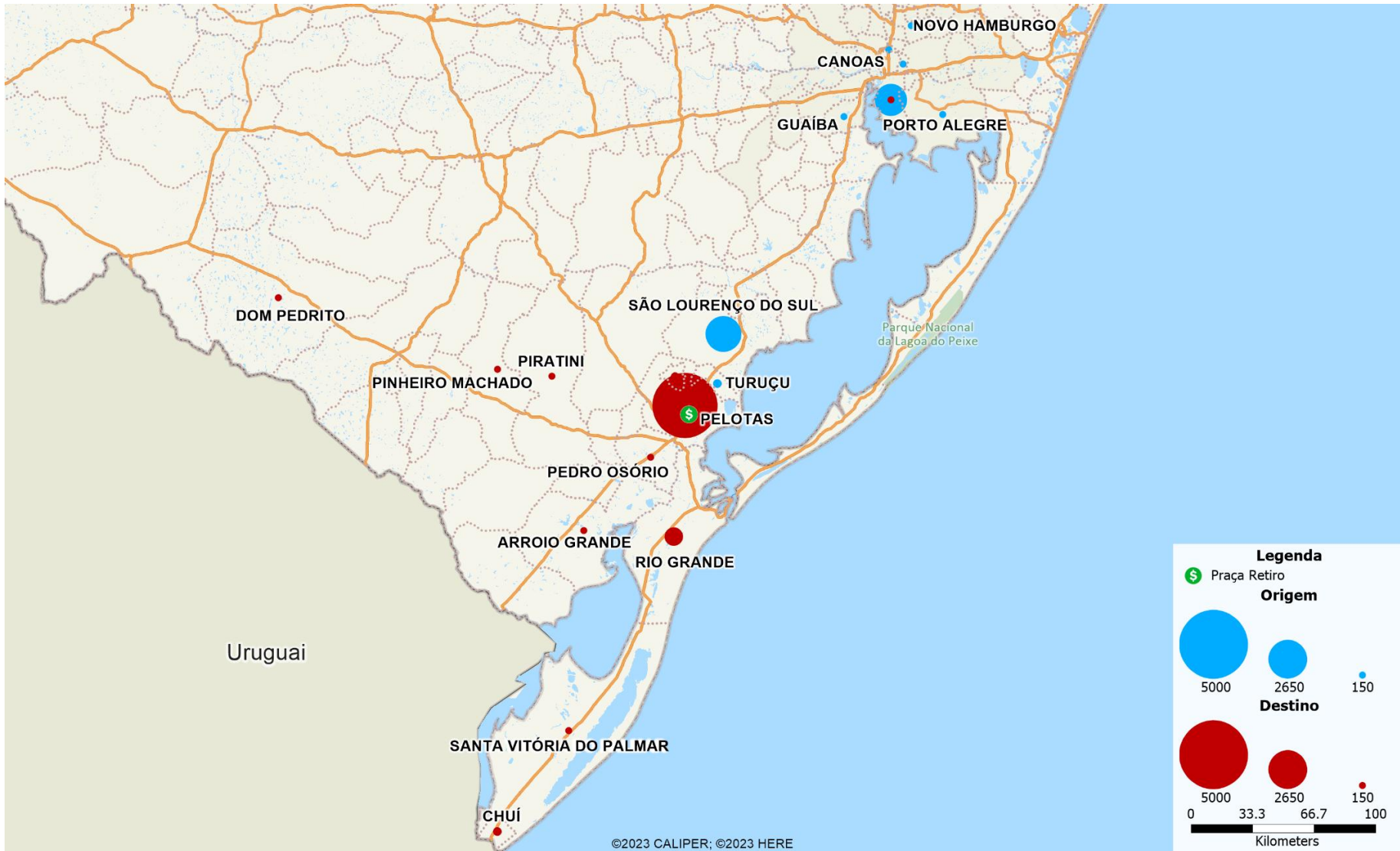


Figura 43 – Origens e Destinos dos veículos leves no sentido Sul da P01

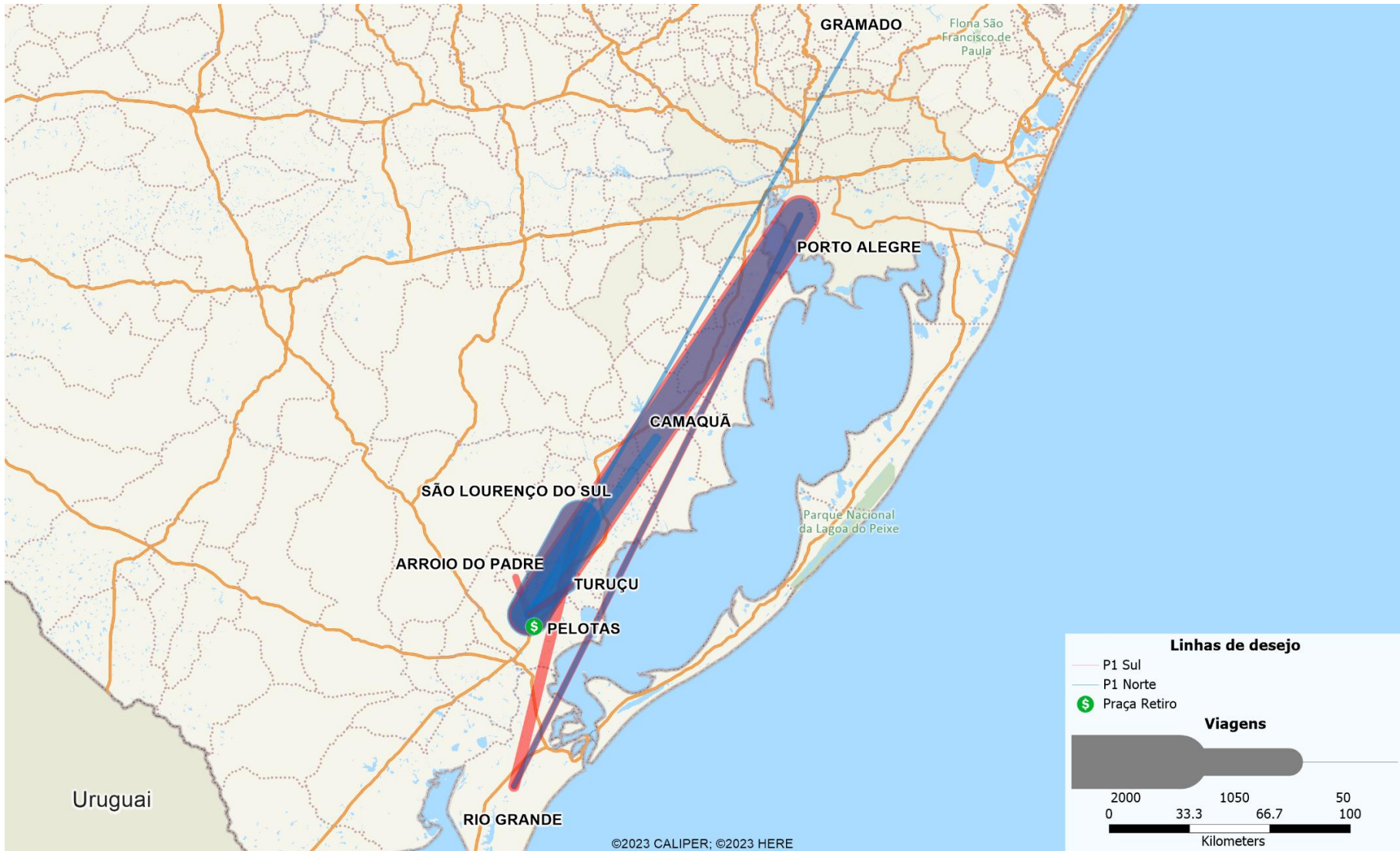


Figura 44 – Linhas de desejo dos veículos leves na P01 Retiro

10.2.1.2. PRAÇA 02 – CAPÃO SECO

A Figura 45 mostra a distribuição dos tipos de locais de origem e destino de veículos leves na Praça de Capão Seco, separados pelos sentidos Norte e Sul. A residência é o principal tipo de local tanto para origens quanto para destinos, com destaque para o sentido sul, indicando que uma grande parte das viagens envolve o deslocamento para casa. O local de trabalho é outro local significativo, com volumes elevados, especialmente como destino. A categoria passeio/visita/lazer também aparece de forma relevante, principalmente como destino no sentido Sul. Outras categorias, como saúde, estudo, negócios e compras, apresentam menor participação, sugerindo que a maioria das viagens está relacionada ao cotidiano, como residência e trabalho, com um componente moderado de atividades recreativas.

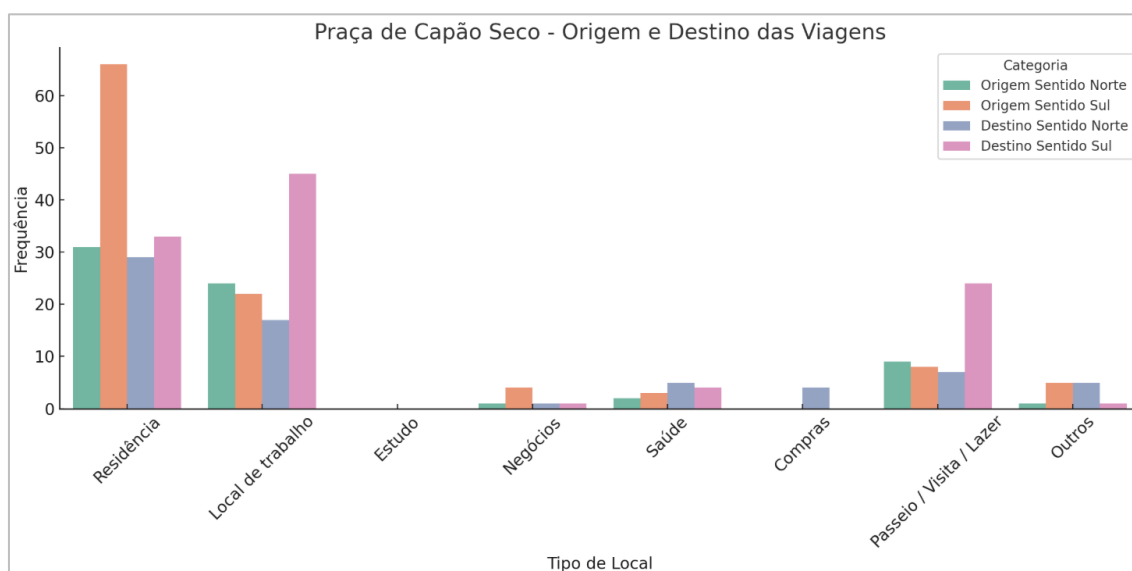


Figura 45 - Tipo de local de origem e destino P02

A Figura 46 apresenta a frequência de viagens de veículos leves no sentido norte da Praça de Capão Seco, no qual observa-se uma predominância de viagens com periodicidade semanal e mensal. A categoria “por semana” se destaca, com maior concentração nos valores de 1 a 3 vezes, o que indica uma frequência regular de deslocamentos. A categoria “por mês” também aparece fortemente, com distribuição semelhante. Há também presença de respostas “por dia” e “por ano”, embora com menor volume. A categoria “eventual” tem registros, mas é pouco expressiva. O perfil geral sugere que esse sentido da praça é utilizado majoritariamente por usuários que realizam viagens recorrentes, especialmente semanais.

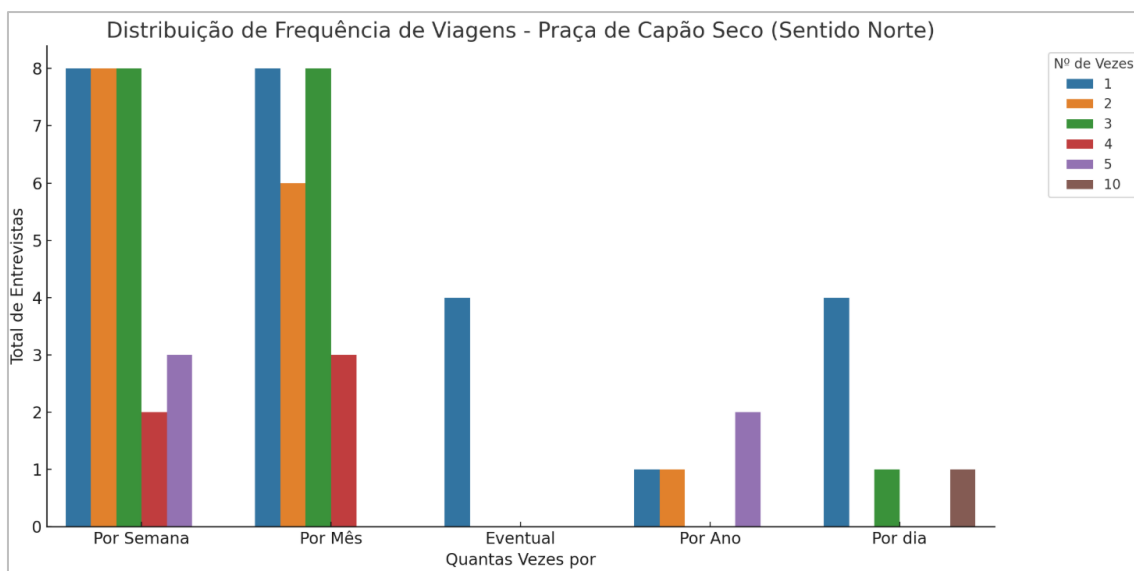


Figura 46 - Frequência de viagem Sentido Norte P02

Já no sentido Sul (Figura 47) a Praça de Capão Seco apresenta um padrão de uso semelhante ao sentido norte, com destaque para as categorias “por mês” e “por semana”. A categoria “por mês” lidera em volume de entrevistas, com respostas concentradas entre 1 e 3 vezes. A distribuição em “por semana” é mais ampla, contemplando uma variedade de frequências, de 1 até 10 vezes. Viagens “por ano”, “por dia” e “eventuais” também aparecem com menor intensidade. O gráfico indica um uso bem distribuído ao longo das diferentes frequências, mantendo o perfil de usuários recorrentes, mas com uma leve ampliação da diversidade nos padrões de uso.

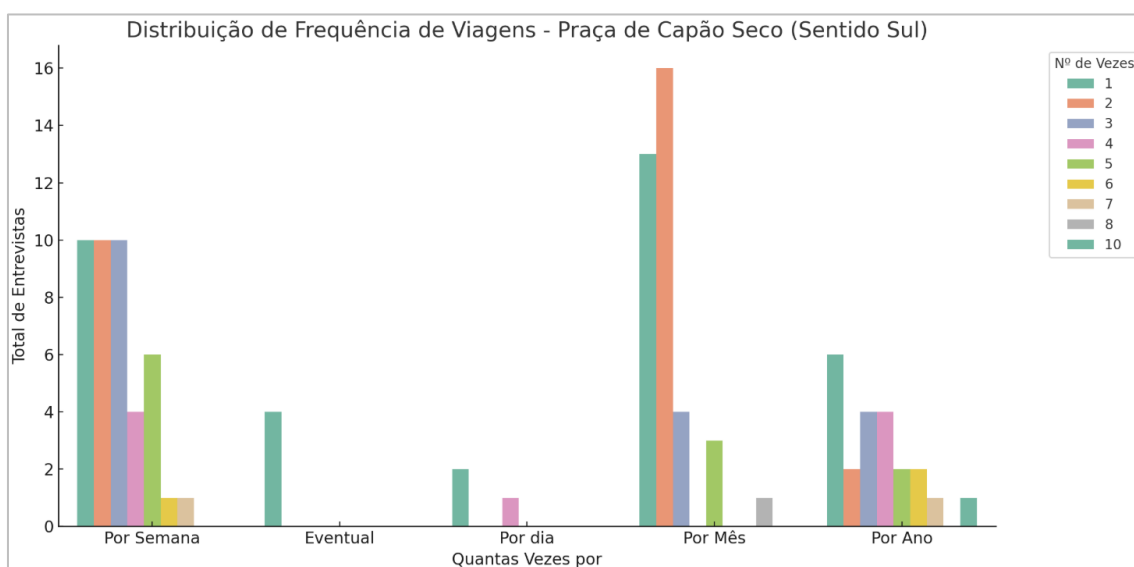


Figura 47 - Frequência de viagem Sentido Sul P02

A Figura 48 detalha o uso e o interesse em cobrança automática entre os entrevistados. Dos participantes, 84,1% indicaram que não possuem cobrança automática, enquanto 15,9% afirmaram utilizar esse método. Para aqueles que não possuem o sistema, 60,2% relataram não ter interesse em adotá-lo, enquanto 39,8% demonstraram interesse.

A Figura 49 apresenta a distribuição do número de passageiros por veículo, mostrando que a maior parte das viagens é realizada por veículos com dois passageiros, registrando a maior frequência. A frequência diminui para veículos com três passageiros, com uma redução ainda mais significativa para quatro passageiros. Veículos transportando cinco e seis passageiros aparecem em menor quantidade, sendo os menos comuns.

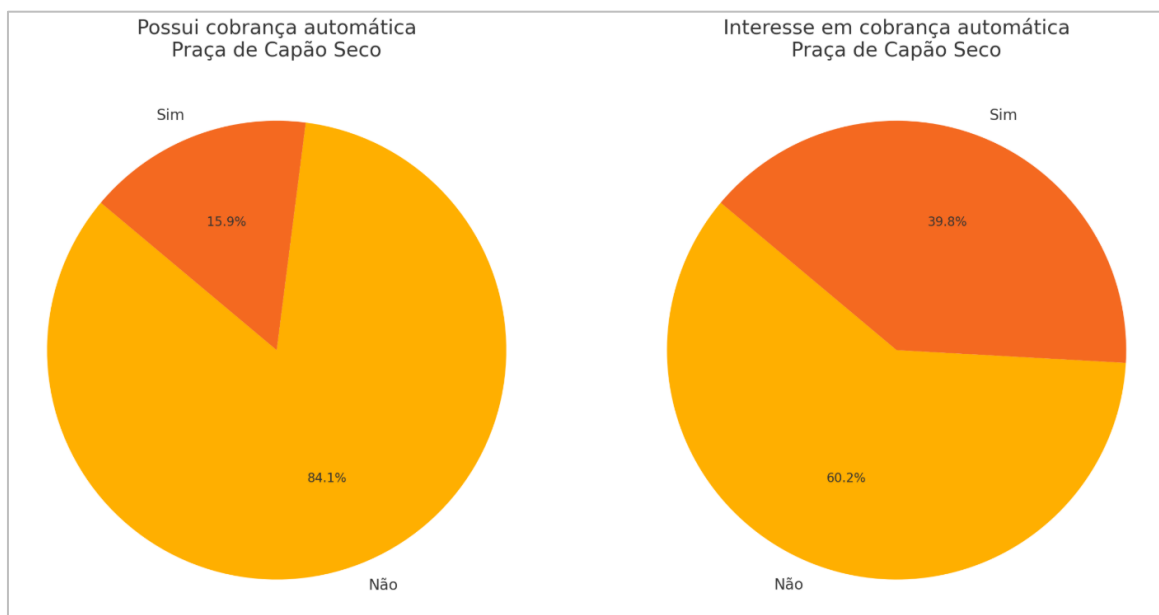


Figura 48 - Uso de cobrança automática P02

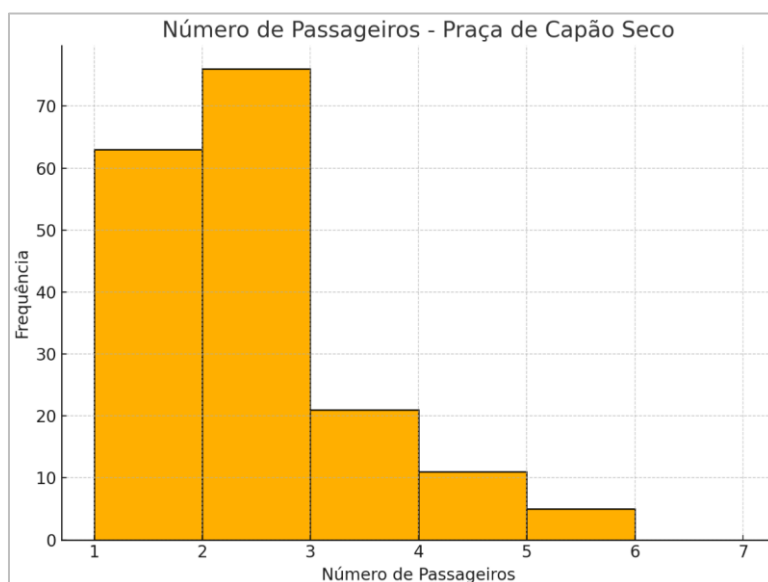


Figura 49 - Número de passageiros P02

A Figura 50 exibe a distribuição etária dos motoristas, com maior concentração entre os 30 e 60 anos, especialmente nas faixas entre 35 e 50 anos. Isso indica que a maioria dos entrevistados é composta por adultos em idade economicamente ativa, possivelmente trabalhadores que utilizam a rodovia com certa frequência. As faixas etárias mais jovens (abaixo de 25 anos) e mais velhas (acima de 65 anos) aparecem com menor frequência. Já a Figura 51 apresenta a proporção de motoristas por gênero. Homens representam 72,2% dos entrevistados, enquanto mulheres constituem 27,8%.

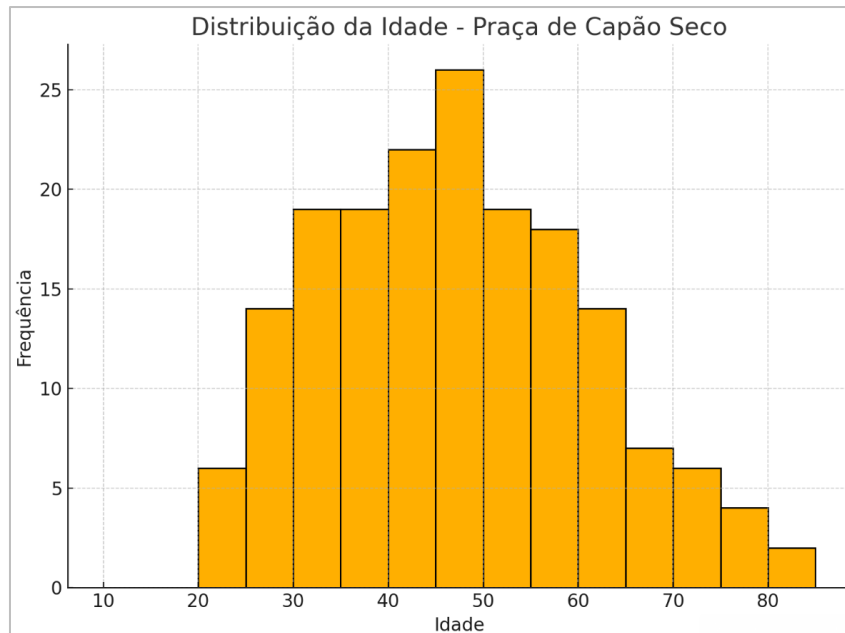


Figura 50 - Idade do motorista P02

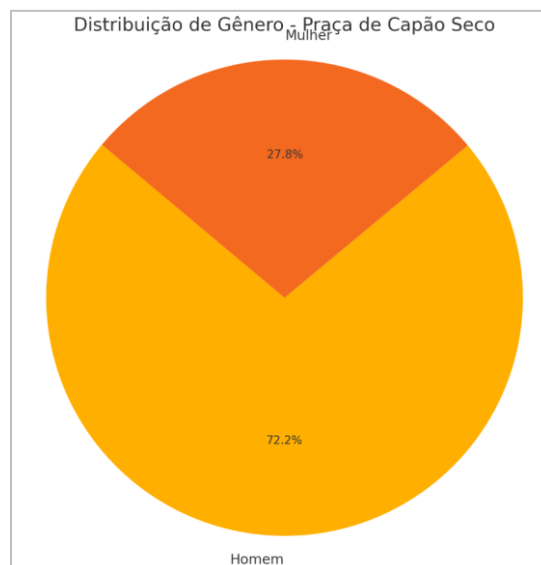


Figura 51 - Gênero do motorista P02

A Figura 52 mostra a distribuição de renda dos motoristas, destacando que a maioria está nas faixas de R\$ 5.601 a R\$ 14.000 e entre R\$2.800 e R\$5.600, que juntas representam a maior parte dos entrevistados. A faixa de renda entre R\$14.000 e R\$28.000 tem uma representatividade menor, enquanto as faixas superiores, como a acima de R\$28.000, possuem as menores frequências.

A Figura 53 destaca os responsáveis pelo financiamento do pedágio, com a maior parte dos pagamentos sendo realizada diretamente pelos motoristas. As empresas aparecem como a segunda categoria mais frequente, financiando o pedágio em um número considerável de viagens e pouco representativo se encontra a opção de divisão entre os ocupantes do veículo.

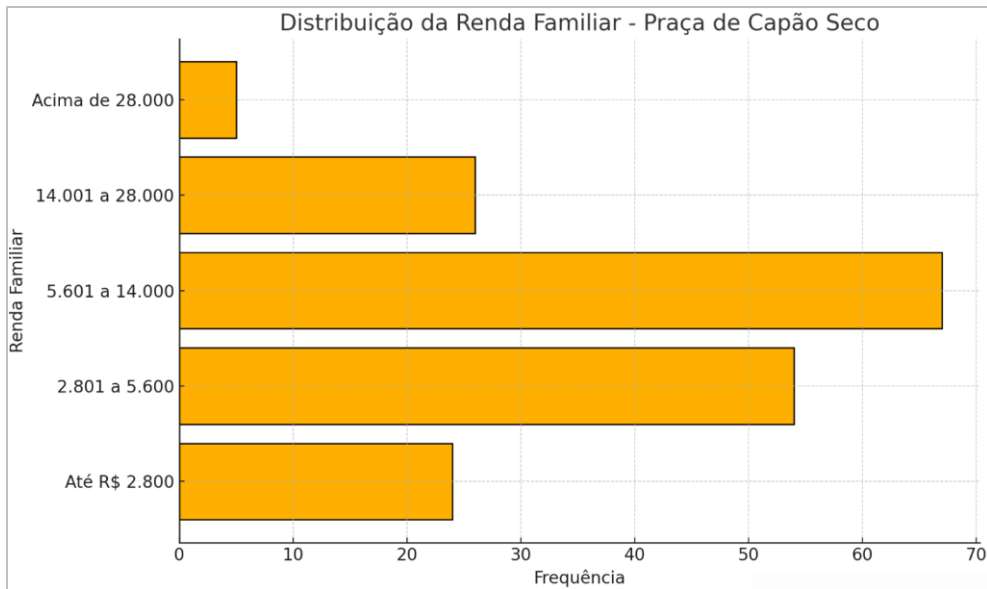


Figura 52 – Renda do motorista P02

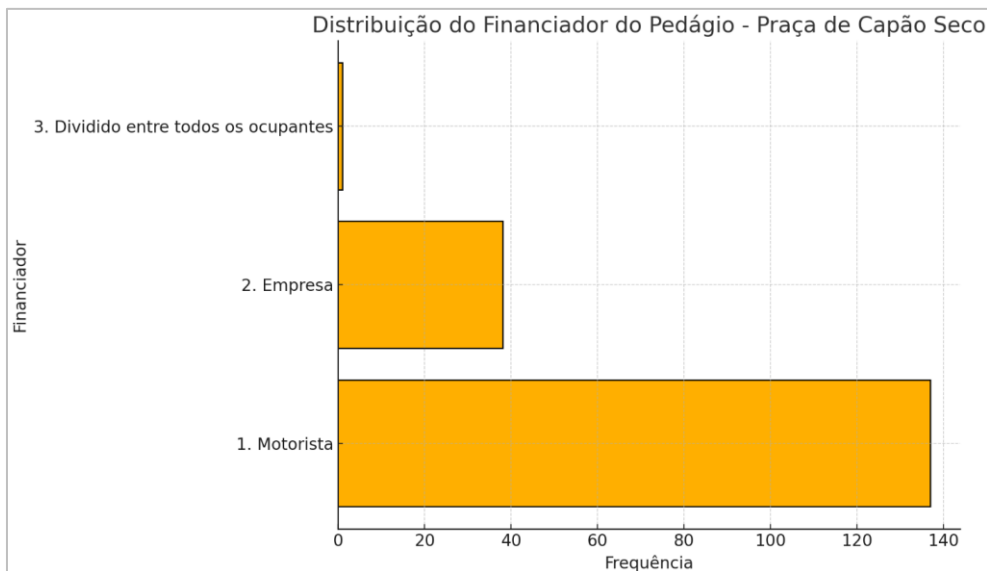


Figura 53 – Financiador do pedágio P02

A Figura 54 ilustra as origens e destinos dos veículos leves que se deslocam no sentido norte na Praça Capão Seco (P02). As zonas de origem estão representadas em azul e as de destino em vermelho, com o tamanho dos círculos proporcional ao volume de viagens. Observa-se que Rio Grande é a principal origem de viagens, com uma contribuição menor de Santa Vitória do Palmar. O município de Pelotas aparece como o principal destino. Outras localidades como Pedro Osório, Jaguarão, Porto Alegre e Cachoeirinha também apresentam fluxos relevantes de veículos leves partindo no sentido norte.

A Figura 55 apresenta as origens e destinos dos veículos leves que se deslocam no sentido sul na Praça Capão Seco (P02). Assim como no sentido norte, os círculos azuis representam as zonas de origem, enquanto os vermelhos indicam os destinos. O município de Pelotas aparece como a principal origem de viagens, com Porto Alegre, Jaguarão, Bagé, Piratini, Camaquã e Santa Maria contribuindo em pequena escala. O município de Rio Grande se destaca como o

destino mais relevante na região. Além disso, há registros de deslocamentos para outras localidades mais ao sul, como Santa Vitória do Palmar e Chuí. O fluxo de viagens no sentido sul evidencia uma concentração maior entre Pelotas e Rio Grande, reforçando a importância dessa ligação para os veículos leves que utilizam essa praça.

A Figura 56 apresenta as linhas de desejo representando os fluxos de viagens dos veículos leves na Praça Capão Seco (P02). As linhas indicam as principais conexões entre as zonas de origem e destino, com maior espessura representando volumes mais altos de deslocamento. Os resultados mostram que a conexão Pelotas – Rio Grande é a mais significativa, sendo responsável pelo maior fluxo de viagens na região. Outros corredores relevantes incluem os deslocamentos entre Pelotas e Santa Vitória do Palmar, além de ligações de Rio Grande e Porto Alegre.

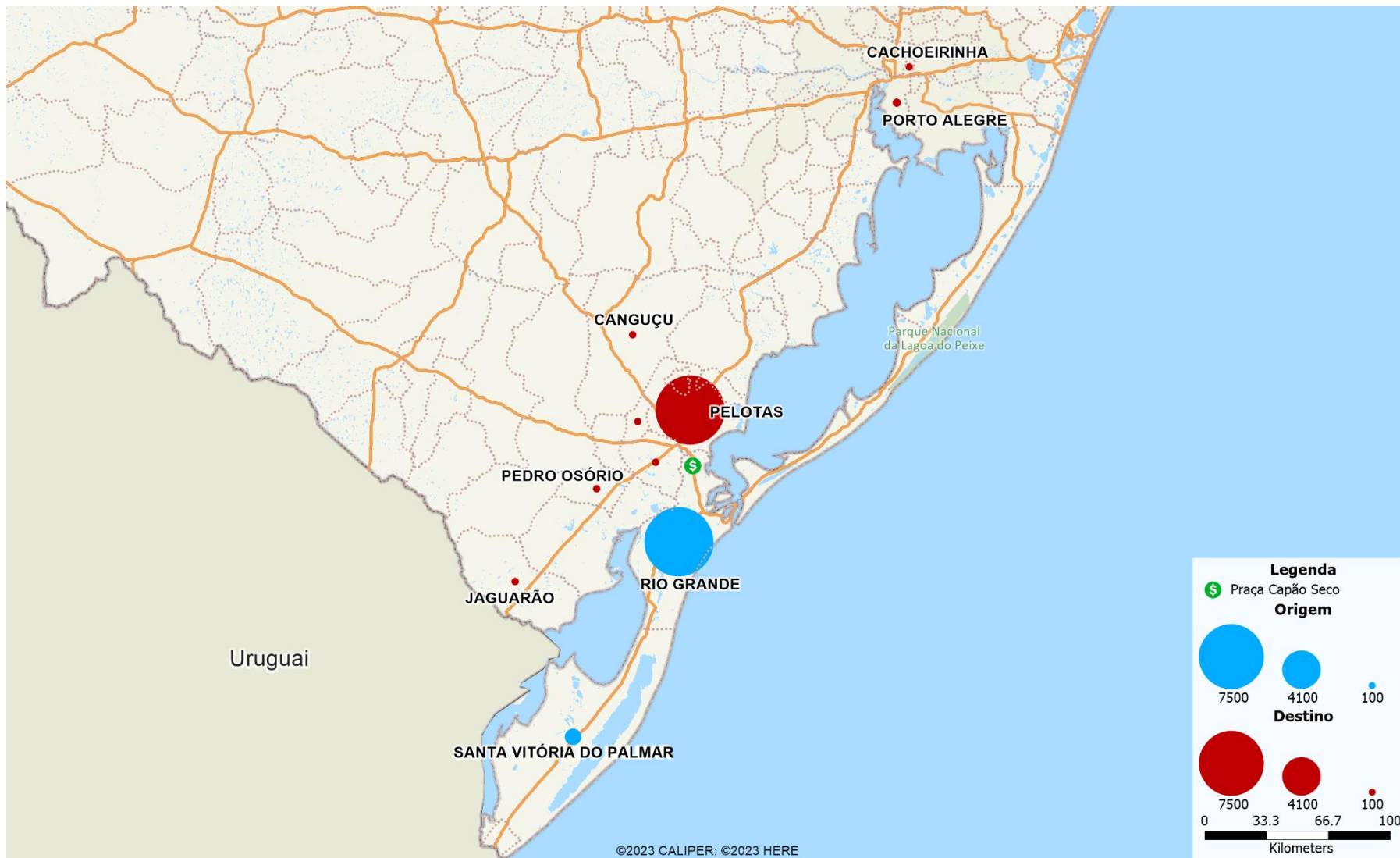


Figura 54 – Origens e Destinos dos veículos leves no sentido norte da P02

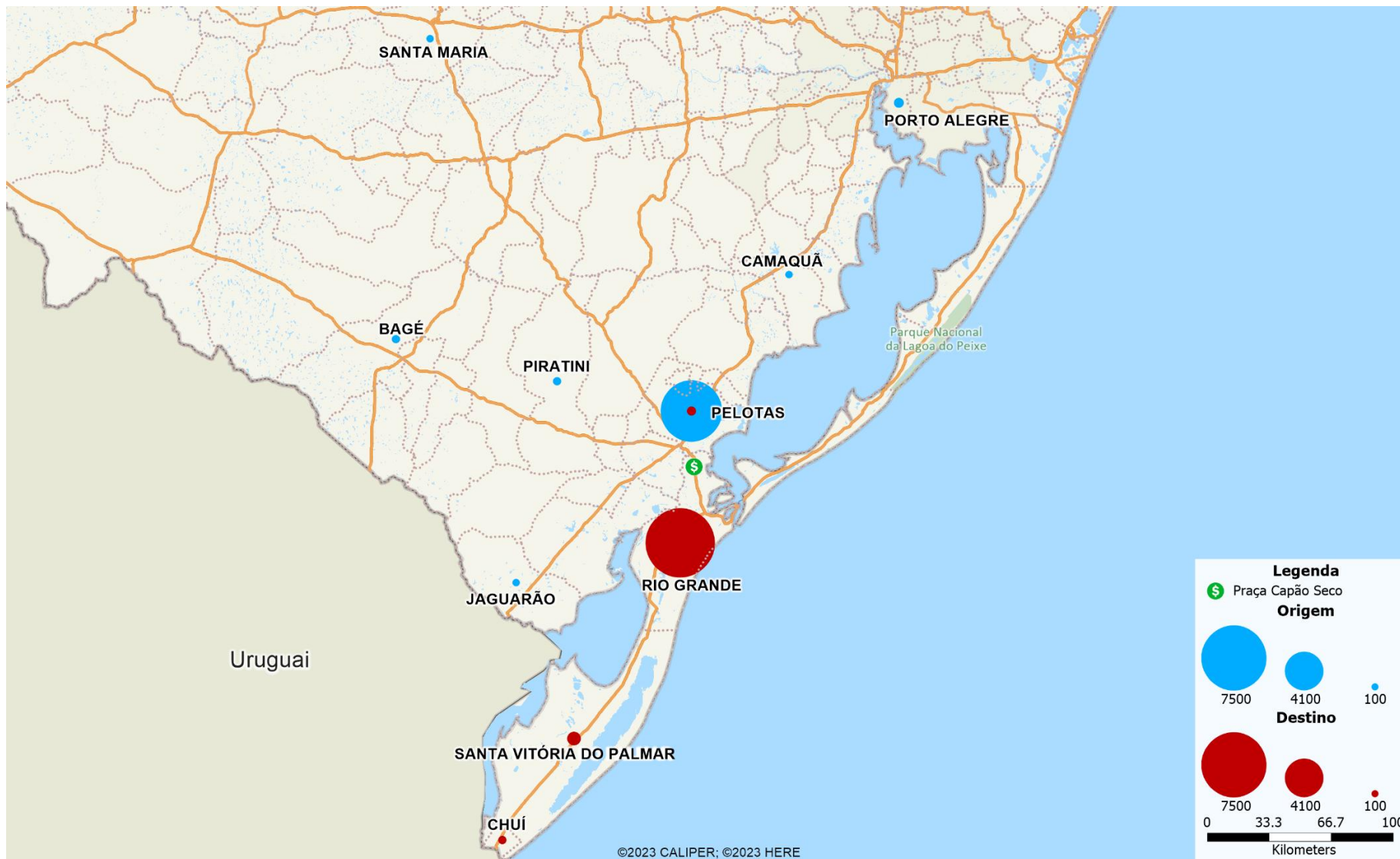


Figura 55 – Origens e Destinos dos veículos leves no sentido sul da P02

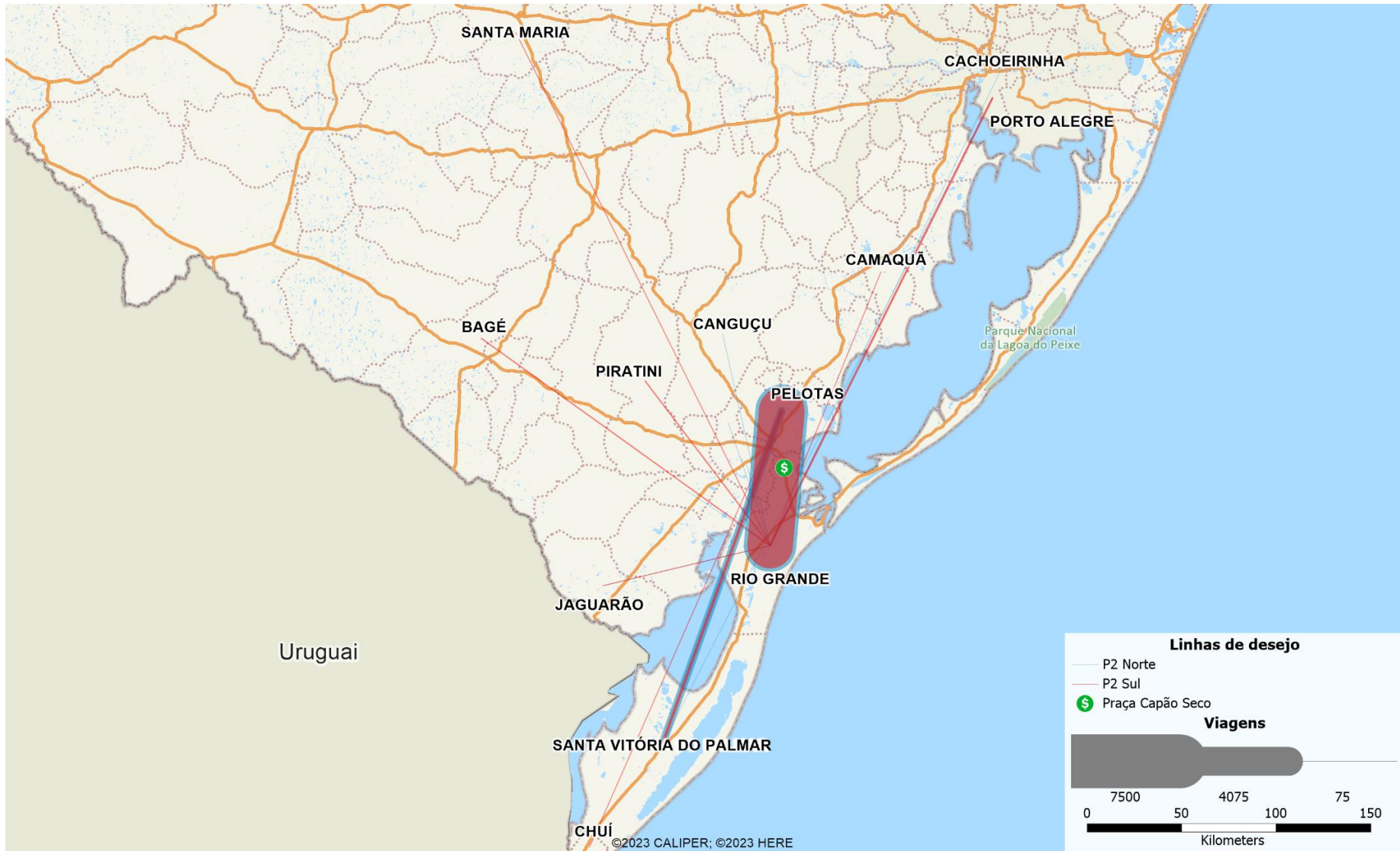


Figura 56 – Linhas de desejo dos veículos leves na P02 Capão Seco

10.2.1.3. PRAÇA 03 - GLÓRIA

A Figura 57 apresenta os tipos de locais de origem e destino na Praça de Glória. A residência lidera como local de origem das viagens, especialmente no sentido sul. O local de trabalho aparece como principal destino, com maior frequência no sentido sul, reforçando um padrão de deslocamento casa-trabalho. O gráfico ainda mostra a presença de viagens com destino a locais de saúde e passeio/visita/lazer, indicando uma certa diversidade de propósitos, embora com menor frequência. As categorias estudo, compras e negócios são pontuais.

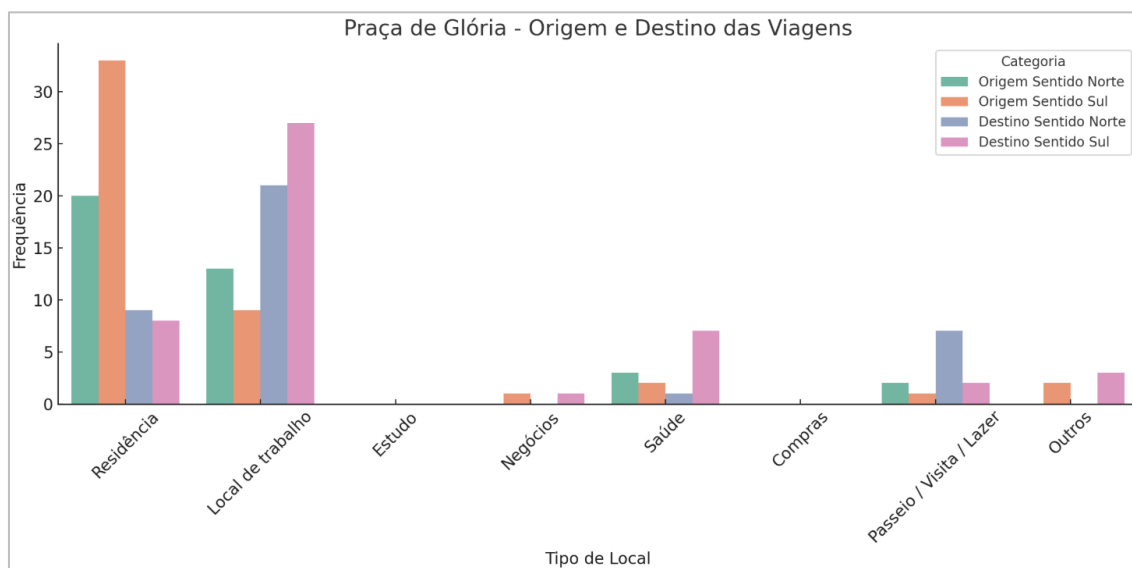


Figura 57 – Tipo de local de origem e destino P03

A Figura 58 apresenta que a Praça de Glória no sentido Norte apresenta um volume menor de entrevistas em comparação com as outras praças, mas ainda é possível identificar tendências relevantes. A categoria “por semana” concentra a maior parte das viagens, principalmente nas faixas de 2 a 3 vezes. A categoria “por mês” aparece com boa representação, com destaque para o valor 1 vez. Viagens “por ano”, “eventual”, “por dia” e até “primeira vez” foram registradas, mas em menor escala. O padrão observado sugere uma predominância de deslocamentos regulares, sobretudo semanais, com menor intensidade de viagens mensais ou esporádicas.

Já a Figura 59 apresenta a frequência de deslocamentos no sentido sul da Praça de Glória, os quais se concentram nas categorias “por semana” e “por mês”. A frequência semanal se distribui de forma bastante variada, indo de 1 até 6 vezes, o que revela um uso recorrente com grande diversidade. A frequência mensal também aparece com força, especialmente com os valores 1, 2 e 5. As categorias “eventual” e “por dia” também têm representatividade, enquanto “por ano” surge de forma pontual.

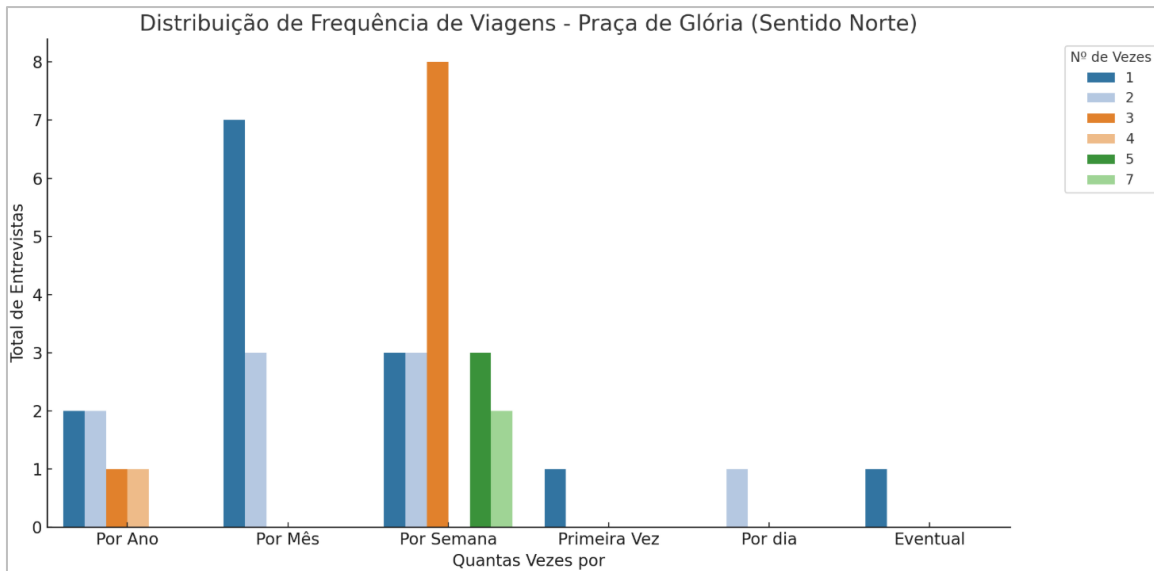


Figura 58 – Frequência de viagem Sentido Norte

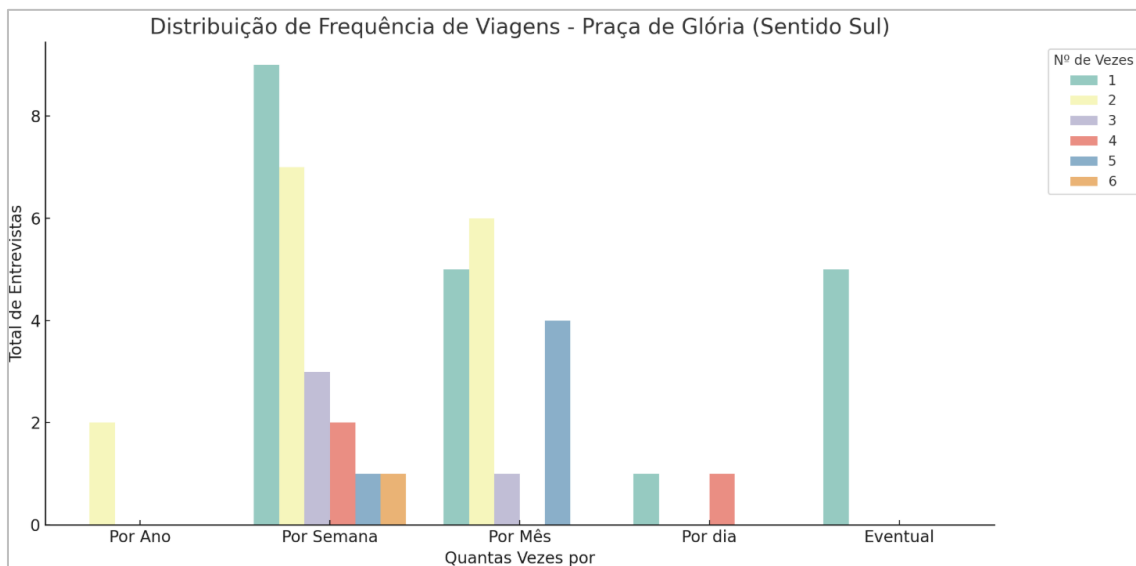


Figura 59 – Frequência de viagem Sentido Sul

A Figura 60 detalha o uso e o interesse em cobrança automática entre os entrevistados. Dos participantes, 80,2% indicaram que não possuem cobrança automática, enquanto 19,8% afirmaram utilizar esse método. Para aqueles que não possuem o sistema, 64% relataram não ter interesse em adotá-lo, enquanto 36% demonstraram interesse. Já a Figura 61 apresenta a distribuição do número de passageiros por veículo. A maior frequência corresponde a veículos com apenas um passageiro, seguida por aqueles com dois passageiros. Veículos com três ou mais passageiros aparecem em números progressivamente menores, com os veículos transportando cinco passageiros sendo os menos comuns.

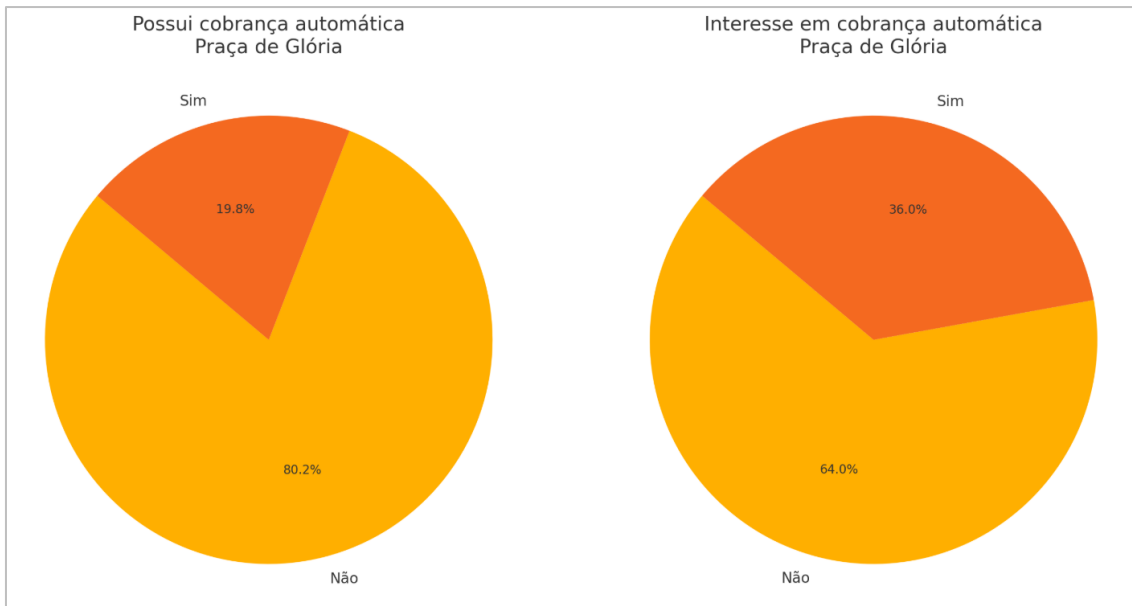


Figura 60 – Uso de cobrança automática P03

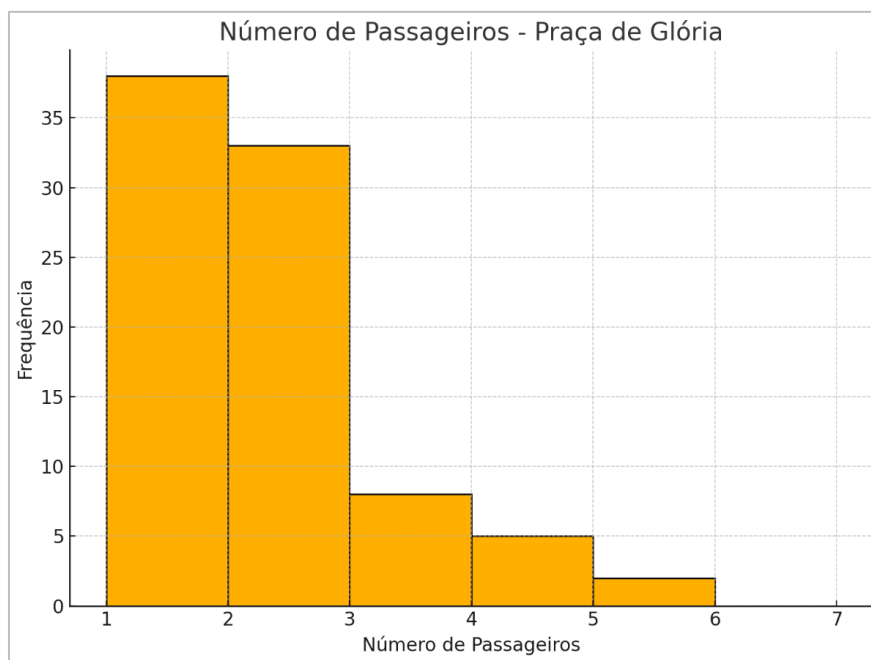


Figura 61 – Número de passageiros P03

A Figura 62 apresenta o histograma da distribuição de idade dos entrevistados na Praça de Glória. A maior concentração de respondentes está entre 30 e 60 anos, destacando-se as faixas de 35 a 50 anos. Esse padrão indica predominância de usuários adultos, em idade economicamente ativa, que provavelmente utilizam a rodovia para deslocamentos relacionados ao trabalho ou compromissos frequentes. As faixas etárias mais jovens, abaixo dos 25 anos, e as mais avançadas, acima dos 65 anos, possuem menor representatividade na amostra. A Figura 63 apresenta a proporção de motoristas por gênero. Homens correspondem a 83,7% dos motoristas, enquanto mulheres representam 16,3%.

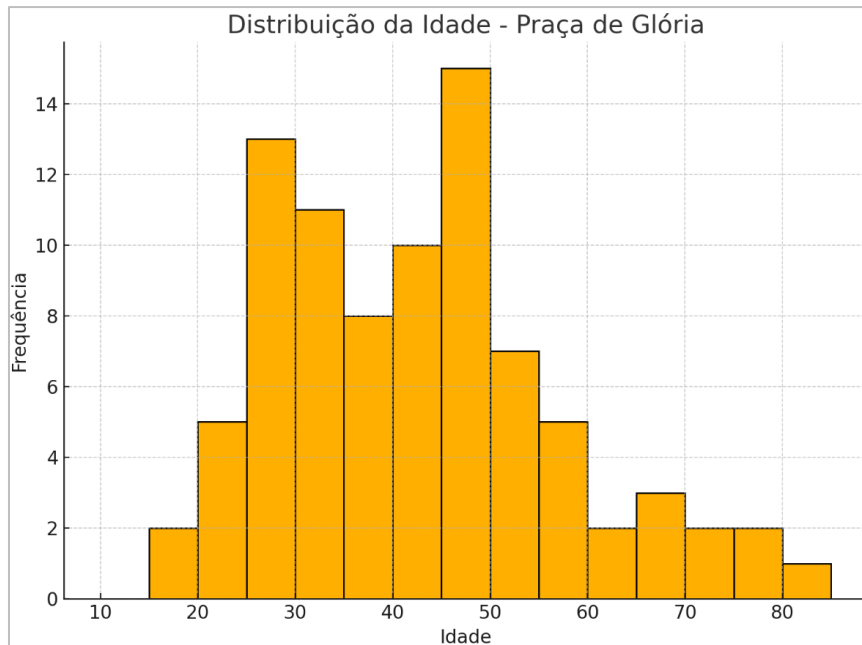


Figura 62 – Idade do motorista P03

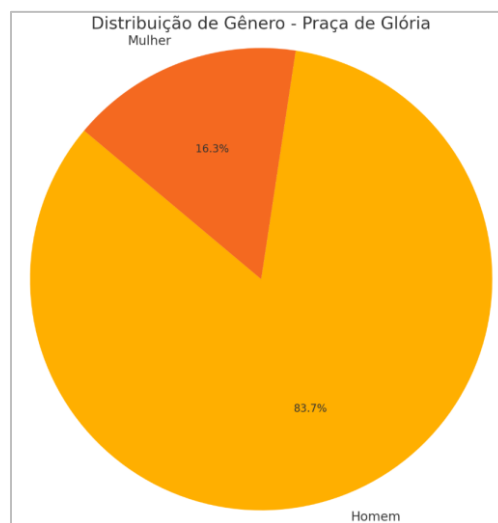


Figura 63 – Gênero do motorista P03

A Figura 64 destaca a distribuição da renda dos motoristas. As faixas de renda mais frequentes são de R\$5.600 a R\$14.000 e R\$2.801 a R\$5.600. Faixas superiores, como R\$14.000 a R\$28.000 e acima de R\$28.000, apresentam menor frequência, bem como a faixa de até R\$ 2.800. E a Figura 65 mostra quem é o responsável pelo pagamento do pedágio. Em 56 casos, o motorista é o financiador, seguido pelos casos em que a empresa assume o custo. O pagamento dividido entre todos os ocupantes aparece em menor frequência, com menos de 10 registros.

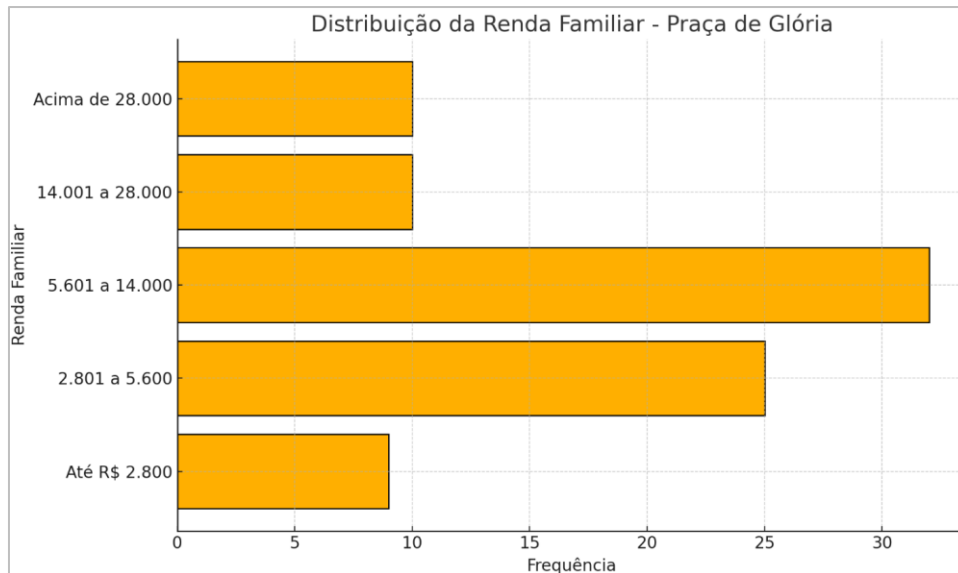


Figura 64 – Renda do motorista P03

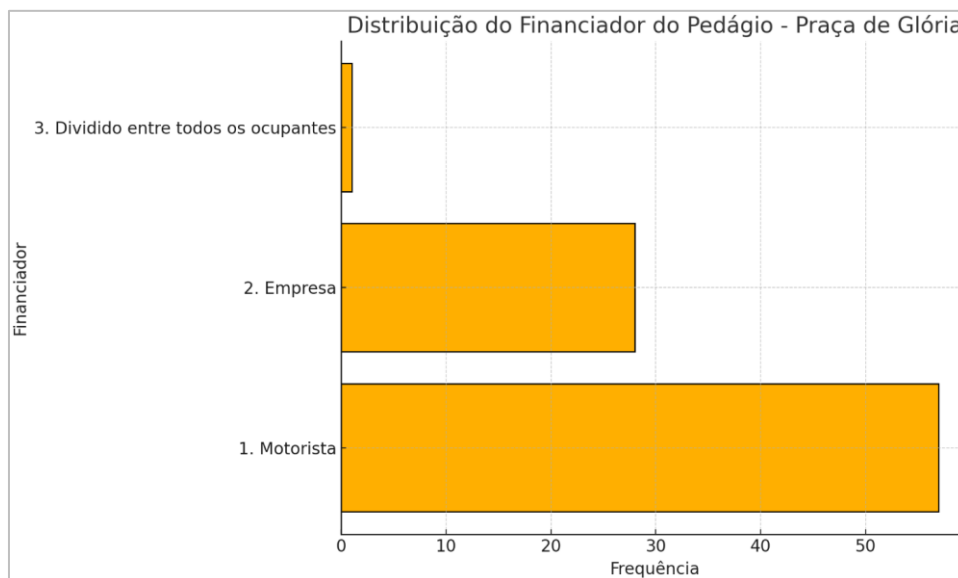


Figura 65 – Financiador do pedágio P03

A Figura 66 apresenta as origens e destinos dos veículos leves no sentido norte na Praça Glória (P03). As zonas de origem estão representadas em azul e as de destino em vermelho, com o tamanho dos círculos proporcional ao volume de viagens. Observa-se que Pelotas é a principal origem de viagens. O município de Canguçu aparece como o principal destino. Outras localidades, como Piratini e Santa Maria, também apresentam fluxos relevantes de veículos leves partindo no sentido norte. O padrão de deslocamento indica que a região de Canguçu funciona como um importante polo atrator de viagens dentro do contexto da praça analisada.

A Figura 67 mostra as origens e destinos dos veículos leves no sentido sul na Praça Glória (P03). Assim como no sentido norte, os círculos azuis representam as zonas de origem, enquanto os vermelhos indicam os destinos. O município de Canguçu aparece como a principal origem de viagens, seguido de Santa Maria. O principal destino é o município de Pelotas, seguido por Canguçu. Além disso, há registros de deslocamentos para outras localidades mais ao sul, como Rio Grande e Capão do Leão.

A Figura 68 apresenta as linhas de desejo representando os fluxos de viagens dos veículos leves na Praça Glória (P03). As linhas indicam as principais conexões entre as zonas de origem e destino, com maior espessura representando volumes mais altos de deslocamento. Os resultados mostram que a conexão entre Canguçu e Pelotas é a mais significativa, sendo responsável pelo maior fluxo de viagens na região. Outros corredores relevantes incluem os deslocamentos entre Pelotas e Santa Maria, além de ligações de Rio Grande e Santa Maria. O sentido norte apresenta fluxos expressivos entre Morro Redondo e Canguçu, evidenciando a relevância dessa ligação no contexto da malha rodoviária regional.

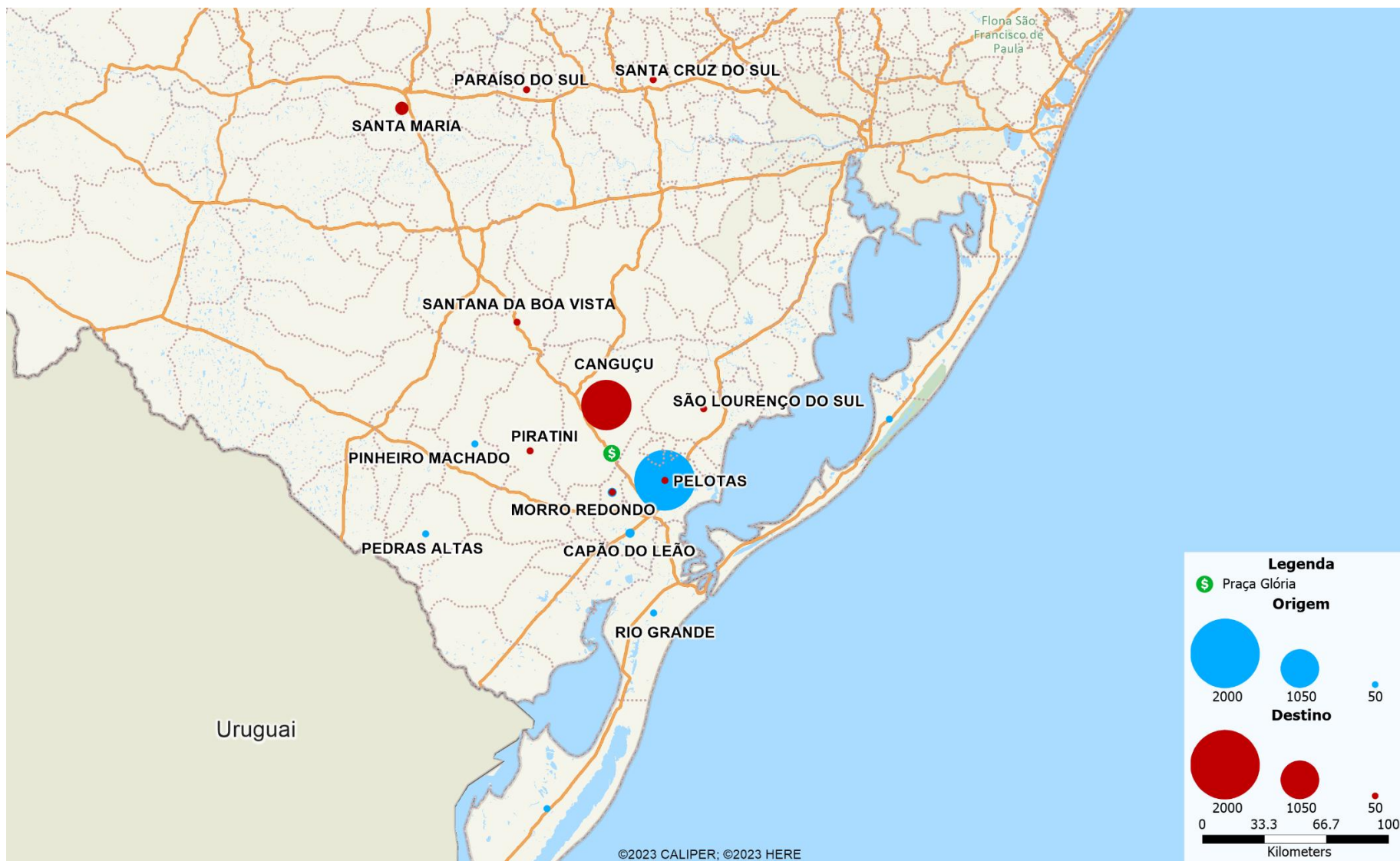


Figura 66 – Origens e Destinos dos veículos leves no sentido norte da P03

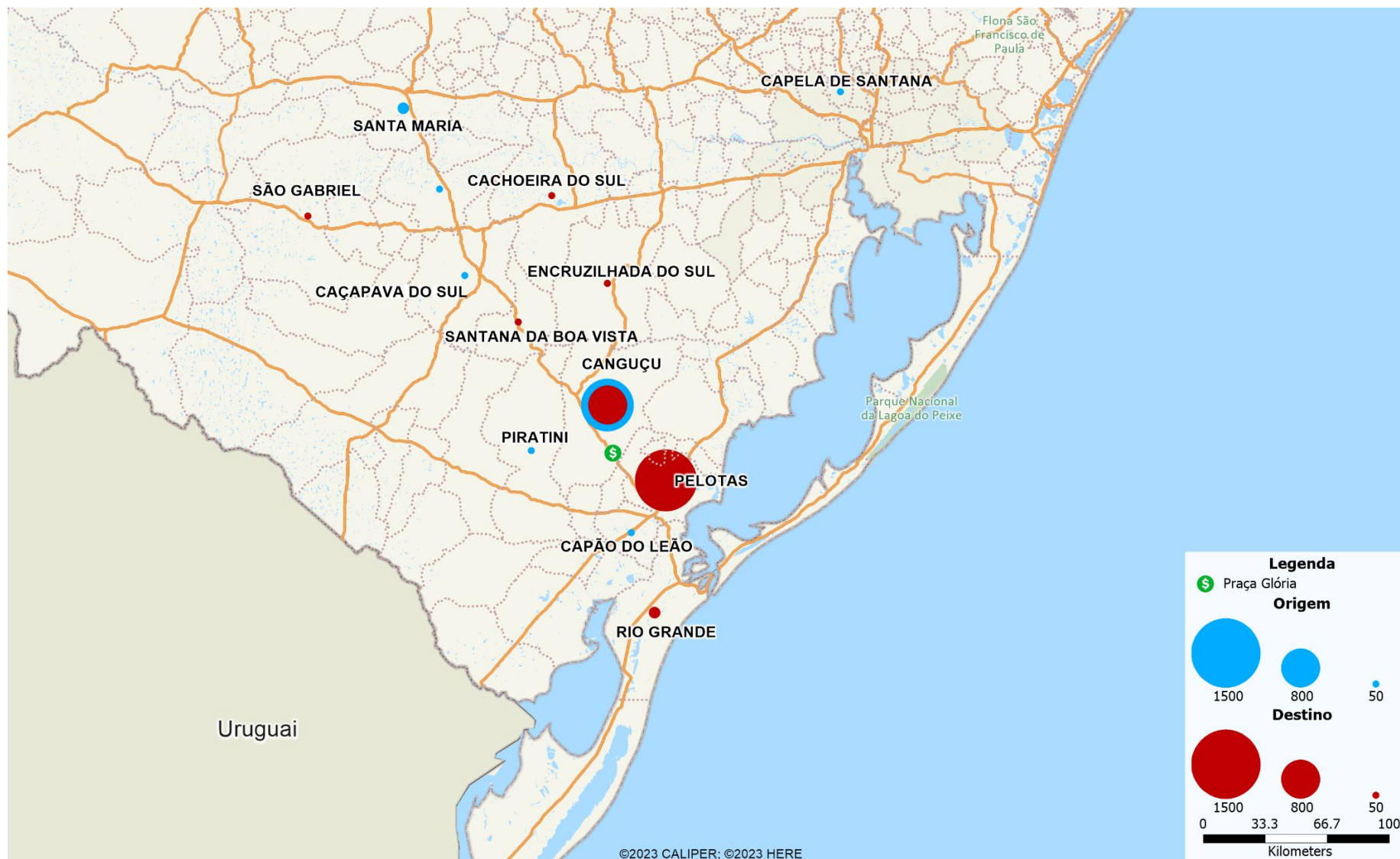


Figura 67 – Origens e Destinos dos veículos leves no sentido decrescente da P03

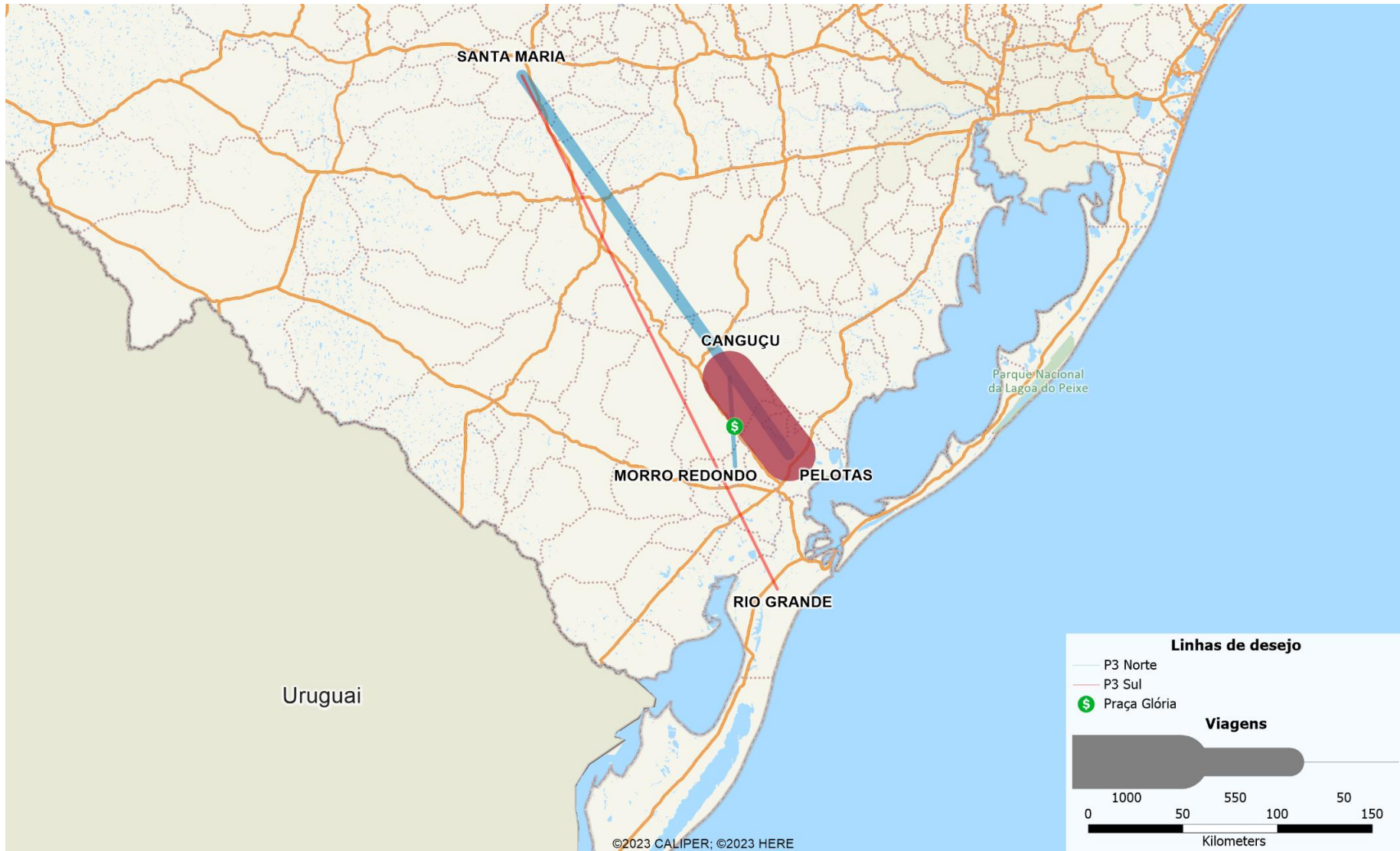


Figura 68 – Linhas de desejo dos veículos leves na P03 Glória

10.2.2. VEÍCULOS PESADOS

As seções seguintes apresentam os resultados sintetizados da pesquisa Origem-Destino realizada em 2021 na concessão Ecosul. A pesquisa foi realizada tanto para veículos leves como para pesados, entretanto, só serão apresentados os resultados dos veículos pesados como forma de suprir a falta de dados atualizados na pesquisa de 2024.

10.2.2.1. PRAÇA 01 – RETIRO

Conforme a pesquisa de 2021, 37% das viagens dos veículos pesados na praça de Retiro possuem frequência de 2 ou mais vezes por semana e outros 19% realizam viagens todos os dias. Além disso, a maioria das viagens (68%) passa por apenas duas praças da Ecosul (Cristal/Retiro ou Retiro/Capão Seco). A Figura 69 apresenta os resultados da pesquisa de 2021 para essas informações, assim como outros dados obtidos nas entrevistas.

Segundo as entrevistas obtidas em 2021, a principal origem e/ou destino dos veículos pesados que passam pela praça de Retiro é a cidade de Rio Grande, devido à presença do porto, seguido por Pelotas. Os municípios de Porto Alegre e Camaquã possuem menor contribuição. A Tabela 11 apresenta os resultados completos apresentados pela PERPLAN na pesquisa de 2021.

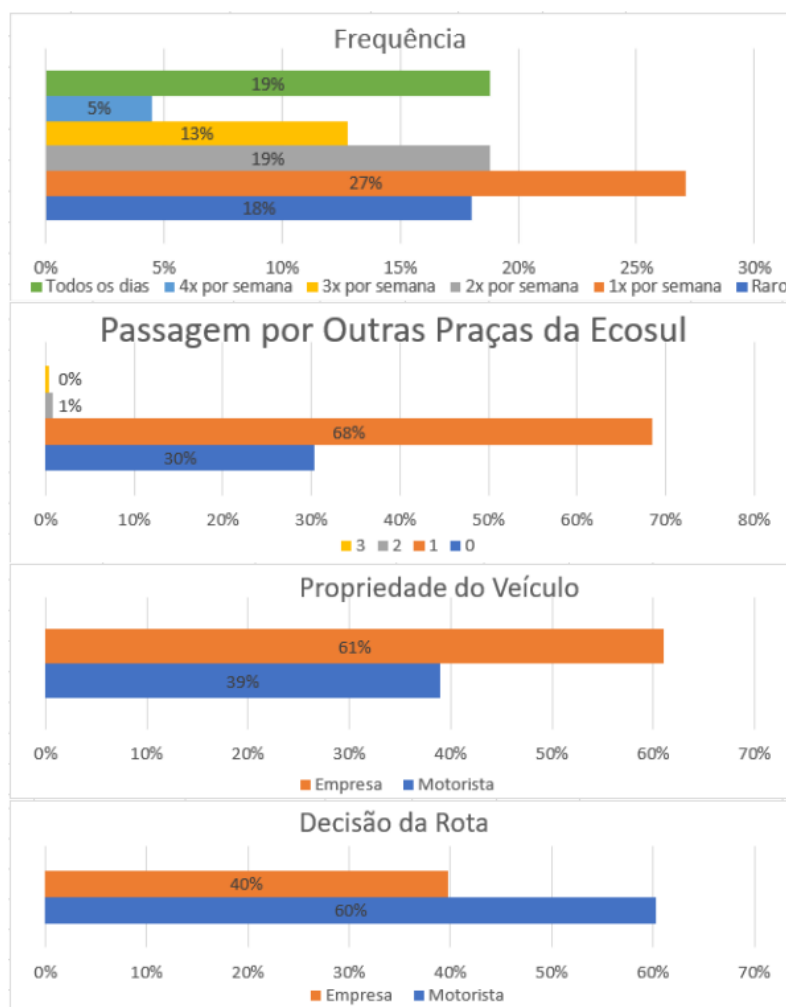


Figura 69 – Caracterização da amostra de veículos pesados OD 2021 – Retiro. Fonte: PERPLAN 2021.

O/D	%
RIO GRANDE	34,0%
PELOTAS	26,4%
PORTO ALEGRE	8,6%
CAMAQUÃ	4,3%
CAXIAS DO SUL	2,5%
JAGUARÃO	1,8%
GRAVATAÍ	1,5%
NOVO HAMBURGO	1,5%
CANOAS	1,3%
CANGUÇU	1,0%

Tabela 11 - Resultados da pesquisa OD 2021 - Retiro. Fonte: PERPLAN 2021.

10.2.2.2. PRAÇA 02 – CAPÃO SECO

Os resultados da pesquisa Origem Destino de 2021 para a praça Capão Seco indicam um percentual significativo dos veículos pesados (30%) realizam viagens todos os dias, seguido das viagens que são realizadas somente 1 vez por semana (20%). Diferentemente da praça Retiro, em Capão Seco a maioria dos veículos pesados (80%) passa somente por essa praça de pedágio, indicando uma forte relação entre Pelotas e Rio Grande para esses veículos. A Figura 70 apresenta os resultados da amostra obtida em 2021.

Em relação às origens e destinos, Rio Grande é o município mais destacado (55%), indicando a relação com o porto ainda mais acentuada nessa praça. Pelotas também possui uma grande importância (23%), indicando que esse é o principal par origem-destino. Por fim, os demais municípios possuem um percentual inferior a 2%, sugerindo poucas viagens de longa distância, conforme apresentado na Tabela 12.

O/D	%
RIO GRANDE	55,0%
PELOTAS	23,0%
BAGÉ	1,8%
CAMAQUÃ	1,4%
CHUI	1,4%
ARROIO GRANDE	0,9%
CAÇAPAVA DO SUL	0,9%
CANGUÇU	0,9%
CANOAS	0,9%
CAPÃO DO LEÃO	0,9%

Tabela 12 – Resultados da pesquisa OD 2021 – Capão Seco. Fonte: PERPLAN 2021.

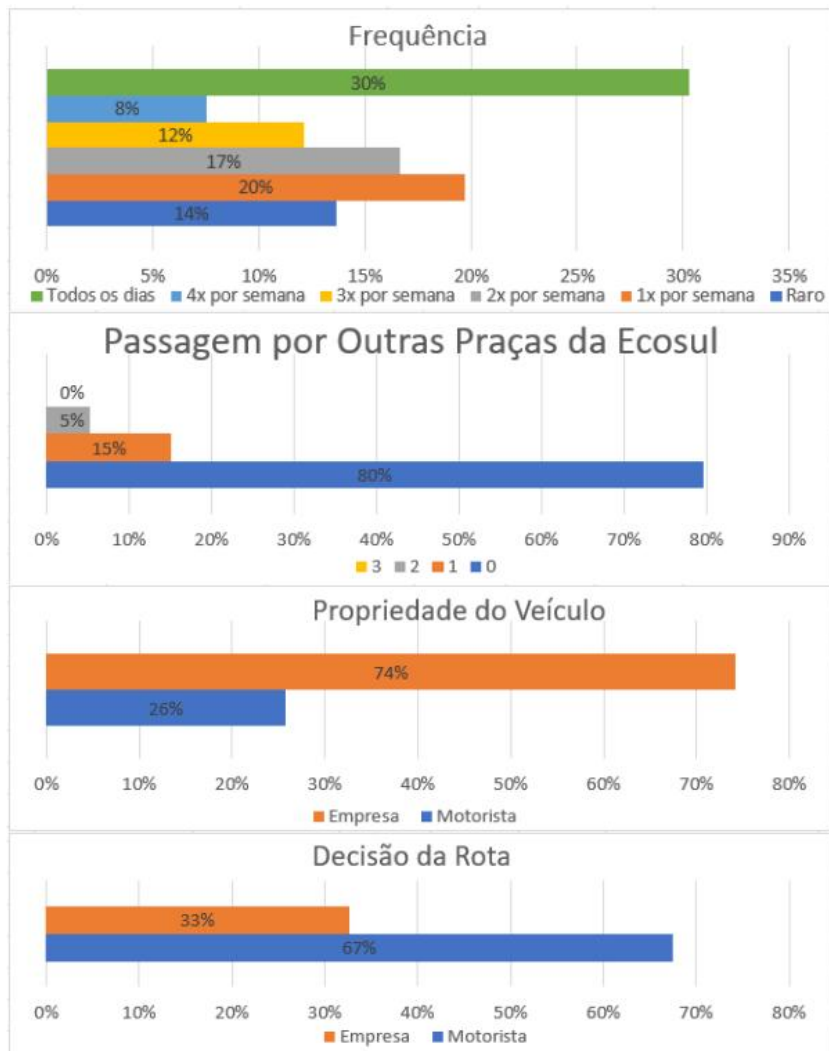


Figura 70 – Caracterização da amostra de veículos pesados OD 2021 – Capão Seco. Fonte: PERPLAN 2021.

10.2.2.3. PRAÇA 03 – GLÓRIA

Os resultados da pesquisa Origem Destino de 2021 para a praça Glória mostram que a maioria das viagens dos veículos pesados é realizada numa frequência de duas vezes por semana (32%), seguido das viagens que são realizadas somente 1 vez por semana (23%). A maior parte dos veículos passa somente por essa praça de pedágio, mas o percentual de veículos que passam por uma segunda praça da concessão também é significativo (quase 50%). Em geral, essa praça é a de Capão Seco. A Figura 71 apresenta os resultados da amostra obtida em 2021.

Assim como nas demais praças analisadas, Rio Grande é o município que mais é citado como origem ou destino das viagens (58,5%). Os municípios de Canguçu, Pelotas e Caçapava do Sul também são relevantes, mas em menor escala, conforme apresentado na Tabela 13.

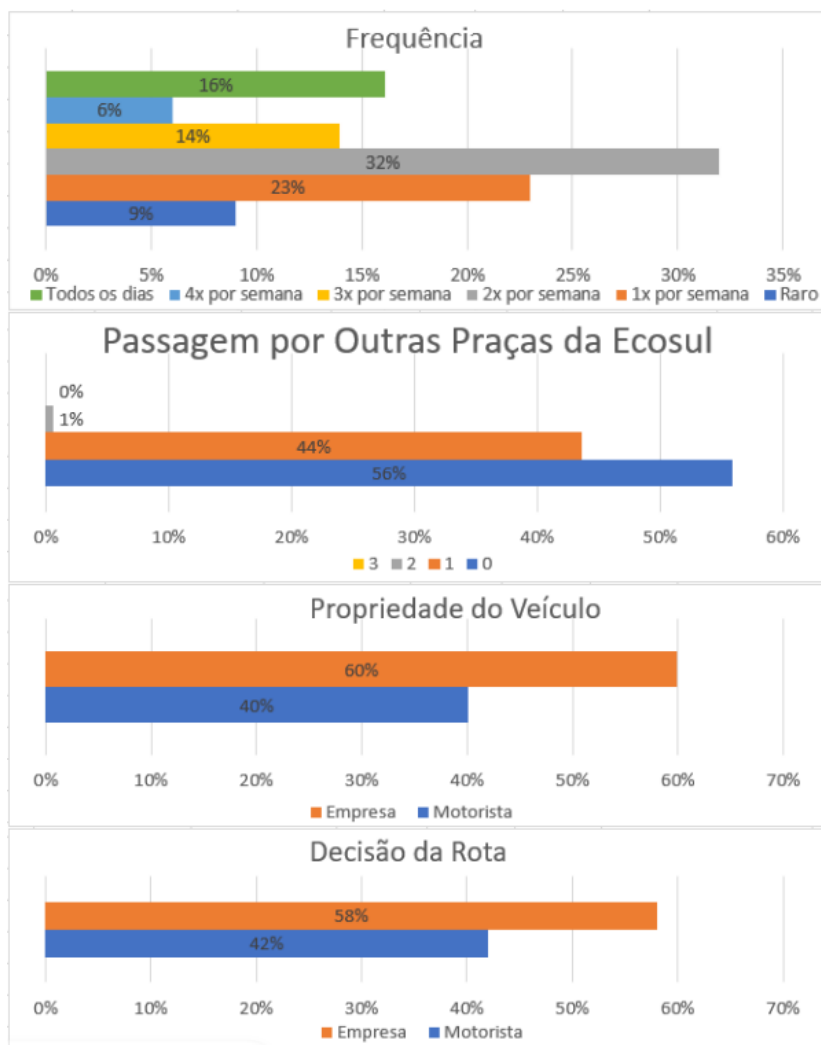


Figura 71 – Caracterização da amostra de veículos pesados OD 2021 – Glória. Fonte: PERPLAN 2021.

O/D	%
RIO GRANDE	58,5%
CANGUÇU	7,2%
PELOTAS	5,6%
CAÇAPAVA DO SUL	5,0%
CACHOEIRA DO SUL	3,0%
CRUZ ALTA	1,9%
IJUÍ	1,3%
CARAZINHO	0,9%
ENCRUZILHADA DO SUL	0,9%
JÚLIO DE CASTILHOS	0,9%

Tabela 13 – Resultados da pesquisa OD 2021 – Glória. Fonte: PERPLAN 2021.

10.3. RESULTADOS DA PESQUISA PD

Durante a coleta de dados, foram obtidas 379 entrevistas de veículos leves. Abaixo são apresentados alguns resultados descritivos da pesquisa, como a frequência de uso da rodovia em relação à posse de sistema automático de cobrança (Figura 72), a distribuição de escolhas de cobrança nos cenários apresentados na pesquisa conforme a utilização ou não de sistemas automáticos (Figura 73, Figura 74, Figura 75). Os resultados dos modelos econométricos estimados são apresentados na seção seguinte (5.5.1).

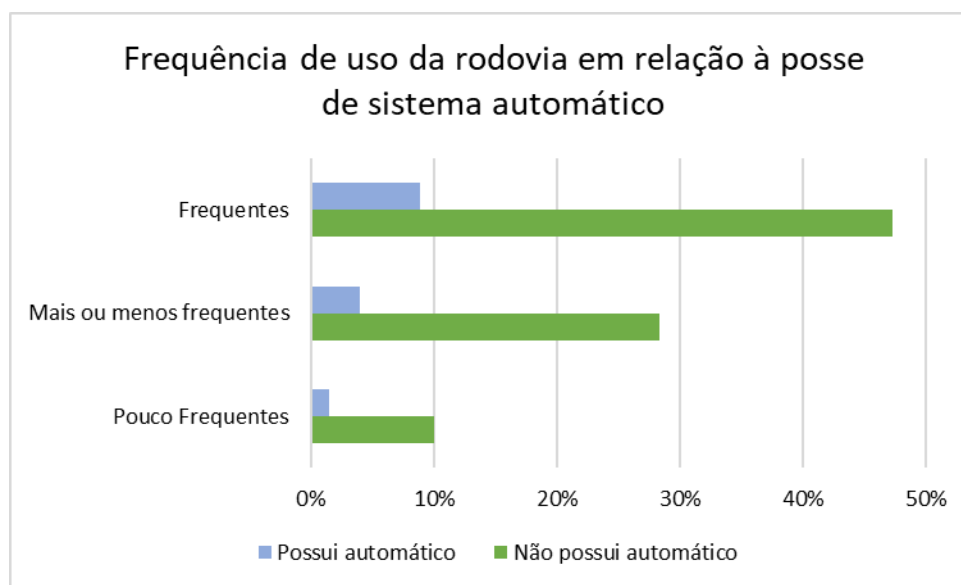


Figura 72 – Frequência de uso da rodovia em relação à posse de sistema automático

A Figura 72 apresenta a frequência de uso da rodovia em relação à posse do sistema automático de cobrança. As barras verdes representam os usuários que não possuem sistema automático, enquanto as barras azuis representam aqueles que possuem sistema automático.

Observa-se que a maioria dos usuários frequentes da rodovia não possui sistema automático, embora uma pequena parcela desses usuários utilize esse sistema. O mesmo padrão se repete para os usuários mais ou menos frequentes, onde a maior parte também não possui sistema automático, e apenas uma fração adota esse método de pagamento.

Entre os usuários pouco frequentes, a predominância de indivíduos que não possuem sistema automático é ainda mais evidente, com um número muito reduzido de usuários pouco frequentes que utilizam o sistema automático.

Esse padrão sugere que, embora o uso do sistema automático esteja presente entre os viajantes mais assíduos, sua adoção ainda é relativamente baixa, mesmo entre aqueles que utilizam a rodovia com frequência. Para os usuários menos frequentes, a baixa adesão ao sistema automático pode estar relacionada ao custo-benefício percebido, uma vez que o investimento nesse sistema pode não ser justificado para quem utiliza a rodovia esporadicamente.

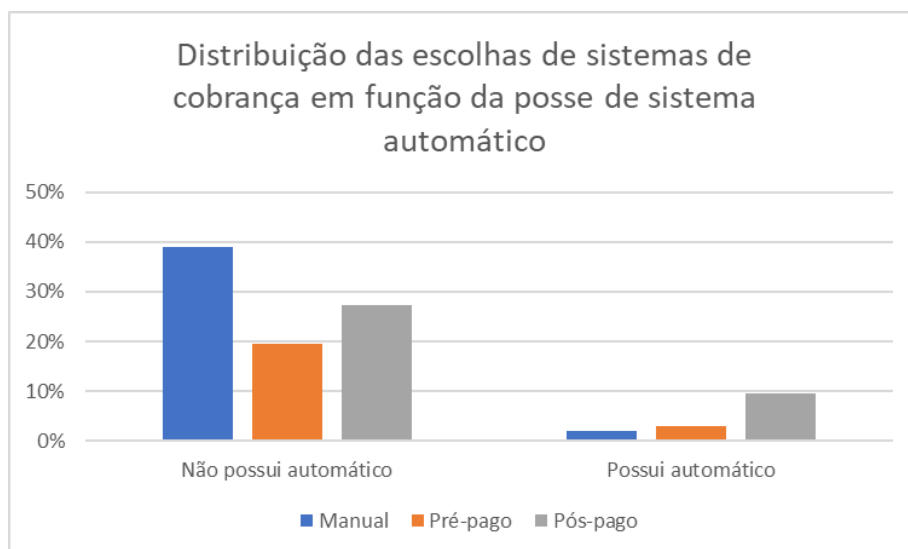


Figura 73 – Distribuição das escolhas de sistemas de cobrança em função da posse de sistema automático

A Figura apresenta a distribuição das escolhas de sistemas de cobrança em função da posse de um sistema automático. As categorias de cobrança analisadas são: Manual (azul), Pré-pago (laranja) e Pós-pago (cinza).

Observa-se que, entre os usuários que não possuem um sistema automático, a maioria opta pelo pagamento manual, seguido pelo pós-pago e, em menor proporção, pelo pré-pago. Esse resultado sugere que, para aqueles que não possuem um sistema automático, a opção manual ainda é amplamente utilizada, possivelmente devido à falta de familiaridade com sistemas automáticos ou pela ausência de necessidade frequente de pagamento eletrônico.

Por outro lado, entre os usuários que possuem um sistema automático, há uma clara predominância do pós-pago, enquanto as opções manual e pré-pago são menos escolhidas. Esse comportamento indica que aqueles que já adotaram um sistema automático preferem a conveniência do pagamento pós-pago, que elimina a necessidade de recarga antecipada ou manuseio de dinheiro no momento da viagem.

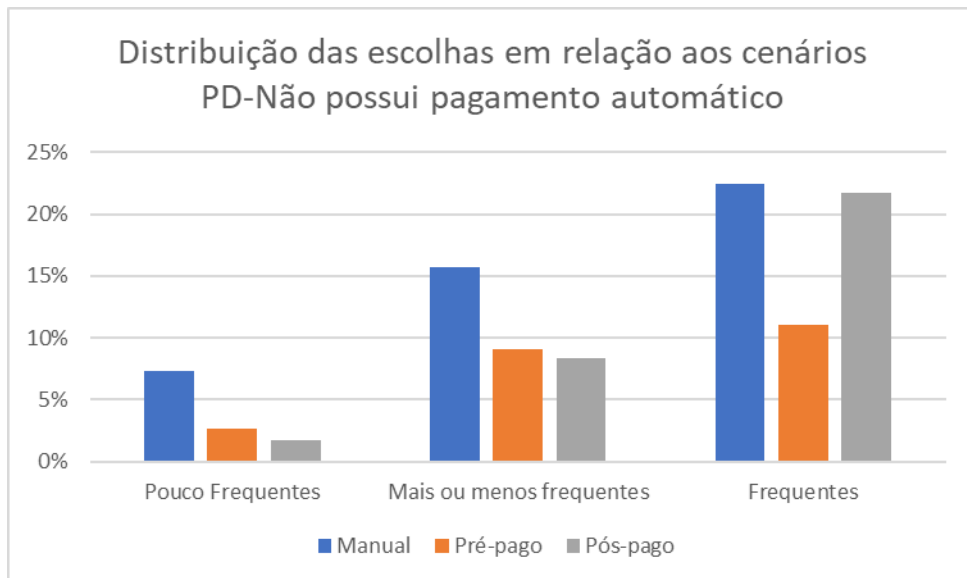


Figura 74 – Distribuição das escolhas em relação às alternativas de cobrança - Não possui sistema automático de cobrança - Segmentados segundo frequência de utilização da rodovia

A Figura 74 apresenta a distribuição das escolhas de sistemas de cobrança entre os usuários que não possuem pagamento automático, segmentados conforme sua frequência de uso da rodovia. Observa-se que o pagamento manual é amplamente escolhido em todos os grupos, especialmente entre os usuários frequentes. No entanto, entre esses usuários mais assíduos, há uma preferência significativa do pagamento pós-pago, sugerindo uma busca por maior conveniência. Já os usuários menos frequentes mantêm uma preferência maior pelo pagamento manual, enquanto a adesão ao pré-pago e pós-pago aumenta conforme a frequência de uso da rodovia. Esse comportamento está em linha com o observado em gráficos anteriores, como na Figura 72, onde se observou que os usuários pouco frequentes tendem a utilizar menos sistemas automáticos de cobrança atualmente.

As Figura 75 e Figura 76 apresentam as alternativas escolhidas em cada um dos 12 cenários de preferência declarada. Os cenários foram desagregados para permitir uma análise mais detalhada das escolhas dos usuários em relação aos sistemas de cobrança manual, pré-pago e pós-pago.

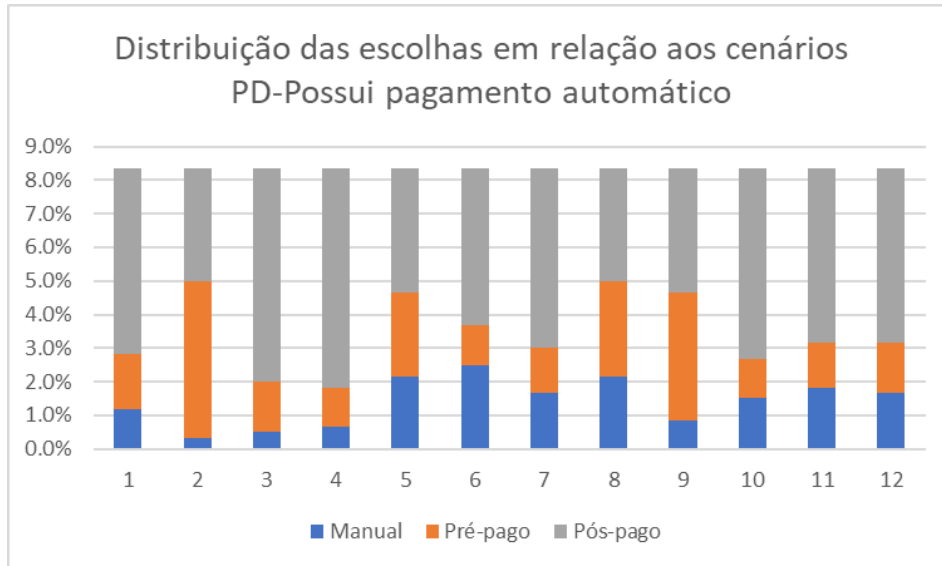


Figura 75 – Distribuição das escolhas em relação aos cenários PD - Possui sistema automático de cobrança

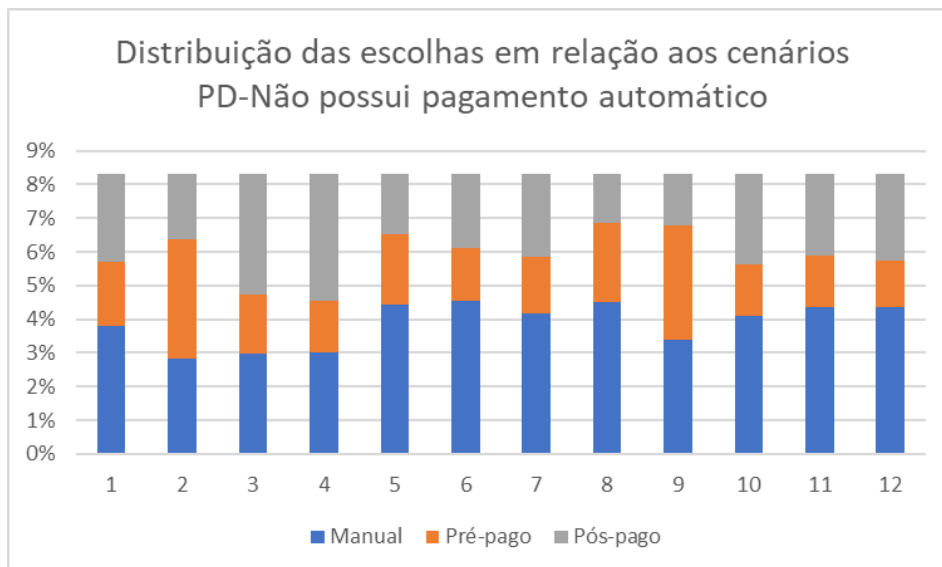


Figura 76 – Distribuição das escolhas em relação aos cenários PD – Não possui sistema automático de cobrança

Observa-se que os usuários que atualmente utilizam o sistema de cobrança automática (ex.: *tag*) apresentam uma tendência significativamente menor a escolher a cobrança manual em todos os cenários analisados. Isso sugere uma consistência nas preferências desses usuários, que valorizam os benefícios associados aos sistemas automáticos, como praticidade e economia de tempo, mesmo diante de variações nos custos e nas condições dos cenários apresentados.

Por outro lado, os usuários que não utilizam atualmente sistemas automáticos de cobrança tendem a escolher predominantemente a alternativa manual em todos os cenários. Essa escolha reforça os padrões observados nos gráficos anteriores, indicando que esses usuários podem não perceber vantagens suficientes nos sistemas automáticos ou não estar dispostos a arcar com os custos de adesão, manutenção ou recarga, especialmente nos cenários em que esses atributos apresentam valores mais elevados.

As Figura 73, Figura 74, Figura 75 e Figura 76 indicam uma relação entre o uso atual de sistemas automáticos de cobrança e as preferências dos usuários nos cenários hipotéticos apresentados na pesquisa de preferência declarada. A análise detalhada das escolhas dos sistemas de cobrança foi realizada por meio de modelos de escolha discreta, cujos resultados são apresentados na seção seguinte.

10.3.1. ESTIMAÇÃO DOS MODELOS

Durante a análise das respostas, observou-se que aproximadamente 55% dos entrevistados escolheram sempre a mesma alternativa em todos os cenários apresentados, valor superior aos valores usuais em pesquisas de preferência declarada. Esse comportamento pode ter diferentes origens: desde uma preferência forte e consistente por determinada alternativa, até limitações na compreensão das tarefas, uso de heurísticas simplificadas para a escolha ou baixa atenção durante o preenchimento. Em pesquisas de preferência declarada, esse tipo de padrão pode afetar a qualidade da estimativa dos parâmetros, especialmente se estiver associado à falta de trade-off entre atributos. No entanto, a exclusão desses respondentes reduziria significativamente a amostra final (para apenas 156 indivíduos), o que poderia comprometer a robustez dos resultados. Diante disso, optou-se por manter todos os participantes na análise, reconhecendo a limitação e sugerindo que investigações futuras explorem com maior profundidade o engajamento dos respondentes durante a tarefa de escolha. A Tabela 14 apresenta os resultados dos modelos logit multinomiais estimados, desenvolvidos com o uso do pacote Apollo no ambiente R (Hess e Palma, 2019).

Tabela 14 - Resultados do modelo logit multinomial (MNL) estimado para todos os usuários

Variáveis	Coefficientes	t-test
Manual ASC_1	-	-
Pré-pago ASC_2	-1,1773	-3, 3450
Pós-pago ASC_3	-1, 2166	-3, 4960
<i>Custo do pedágio (R\$)</i>	-0, 1017	-8, 2010
<i>Custo de adesão (R\$)</i>	-0, 0189	-9, 3150
<i>Taxa de recarga (R\$)</i>	-0, 0150	-5, 2320
<i>Custo da mensalidade (R\$)</i>	-0, 0085	-3, 890
<i>Fila (n° de veículos)</i>	-0, 0210	-5, 6650
N° Observações = 4188 N° Indivíduos = 349 R² Ajustado = 0.1		

O ajuste global do modelo logit multinomial (MNL) foi avaliado utilizando o Pseudo-R² ajustado, que apresentou valor de 0,1. Embora considerado baixo, este valor pode ser interpretado como satisfatório no contexto de modelagem de escolhas, uma vez que valores de 0,4 são usualmente considerados excelentes ajustes (Ortúzar e Willumsen, 2011). Os sinais obtidos para os parâmetros são consistentes com a teoria microeconômica e hipóteses previamente estabelecidas.

Analisando os coeficientes estimados, é possível observar que os coeficientes das variáveis *Custo do pedágio (R\$)*, *Custo de adesão (R\$)*, *Taxa de recarga (R\$)*, *Custo da mensalidade (R\$)* e *Fila (nº de veículos)* são significativamente diferentes de zero (95% de confiança na maioria dos casos). O sinal negativo das variáveis indica que a utilidade dos sistemas de pagamento decresce com incrementos no custo e fila de veículos no pedágio. Este comportamento está de acordo com as expectativas teóricas, pois os usuários tendem a preferir minimizar tanto os custos quanto o tempo de espera.

Nos modelos MNL, as constantes para o sistema de pagamento automático pré e pós-pago foi significativamente diferente de zero para um nível de confiança de 95%. A constante do sistema de pagamento manual foi normalizada a zero (é necessário normalizar uma constante específica da alternativa, pois somente a diferença entre elas pode ser estimada). As constantes capturam a média dos erros não observáveis (ϵ_{iq}), devido a atributos não observados, erros de medição, diferenças entre indivíduos, percepções incorretas de atributos e aleatoriedade inerente à natureza humana. Isto é, é a diferença entre as utilidades das alternativas quando todo o resto é igual. Os sinais negativos das constantes mostram que os usuários são mais propensos a escolher o sistema manual de pagamento do que os outros sistemas alternativos de pagamento.

10.3.1.1. CÁLCULO DA DISPOSIÇÃO AO PAGAMENTO E ELASTICIDADES

Uma das aplicações dos modelos de escolha discreta que derivam da teoria da utilidade aleatória é o cálculo da valoração subjetiva do atributo k-ésimo de uma alternativa i $VS_{ik} (VS_{ik})$, entendida como a disposição a pagar dos indivíduos por uma mudança unitária no nível deste atributo. Para isto, a taxa marginal de substituição entre esse atributo $x_{ik} (x_{ik})$ e alguma medida do custo da alternativa $c_{ik} (c_{ik})$ é determinada, isto é (Equação 9) (Ortúzar e Willumsen, 2011):

$$VS_{ik} = \frac{\partial V_i / \partial x_{ik}}{\partial V_i / \partial c_{ik}} \quad (\text{Equação 9})$$

Em particular, o valor subjetivo da fila de veículos é a taxa marginal de substituição entre a fila de veículos no pedágio e o custo do mesmo, e mede a disposição a pagar dos indivíduos para diminuir a fila de veículos. Neste estudo o tamanho da fila de veículos foi considerada uma proxy para o tempo de espera na fila. Ao especificar uma função de utilidade linear num modelo MNL, o valor da fila é o quociente entre o parâmetro da fila de veículos e o do custo. Nas situações de escolha, a fila de veículos foi dividida em fila de carros e fila de caminhões. No modelo, apenas a fila de carros apresentou significância estatística (95% de confiança) como variável, enquanto a fila de caminhões não foi significativa. Por isso, apenas a fila de carros foi considerada nas análises subsequentes.

O valor da fila de carros para o modelo estimado é de 0,21 R\$/7 carros (valor médio utilizado

nas situações de escolha apresentadas foi de 7 carros). Considerando o contexto do estudo, estima-se uma equivalência de 0,07 R\$/min - valor do tempo em fila. Existe pouca evidência empírica sobre valores de referência em contexto similares. Comparando com valores obtidos em estudos de demanda realizados em outros países é possível observar uma ampla variedade de valores para o tempo de viagem (value of travel time – VOT). Estudos mostram que o VOT varia com o lugar, tempo, características dos usuários (renda principalmente), motivo da viagem, urgência em chegar no destino (Lam e Small, 2001; Hensher, 2000; Gunn, 2000). Valores reportados na literatura dependem do contexto analisado. Estudos europeus reportam valores de 0,15 a 1,1 R\$/min (Victoria Transport Policy Institute, 2017), alguns países subdesenvolvidos encontraram valores de 0,12 R\$/min a 0,20 R\$/min (I.T. Transport, 2002). Outros estudos recomendam valores relacionados com a taxa salarial, variando de 54% a 80% da taxa salarial (Transport Canada, 1994; U.S. Department of Transportation, 1997; Commissariat General du Plan, 2001; Waters, 1996).

Estudos realizados em rodovias brasileiras obtiveram valor de 0,17 R\$/min para a Freeway (BR 290) no Rio Grande do Sul (Relatório RDT TRIUNFO CONCEPA LASTRAN, 2017) e valor de 0,42 R\$/min para o trecho da concessão Eco101. O valor do tempo em fila obtido neste estudo, mais baixo em comparação com trabalhos anteriores, pode ser devido à alta prevalência do pagamento manual na rodovia estudada, onde a maioria dos usuários ainda utilizam esse método, assim como o devido ao perfil e características dos usuários desta rodovia. Em rodovias com maior adoção de cobrança automática, como a Eco101, onde mais da metade dos usuários utiliza sistemas automáticos, a sensibilidade à espera na fila tende a ser maior, resultando em um valor do tempo em fila mais elevado (0,42 R\$/min). Os usuários acostumados a um fluxo mais rápido percebem a fila como um custo maior e, conseqüentemente, estão mais dispostos a pagar para evitá-la. Além disso, um fator que pode ser relevante é o maior custo do pedágio no trecho da concessão da Ecosul em comparação com outras rodovias brasileiras. Esse maior custo pode impactar a disposição dos usuários a pagar por conveniência, pois já enfrentam um custo elevado e podem não estar dispostos a gastar ainda mais para reduzir a fila. Ainda, o volume de veículos nesta rodovia é menor do que nas outras rodovias analisadas, o que pode contribuir para uma menor percepção do tempo de espera como um problema significativo. Com menos veículos passando pelas praças de pedágio, é possível que as filas sejam menos frequentes ou menos longas, reduzindo a necessidade de pagamento por um sistema que agilize a passagem.

Para comparar a importância das variáveis explicativas com diferentes escalas e conhecer os efeitos quantitativos de mudanças da política de transporte na demanda foi calculada a elasticidade direta de escolha do sistema de pagamento em relação às variáveis explicativas (Tabela 15).

A elasticidade é definida como a mudança percentual na probabilidade de escolha de uma alternativa, pertencente ao conjunto de alternativas, a consequência de variações no valor dos atributos da mesma alternativa (Elasticidade direta). As elasticidades permitem comparar o impacto das variáveis explicativas e conhecer os efeitos de mudanças da política de transporte na demanda.

A elasticidade da probabilidade de escolha mede a sensibilidade da escolha dos indivíduos em relação a uma variável explicativa. Indica qual a mudança percentual na probabilidade de o indivíduo escolher uma alternativa em função de uma mudança marginal no valor da variável explicativa da função utilidade da mesma alternativa (Elasticidade direta) (Ortúzar e Willumsen, 2011). O cálculo de elasticidades utilizou as equações propostas por Ortúzar e Willumsen (2011) (Os valores foram calculados para cada indivíduo e logo agregados utilizando o método de enumeração amostral).

$$E_{P_{iq}, X_{ikq}} = \theta_{ik} \cdot X_{ikq} (1 - P_{iq}) \quad (\text{Equação 10})$$

Em que $E_{P_{iq}, X_{ikq}}$: é a elasticidade da probabilidade de escolha da alternativa A_i em relação a uma mudança marginal do atributo k da alternativa A_i para o indivíduo q ; θ_{ik} : valor do coeficiente da variável X_i na opção de troca; X_{ikq} : valor da variável na alternativa i oferecida; e P_{iq} : probabilidade da alternativa i a ser escolhida.

Tabela 15 - Elasticidade da probabilidade de escolha do sistema de cobrança

	Pré-pago	Pós-pago	Manual
<i>Custo do pedágio (R\$)</i>	-1.193	-1.193	-0.649
<i>Custo de adesão (R\$)</i>	-0.279	-0.063	
<i>Taxa de recarga (R\$)</i>	-0.181		
<i>Custo da mensalidade (R\$)</i>		-0.093	
<i>Fila (nº de veículos)</i>	-0.039	-0.036	-0.059

A elasticidade do custo do pedágio para o sistema automático (-1,193) apresentou o maior valor em termos absolutos, indicando que o custo do pedágio é o atributo que mais impacta a escolha do sistema automático. Esse resultado reflete a alta sensibilidade dos usuários ao custo direto do pedágio, especialmente para aqueles que utilizam sistemas automatizados, que podem considerar alternativas mais baratas caso o preço do pedágio aumente. O custo do pedágio na cabine manual também influencia a escolha, mas com menor intensidade (-0,649), sugerindo que, apesar de sua relevância, os usuários que utilizam esse método são um pouco menos sensíveis às variações de preço em comparação aos que optam pelo sistema automático.

A elasticidade do custo de adesão do sistema pré-pago (-0,279) é a segunda maior em valor absoluto entre os custos adicionais, indicando que o custo inicial para aderir ao sistema pré-pago pode ser percebido como uma barreira para sua adoção. Já o custo de adesão do sistema pós-pago (-0,063) é bem menor, sugerindo que esse fator tem pouca influência na decisão de

escolha dessa alternativa, possivelmente porque o custo de adesão nesse sistema é mais baixo ou inexistente.

A taxa de recarga (-0,181) também impacta negativamente a escolha do sistema pré-pago, sendo um dos fatores mais relevantes. Esse resultado indica que os usuários percebem a necessidade de recarga como um custo recorrente que pode dificultar a adoção desse método.

O custo da mensalidade (-0,093), que se aplica exclusivamente ao sistema pós-pago, tem um impacto menor do que os custos de adesão e a taxa de recarga, mas ainda assim influencia a decisão dos usuários. Esse resultado sugere que a existência de um custo fixo mensal pode reduzir a atratividade do pós-pago, especialmente para usuários que não utilizam o sistema com frequência suficiente para justificar essa despesa.

Em relação às filas, a elasticidade da fila no pagamento manual (-0,0588) é a mais alta entre as alternativas analisadas, indicando que os usuários desse sistema percebem a espera como um fator relevante e podem estar mais dispostos a migrar para sistemas automáticos para evitá-la. A elasticidade da fila geral (-0,0387) e da fila no pós-pago (-0,0356) são significativamente menores, sugerindo que o impacto da espera é menos relevante para usuários que já utilizam sistemas automatizados.

Assim, os resultados mostram que o custo do pedágio é o fator mais determinante na escolha do sistema de pagamento, seguido pelos custos de adesão e, por último, pelo tempo de fila. A alta elasticidade do custo do pedágio automático indica que esse atributo deve ser considerado com atenção ao avaliar a adoção de sistemas automáticos. Além disso, os usuários do pagamento manual são os que mais valorizam a redução de filas, enquanto os custos recorrentes, como taxa de recarga e mensalidade, podem ser barreiras para a adoção dos sistemas pré e pós-pago.

Embora as elasticidades forneçam uma visão inicial sobre os impactos dos atributos, é importante realizar análises adicionais, como simulações com variações nos valores dos atributos para compreender melhor como a probabilidade de escolha de cada sistema de cobrança se comporta em diferentes cenários. Gráficos de probabilidade de escolha podem ajudar a visualizar essas relações.

10.3.1.2. APLICAÇÃO DO MODELO PARA PREVISÃO DE DEMANDA

O modelo estimado foi aplicado utilizando os valores médios dos atributos considerados no experimento. Os atributos foram: *Expectativa de Fila de veículos no pedágio*, *Custo do pedágio*, *Custo de adesão*, *Taxa de recarga* e *Custo da mensalidade*, conforme descrito na seção 4.2 Projeto Experimental. Para analisar como a probabilidade de escolha varia em função de mudanças individuais em cada atributo, foram realizadas simulações alterando sistematicamente os valores de cada atributo, mantendo os valores dos demais atributos fixos nos seus valores médios. Em cada caso, foi avaliada a participação de mercado correspondente para as diferentes alternativas, possibilitando identificar a sensibilidade dos usuários a essas mudanças.

Essa abordagem permite compreender o impacto de cada atributo na decisão dos usuários, tanto isoladamente quanto em comparação com os demais. Além disso, os resultados obtidos fornecem indicações para a formulação de estratégias que podem aumentar a atratividade de determinados sistemas de cobrança, como ajustes nos custos de adesão, mensalidade ou filas de veículos, otimizando a experiência dos usuários e incentivando a migração para alternativas mais eficientes.

A Figura 77 ilustra a variação da participação de mercado entre os sistemas de pagamento manual e automático frente ao aumento do número de veículos na fila do pedágio manual. Inicialmente, o sistema manual apresenta uma participação majoritária no mercado, que diminui gradativamente conforme a fila de veículos cresce. Em contraste, a participação do sistema automático aumenta de forma consistente, superando a do sistema manual quando as filas atingem um nível extremamente alto (48 veículos).

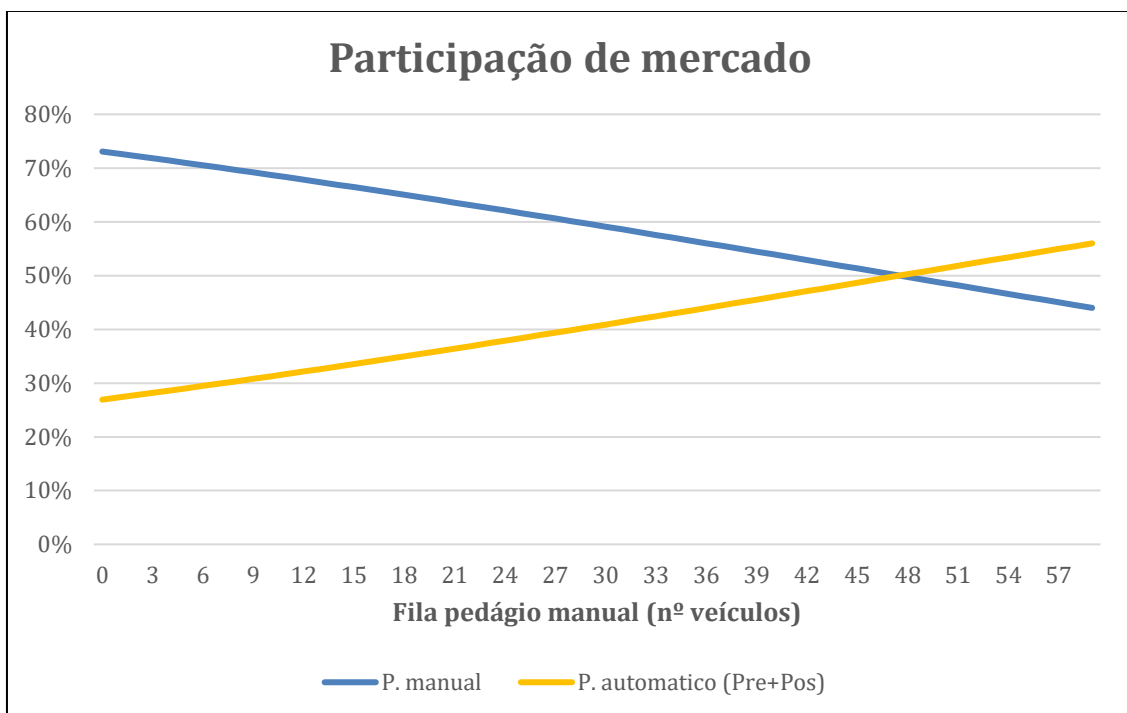


Figura 77 - Variação da participação do mercado frente ao aumento da fila do pedágio do sistema manual (pagamento manual x automático)

A Figura 78 detalha a participação de mercado dos diferentes sistemas de pagamento em função do tamanho da fila no pedágio manual. Inicialmente, o pagamento manual apresenta a maior participação, com mais de 70%, mas sua participação diminui gradativamente à medida que a fila aumenta.

Por outro lado, os sistemas pré-pago e pós-pago apresentam uma tendência de crescimento, indicando que quanto maior a fila no pagamento manual, maior a adoção dos sistemas automáticos. O pós-pago tem uma participação um pouco maior do que o pré-pago ao longo de toda a variação da fila, sugerindo uma preferência ligeiramente maior por essa alternativa.

O resultado evidencia que o tempo de espera impacta a escolha do método de pagamento, e que o aumento das filas no pagamento manual incentiva a migração para sistemas automáticos,

o que pode ter implicações na gestão e tarifação do pedágio. Entretanto, as mudanças na participação de mercado são relativamente pequenas para valores usuais de filas.

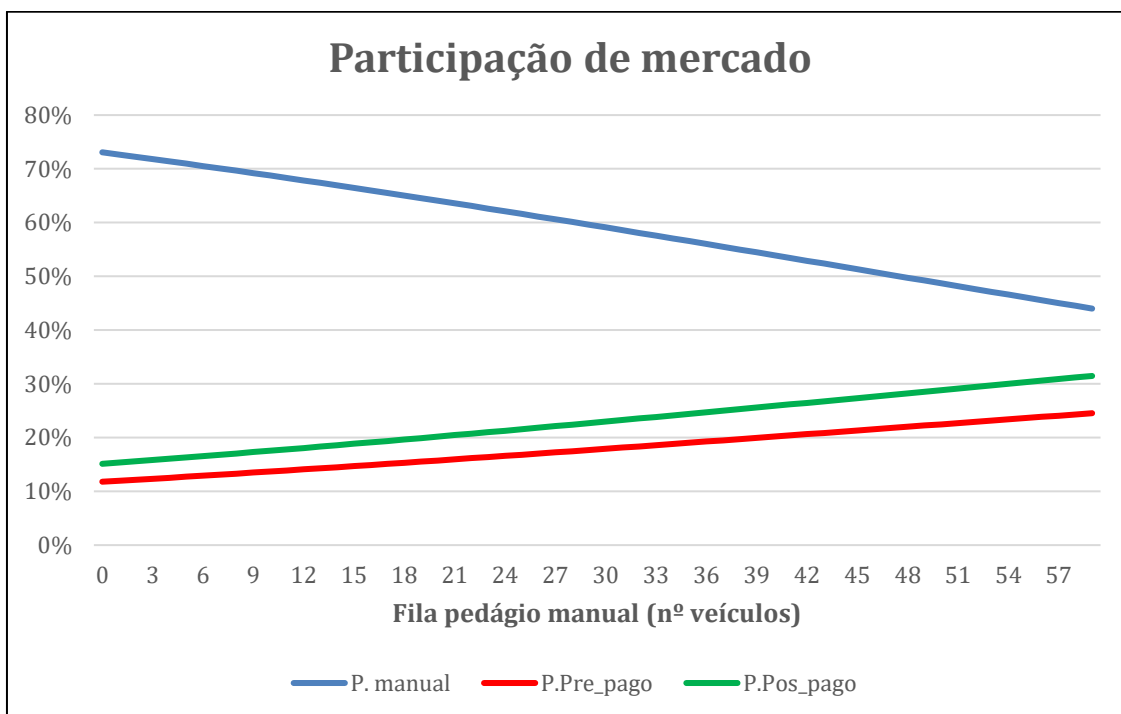


Figura 78 - Variação da participação do mercado frente ao aumento da fila do pedágio do sistema manual (pagamento manual x automático pré-pago x automático pós-pago)

A Figura 79 apresenta a variação da participação de mercado entre os sistemas de pagamento manual e automático (pré + pós) conforme ocorre o aumento do custo do pedágio automático (valor do pedágio em reais). Para valores muito abaixo da tarifa atual (por volta de R\$ 1), o sistema automático (pré + pós-pago) tem participação majoritária, com mais de 80%, enquanto o sistema manual representa menos de 20% das escolhas. No entanto, conforme o custo do pedágio automático aumenta, sua participação diminui gradativamente, enquanto a participação do sistema manual cresce de forma contínua, até ultrapassar a do sistema automático por volta de R\$ 12 a R\$ 14, valores ainda inferiores às tarifas praticadas atualmente (R\$ 19,60).

Esse resultado evidencia que o custo do pedágio automático é um fator determinante na escolha do sistema de pagamento. Quando o custo é baixo, a maioria dos usuários opta pelo sistema automático, mas à medida que o preço aumenta, a migração para o pagamento manual se intensifica. Isso sugere que há um limite de aceitação para o custo do pedágio automático, após o qual os usuários passam a considerar o pagamento manual como uma alternativa mais vantajosa.

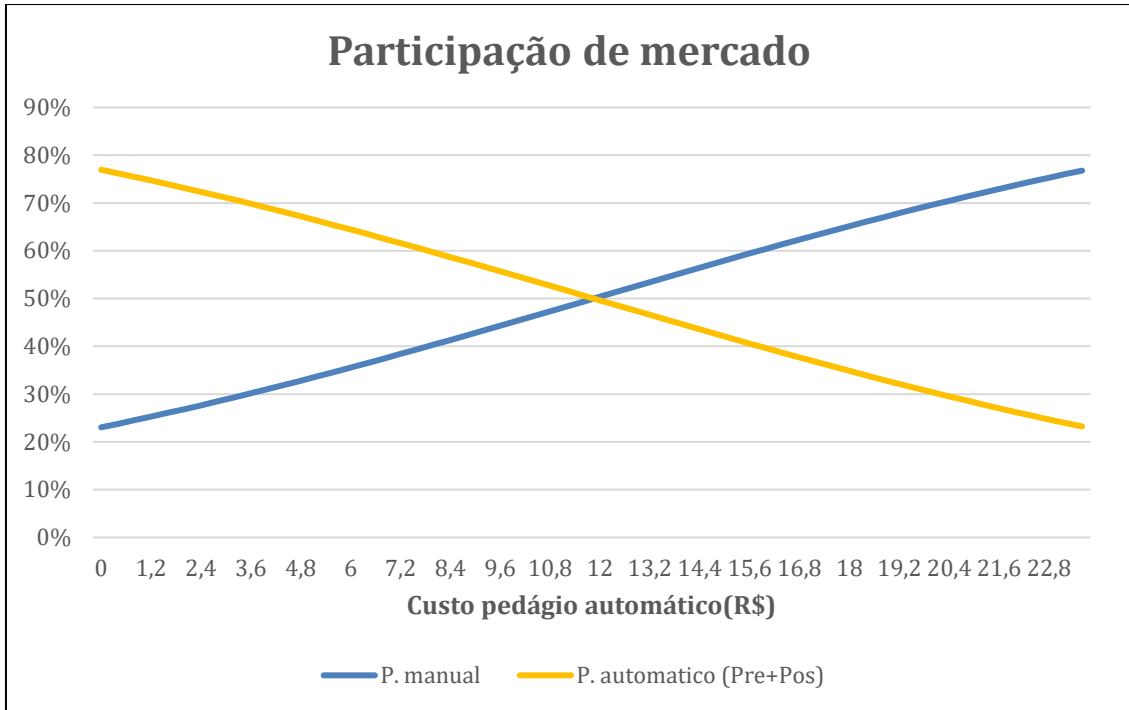


Figura 79 - Variação da participação do mercado frente ao aumento do custo do pedágio automático (pagamento manual x automático)

A Figura 80 detalha a variação da participação de mercado considerando três alternativas: pagamento manual, pagamento automático pré-pago e pagamento automático pós-pago. Com o aumento do custo do pedágio automático, a participação do sistema manual cresce de maneira consistente, enquanto as participações dos sistemas pré-pago e pós-pago diminuem. Entre os dois sistemas automáticos, o pós-pago apresenta uma participação de mercado ligeiramente superior ao pré-pago, mesmo com o aumento do custo, sugerindo que o sistema pós-pago é percebido como mais conveniente ou vantajoso em relação ao pré-pago.

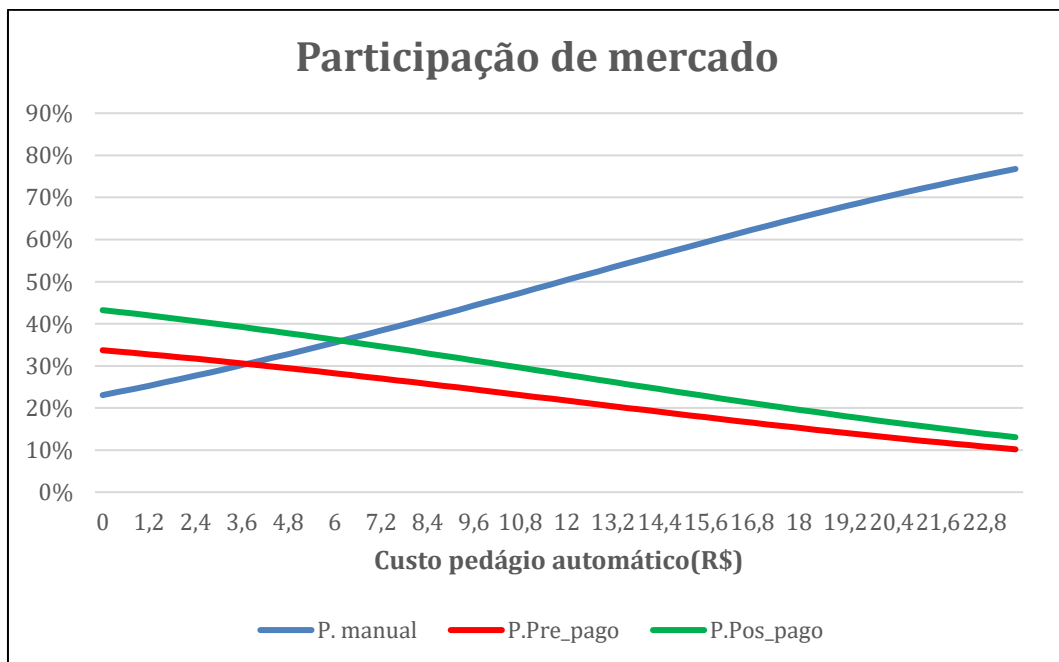


Figura 80 - Variação da participação do mercado frente ao aumento do custo do pedágio automático (pagamento manual x automático pré-pago x automático pós-pago)

A Figura 81 demonstra a variação da participação de mercado entre o pagamento manual e o pagamento automático (pré + pós) à medida que a taxa de recarga do sistema pré-pago aumenta. Observa-se que a participação do sistema manual cresce levemente, enquanto a participação do sistema automático apresenta uma queda proporcional, mas ambas as mudanças são de pequena magnitude. Isso indica que o aumento da taxa de recarga não exerce um impacto significativo nas escolhas dos usuários, sugerindo baixa elasticidade em relação a essa variável.

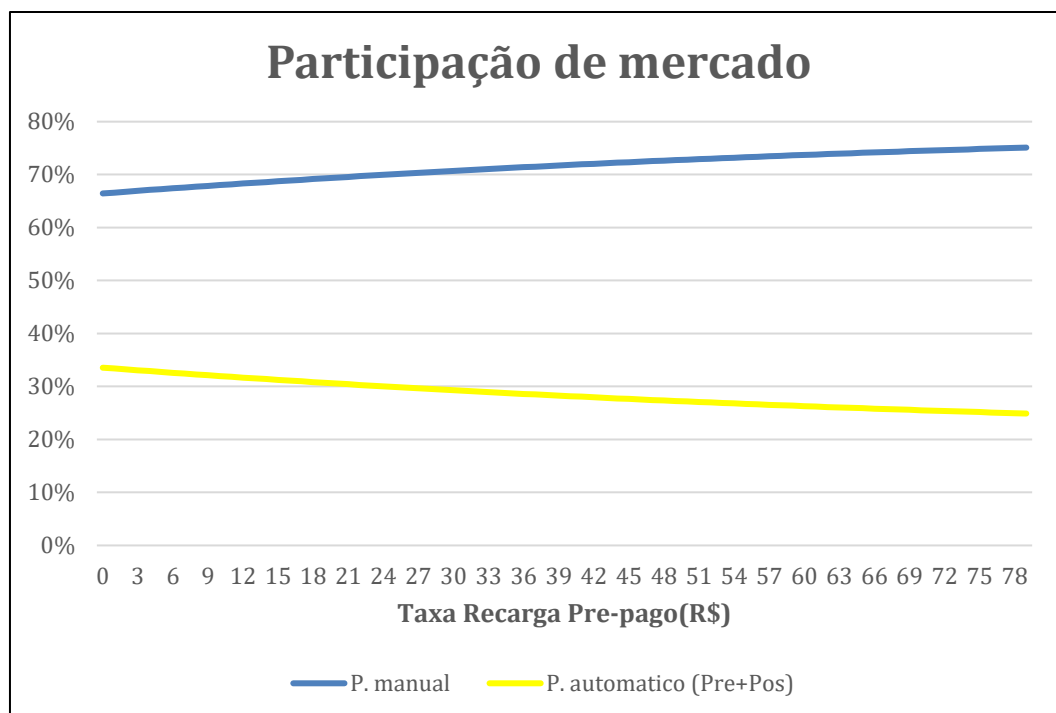


Figura 81 - Variação da participação do mercado frente ao aumento da taxa de recarga do sistema pré-pago (pagamento manual x automático)

A Figura 82 detalha a variação da participação de mercado considerando três sistemas: pagamento manual, pagamento automático pré-pago e pagamento automático pós-pago, em função do aumento da taxa de recarga do sistema pré-pago. Observa-se que, conforme a taxa de recarga aumenta, a participação do sistema pré-pago diminui gradativamente, indicando que o custo de recarga é um fator relevante na decisão dos usuários.

Por outro lado, a participação do pagamento manual (linha azul) cresce lentamente, sugerindo que parte dos usuários que deixam de utilizar o pré-pago migram para o pagamento manual. Já o pós-pago (linha verde) mantém uma participação relativamente constante, o que indica que sua escolha não é diretamente influenciada pelo custo de recarga do pré-pago.

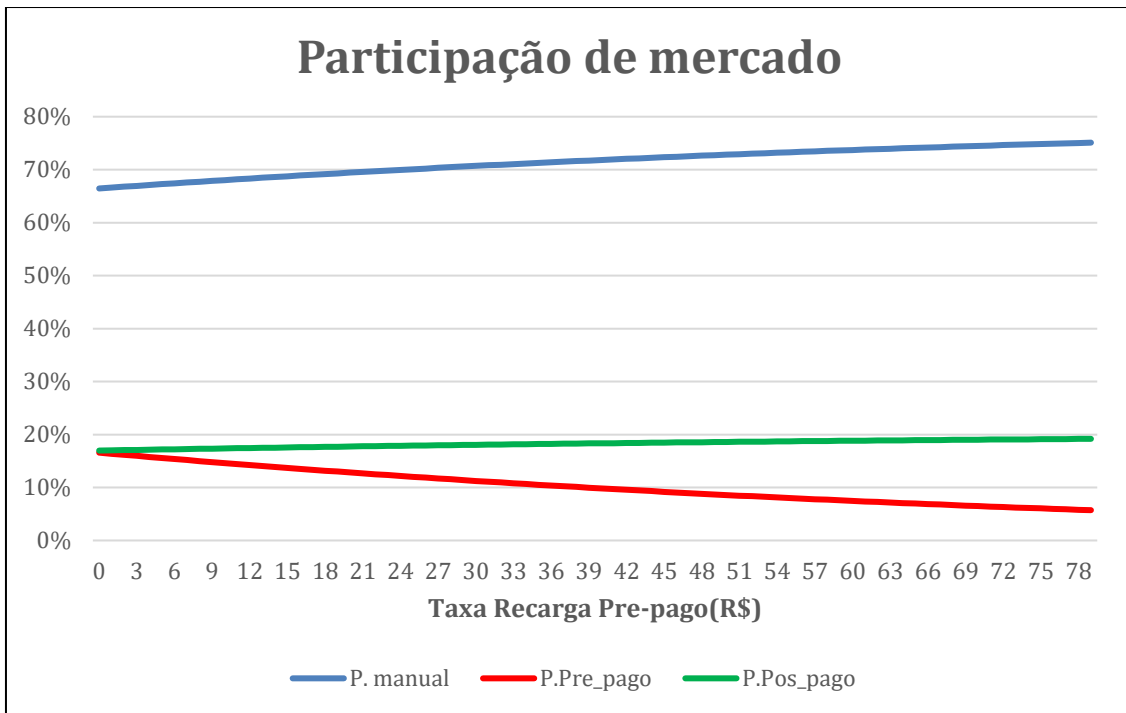


Figura 82 - Variação da participação do mercado frente ao aumento da taxa de recarga do sistema pré-pago (pagamento manual x automático pré-pago x automático pós-pago)

A Figura 83 apresenta a variação da participação de mercado entre o sistema de pagamento manual e o sistema automático (pré + pós) em função do aumento do custo de adesão do sistema pré-pago. Observa-se um leve crescimento na participação do sistema manual, enquanto a participação do sistema automático (pré + pós) diminui de forma gradual.

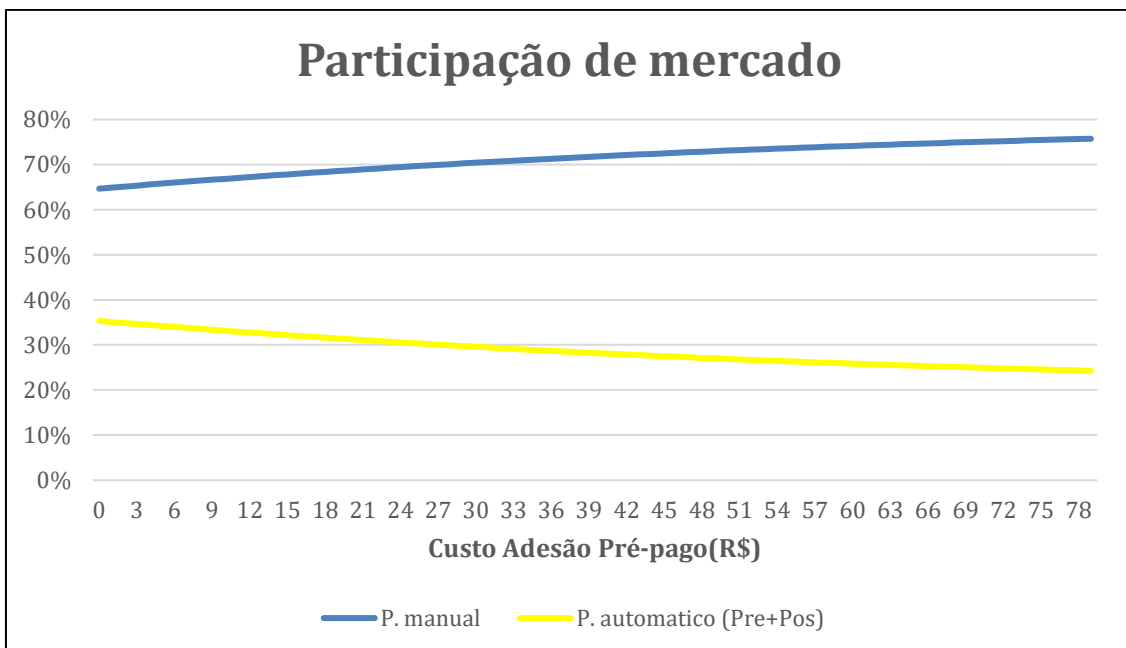


Figura 83 - Variação da participação do mercado frente ao aumento do custo de adesão do sistema pré-pago (pagamento manual x automático)

A Figura 84 detalha a variação da participação de mercado considerando as três modalidades: pagamento manual, pagamento automático pré-pago e pagamento automático pós-pago, em relação ao aumento do custo de adesão do sistema pré-pago. Observa-se que, conforme o custo de adesão ao pré-pago aumenta, sua participação (linha vermelha) diminui gradativamente, indicando que o custo inicial para aderir ao sistema é um fator relevante na decisão dos usuários. Por outro lado, a participação do pagamento manual cresce lentamente, sugerindo que os usuários que deixam o sistema pré-pago tendem a migrar para o pagamento manual. Já o pós-pago mantém uma participação relativamente constante, indicando que o custo de adesão ao pré-pago não afeta significativamente a escolha do pós-pago.

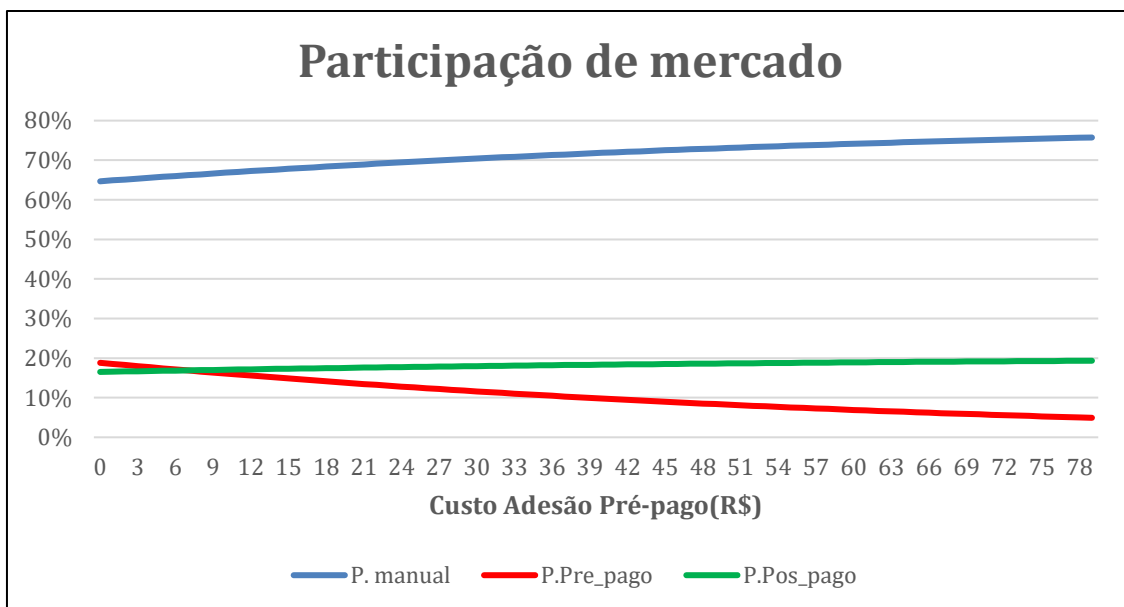


Figura 84 - Variação da participação do mercado frente ao aumento do custo de adesão do sistema pré-pago (pagamento manual x automático pré-pago x automático pós-pago)

A Figura 85 apresenta a variação da participação de mercado entre o sistema de pagamento manual e o sistema automático (pré + pós) em função do aumento do custo da mensalidade do sistema pós-pago. Observa-se que, à medida que o custo da mensalidade aumenta, a participação do sistema automático diminui gradualmente, enquanto a participação do pagamento manual cresce de forma lenta, mas constante.

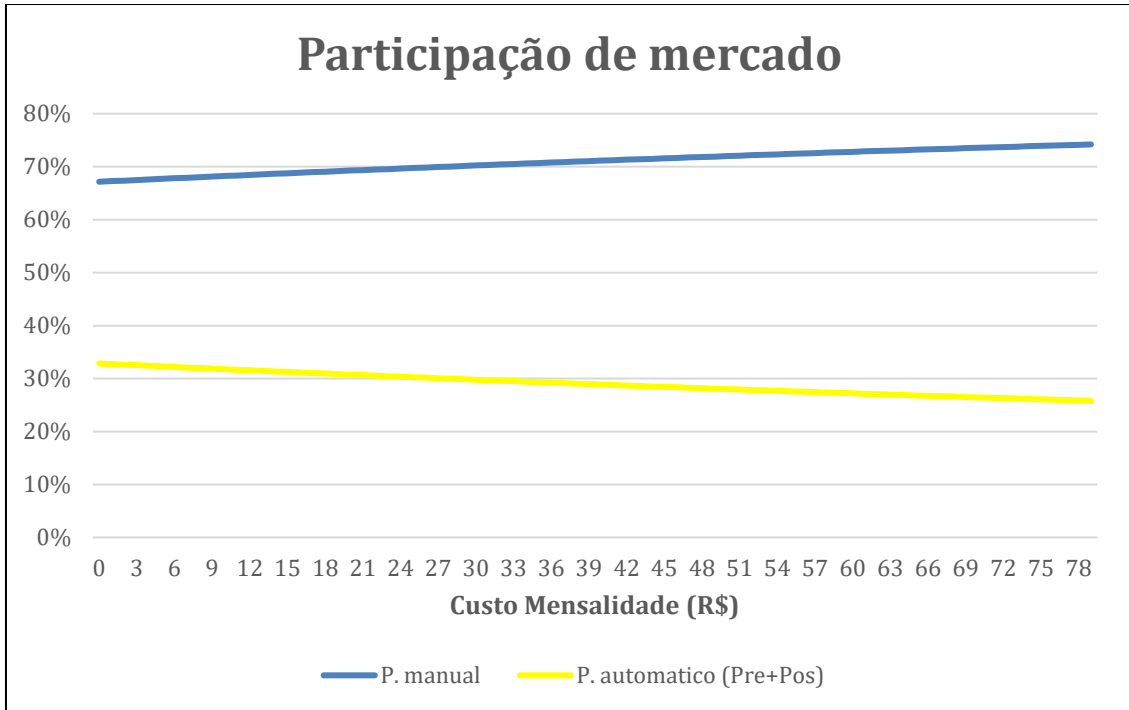


Figura 85 - Variação da participação do mercado frente ao aumento do custo da mensalidade do sistema pós-pago (pagamento manual x automático)

A Figura 86 detalha a variação da participação de mercado entre os sistemas de pagamento manual, automático pré-pago e automático pós-pago, considerando o aumento do custo da mensalidade do sistema pós-pago. O sistema manual registra um crescimento gradual em sua participação, enquanto o sistema automático pós-pago apresenta uma redução um pouco mais significativa. Em contrapartida, o sistema automático pré-pago mantém uma participação estável, chegando a ultrapassar o pós-pago em determinados valores de mensalidade.

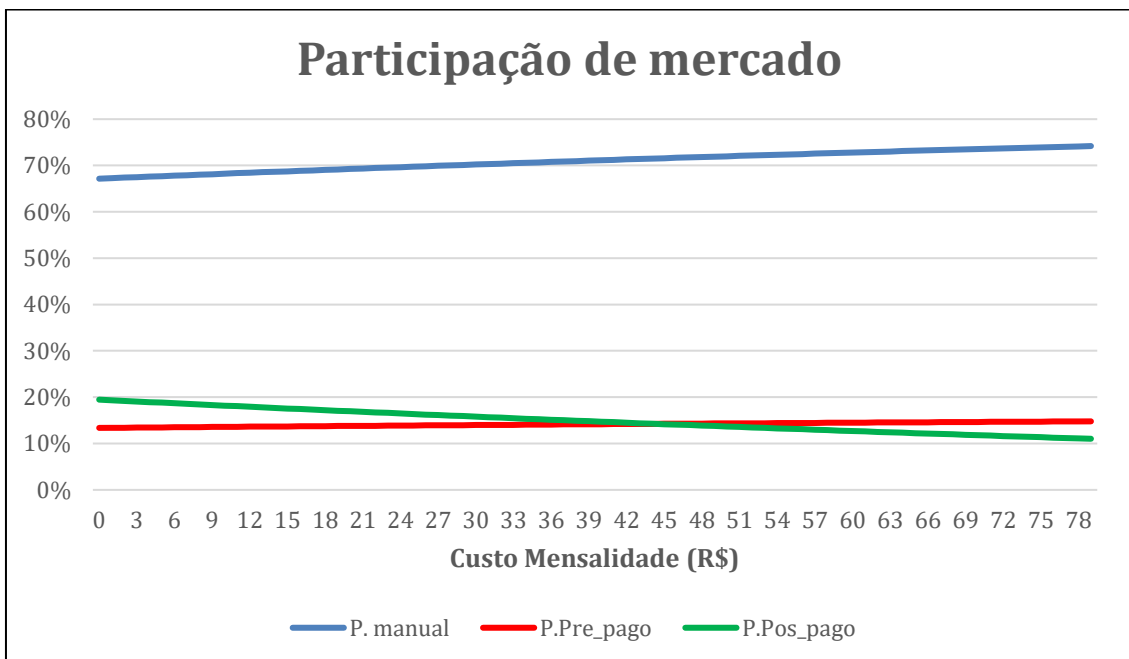


Figura 86 - Variação da participação do mercado frente ao aumento do custo da mensalidade do sistema pós-pago (pagamento manual x automático pré-pago x automático pós-pago)

A Figura 87 mostra a variação da participação de mercado entre o sistema de pagamento manual e o sistema automático (pré + pós) em função do aumento do custo de adesão do sistema pós-pago. Observa-se que a participação do sistema manual cresce de forma consistente à medida que o custo de adesão do sistema pós-pago aumenta. Em contrapartida, a participação do sistema automático apresenta uma tendência de queda proporcional.

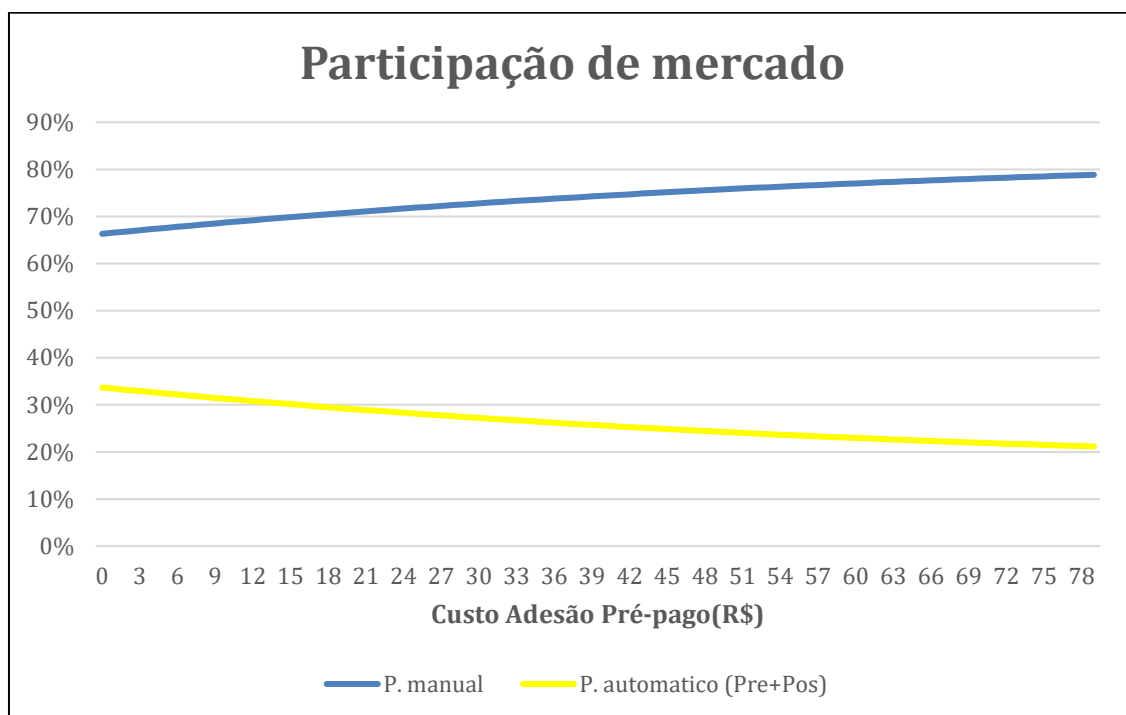


Figura 87 - Variação da participação do mercado frente ao aumento do custo de adesão do sistema pós-pago (pagamento manual x automático)

A Figura 88 detalha a variação da participação de mercado entre as três opções: pagamento manual, pagamento automático pré-pago e pagamento automático pós-pago, em função do aumento do custo de adesão do sistema pós-pago. O sistema manual registra um crescimento gradual em sua participação, enquanto o sistema automático pós-pago apresenta uma queda significativa. O sistema pré-pago, por sua vez, mantém sua participação relativamente estável, ultrapassando o pós-pago em determinados momentos.

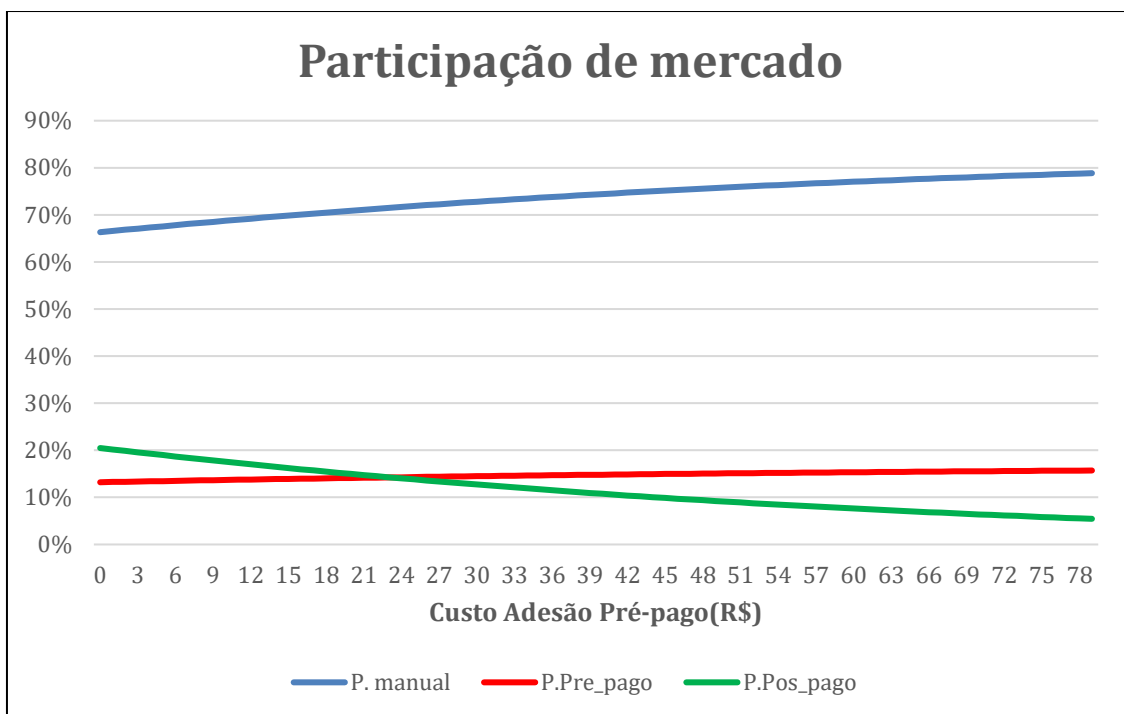


Figura 88 - Variação da participação do mercado frente ao aumento do custo de adesão do sistema pós-pago (pagamento manual x automático pré-pago x automático pós-pago)

A Figura 89 apresenta a variação da participação de mercado entre os sistemas de pagamento manual e automático (pré + pós) em função do aumento do custo do pedágio manual. Inicialmente, o pagamento manual domina amplamente o mercado, com participação próxima de 90%, enquanto o sistema automático (pré + pós-pago, linha amarela) apresenta uma participação reduzida.

No entanto, à medida que o custo do pedágio manual aumenta, sua participação diminui gradualmente, enquanto a participação do sistema automático cresce de forma contínua. Esse comportamento indica que o custo do pedágio manual é um fator relevante na decisão dos usuários, incentivando a migração para sistemas automáticos conforme os valores se elevam.

Entretanto, para os valores de tarifa praticados usualmente, aproximadamente 80% dos usuários ainda escolhem o pagamento manual, indicando que a maioria dos usuários mantém sua escolha mesmo com variações moderadas no custo do pedágio manual, sugerindo uma resistência inicial à adoção do sistema automático. Isso pode estar relacionado a fatores como hábitos consolidados, barreiras de adesão ou percepção limitada dos benefícios da cobrança automática.

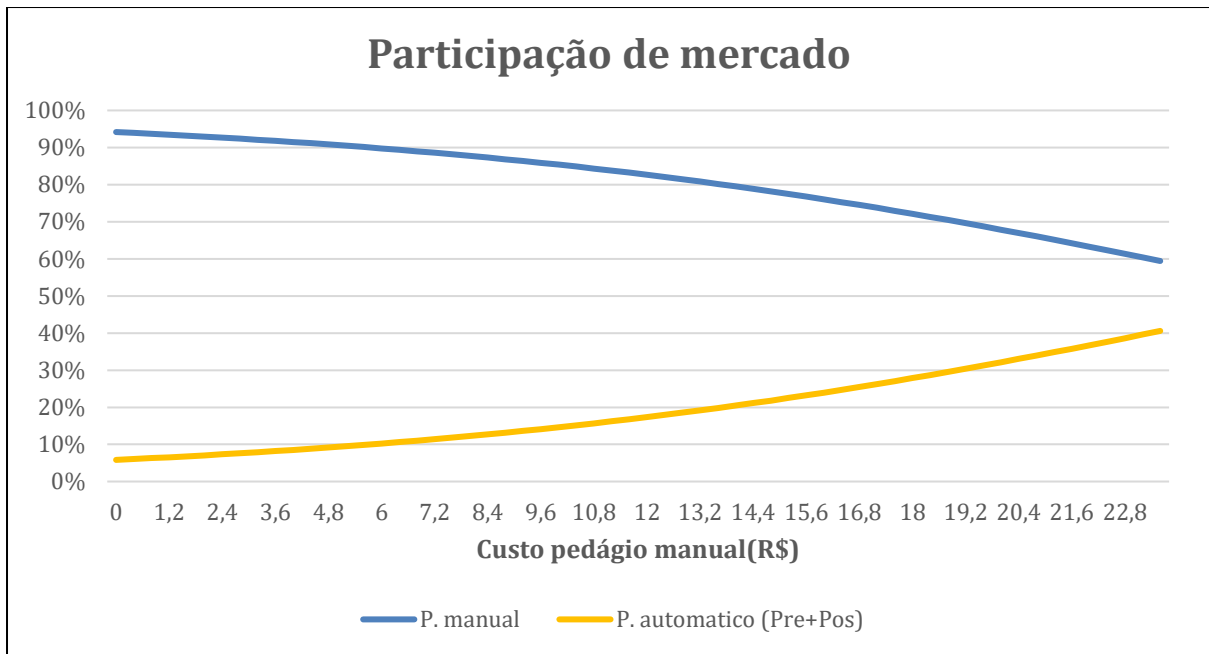


Figura 89 - Variação da participação do mercado frente ao aumento do custo do pedágio manual (pagamento manual x automático)

A Figura 90 detalha a variação da participação de mercado entre os sistemas manual, automático pré-pago e automático pós-pago conforme aumenta o custo do pedágio manual. Observa-se que o sistema manual perde participação à medida que o custo do pedágio aumenta, enquanto os sistemas automáticos, especialmente o pós-pago, ganham mercado. O sistema pós-pago registra o maior crescimento do que o pré-pago.

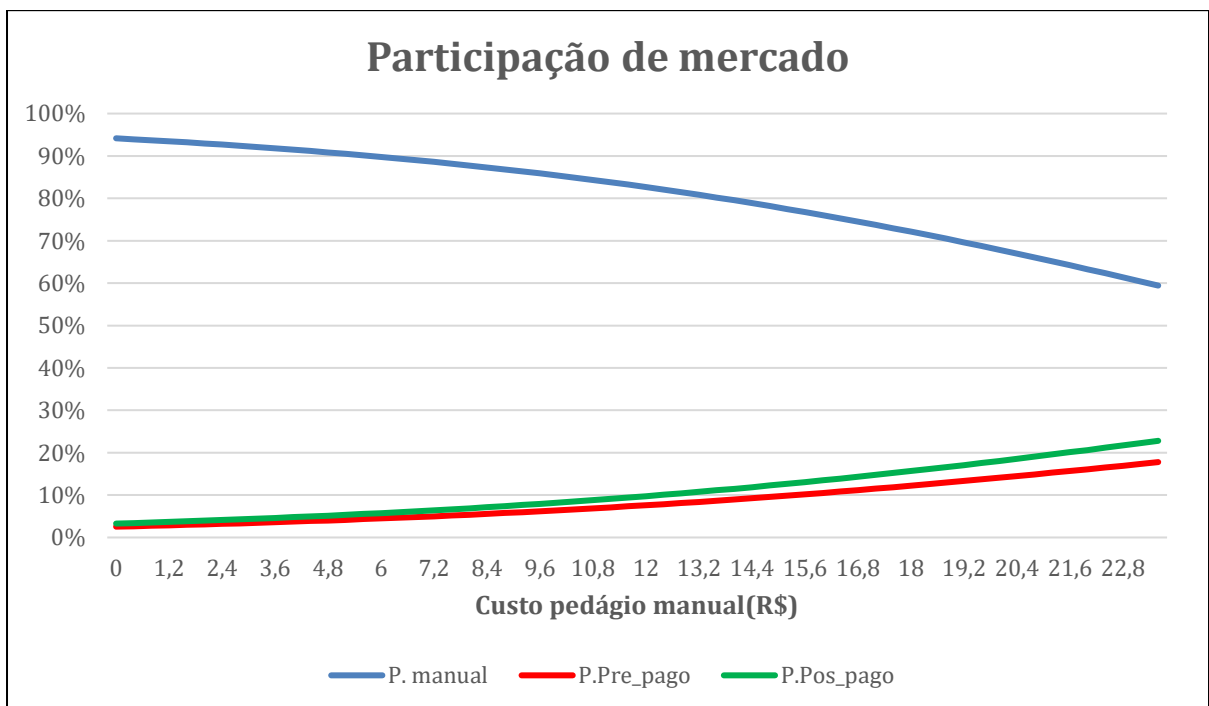


Figura 90 - Variação da participação do mercado frente ao aumento do custo do pedágio manual (pagamento manual x automático pré-pago x automático pós-pago)

11. CONCLUSÕES, CONSIDERAÇÕES FINAIS E PRODUTOS

Este documento apresenta o relatório final de projeto, desenvolvido com Recurso de Desenvolvimento Tecnológico, que tem por objetivo geral estudar os impactos da implantação do de Sistema *Multi-lane Freeflow* e a assertividade do conjunto de classificação em laboratório pré-montado na Ponte Rio-Niterói considerando o ambiente da Concessão Ecosul. Este projeto envolveu diversos estudos com o objetivo de (i) caracterizar e avaliar as condições atuais de demanda e operação da rodovia e (ii) o estudo das possibilidades de implantação de medidas de cobrança e identificação de veículos automatizados.

Para avaliação das condições atuais de operação da rodovia foi desenvolvida a análise do tráfego de veículos pagantes nas praças de pedágio e pesquisa origem-destino. Em relação ao segundo objetivo, a análise das possibilidades de implantação do MLFF, foi realizada uma pesquisa de preferência declarada para avaliar a disposição dos usuários a aderir a um sistema de cobrança automático. Adicionalmente, são discutidos os resultados de assertividade do sistema MLFF implantado na Ponte Rio-Niterói, com vistas à adaptação às condições operacionais da Ecosul.

Esta seção apresenta uma síntese dos resultados obtidos, discussões e ponderações finais sobre o estudo.

11.1. ANÁLISE DOS DADOS DE TRÁFEGO DAS PRAÇAS DE PEDÁGIO DA ECOSUL

A análise dos dados de tráfego das praças de pedágio inclui dados de veículos pagantes em todas as praças da concessão entre janeiro de 2013 e novembro de 2023. A análise revelou comportamentos distintos entre as praças da concessão.

Algumas mantiveram volumes estáveis ao longo do tempo, enquanto outras apresentaram tendências de crescimento. Na BR-116, destacam-se Cristal e Retiro com maiores volumes, enquanto Pavão apresenta cerca de 35% desse volume. Na BR-392, o maior tráfego ocorre em Capão Seco, com a praça Glória registrando aproximadamente 31% desse volume.

Em relação à evolução do volume de veículos por método de pagamento, observou-se um aumento na proporção de veículos que adotam o pagamento automático. As praças Capão Seco e Glória lideram em adoção, com aproximadamente 45% e 36% de pagamentos via AVI em 2023, respectivamente. Em contrapartida, a praça Pavão apresenta os menores percentuais de utilização desse sistema. Os dados recebidos para a praça Pavão não apresentaram fluxos de tráfego na praça AVI antes de outubro de 2022.

Quanto à composição do tráfego por categoria de veículo, a categoria 1 (veículos de passeio e utilitários) predomina nas cabines manuais em todas as praças, representando entre 60% e 70% do volume. No entanto, nas cabines automáticas, há maior diversificação: a participação da categoria 1 reduz-se, com destaque para o crescimento das categorias comerciais, especialmente a categoria 8 (caminhão com reboque), que chega a representar até 30% do volume em praças como Glória, Capão Seco e Cristal. Esse padrão sugere uma preferência dos

veículos leves pelo pagamento manual e uma maior adesão dos veículos comerciais ao sistema automático.

11.2. PESQUISA DE ORIGEM-DESTINO

A pesquisa de origem e destino foi realizada em três praças de pedágio da concessão Ecosul Retiro (P01), Capão Seco (P02) e Glória (P03). O levantamento, conduzido nos dias 17 a 20 de dezembro de 2024, resultou em 490 entrevistas, sendo 94,5% referentes a veículos leves e 5,5% a veículos pesados. A coleta foi realizada sob restrições operacionais e sem apoio da Polícia Rodoviária Federal, prejudicando a coleta de entrevistas de veículos pesados. Com base nos dados coletados, foram analisados os deslocamentos, identificando as principais origens e destinos, além do perfil dos usuários e características das viagens dos veículos leves. Para os veículos pesados, foram apresentados dados de uma pesquisa origem e destino realizada em 2021 nas mesmas praças de pedágio.

Na praça de Retiro (P01), os dados de veículos leves indicam uma predominância de viagens associadas a atividades cotidianas, como deslocamentos entre residência e trabalho, seguidas de atividades recreativas. Pelotas foi identificada como um dos polos geradores e atratores das viagens, com os municípios de Porto Alegre e São Lourenço do Sul contribuindo em menor escala, indicando que as principais linhas de desejo ocorrem entre Pelotas e Porto Alegre e entre Pelotas e São Lourenço do Sul. Em relação aos veículos pesados, a maior parte dos veículos realiza viagens frequentes (2 vezes ou mais por semana). O município de Rio Grande é o principal polo gerador e atrator de viagens, devido a presença do porto. Pelotas também contribui de forma significativa, indicando uma forte relação entre os dois municípios.

Na praça de Capão Seco (P02), as viagens de veículos leves envolvendo residência foram as mais frequentes, seguido de viagens a trabalho. O principal par origem-destino identificado foi Pelotas-Rio Grande, além de Pelotas-Santa Vitória do Palmar e Rio Grande-Porto Alegre. Em relação aos veículos pesados, cerca de 30% realizam viagens diariamente. Rio Grande foi o município mais frequente como origem ou destino, seguido por Pelotas, assim como na praça de Retiro. Os demais municípios possuem percentuais muito inferiores, indicando que o principal par ocorre entre Rio Grande e Pelotas.

Na praça de Glória (P03), os deslocamentos de veículos leves são principalmente devido à motivos de residência e trabalho. As principais origens e destinos são os municípios de Canguçu, Santa Maria e Pelotas. O principal par é composto pela conexão entre Canguçu e Pelotas, seguido pelas viagens entre Pelotas e Santa Maria. Em relação aos veículos pesados, a maior parte dos veículos realiza viagens duas vezes por semana. Rio Grande é o principal município para as viagens de veículos pesados, tanto como origem como destino, assim como nas demais praças, reforçando a relevância do porto de Rio Grande.

11.3. PESQUISA DE PREFERÊNCIA DECLARADA

Esta pesquisa foi realizada com o objetivo de entender o comportamento dos usuários e suas preferências em relação aos sistemas de cobrança alternativos, identificar e quantificar o impacto das diferentes características, e compreender as motivações e barreiras para a adoção do sistema automático. A aceitação desse sistema é essencial para considerar a viabilidade de futuros avanços tecnológicos, como a implantação de um sistema *Multi-lane Freeflow*, que está sob análise no presente projeto.

A elaboração da pesquisa de preferência declarada consistiu em três estágios: (i) especificação do modelo econométrico a ser estimado; (ii) projeto experimental; e (iii) desenho do questionário. O primeiro estágio consistiu na determinação completa da especificação do modelo com os parâmetros a estimar. Assim, foi analisado o problema de escolha determinando três alternativas: (i) sistema de cobrança manual, (ii) sistema de cobrança automática pré-paga (*tag*) e (iii) sistema de cobrança automática pós-paga (*tag*). Os atributos selecionados para o projeto do experimento foram *Expectativa de Fila de veículos no pedágio*, *Custo do pedágio*, *Custo de adesão*, *Taxa de recarga* e *Custo da mensalidade*.

A maioria dos atributos foram especificados com três níveis cada um. Foram construídos 12 cenários, correspondentes a 12 situações de escolha a serem apresentadas aos usuários da rodovia, elaborados a partir de um desenho eficiente bayesiano. A partir do projeto experimental foi construído o questionário da pesquisa PD. Este questionário foi estruturado em duas partes: (i) Perguntas iniciais (nome, idade, frequência de uso da rodovia, etc.) e (ii) Preferência declarada: apresentação da pesquisa PD (12 situações de escolha).

A coleta de dados da pesquisa, realizada pela empresa Perplan com usuários da rodovia nas praças de pedágio Retiro (P01), Capão Seco (P02) e Glória (P03) foi realizada nos dias 16 a 20/12/2024, atendendo a restrições operacionais da rodovia e orientações da Polícia Federal. A amostra foi composta por 379 usuários de veículos leves, esta pesquisa foi realizada conjuntamente com a pesquisa origem e destino. A partir dos dados coletados, foram estimados modelos de escolha discreta para determinar a escolha do sistema de cobrança de usuários da rodovia. Os sistemas de cobrança considerados na estimação foram: (i) Manual; (ii) Cobrança automática pré-paga; (iii) Cobrança automática pós-paga. Foram estimados modelos logit multinomial, usualmente utilizados na modelagem de demanda de transporte.

Os dados coletados mostraram que a maioria dos usuários ainda não utiliza o sistema de cobrança automática. Sua adoção permanece relativamente baixa, mesmo entre aqueles que utilizam a rodovia com frequência. Entre os usuários menos frequentes, a predominância de indivíduos que não possuem sistemas automáticos é ainda mais evidente.

Os resultados dos modelos econométricos estimados a partir dos dados coletados indicam que os custos associados ao pagamento do pedágio — como o valor do pedágio, o custo de adesão, a taxa de recarga e a mensalidade —, assim como a formação de filas, influenciam as escolhas dos usuários entre os diferentes sistemas de cobrança.

O valor do tempo em fila estimado pelo modelo foi de R\$ 0,07 por minuto. Há pouca evidência empírica sobre valores de referência em contextos similares. Comparando com estudos realizados em outros países, observa-se uma ampla variação nos valores atribuídos ao tempo de viagem. Estudos europeus, por exemplo, reportam valores entre R\$ 0,15/min e R\$ 1,10/min, enquanto em países em desenvolvimento esses valores variam entre R\$ 0,12/min e R\$ 0,20/min. Em rodovias brasileiras, estudos apontaram R\$ 0,17/min na Freeway (BR-290, RS) e R\$ 0,42/min no trecho concedido da Eco101.

O valor do tempo em fila estimado neste estudo (R\$ 0,07/min) foi inferior ao encontrado em pesquisas anteriores. Esse resultado pode estar relacionado a fatores como a alta proporção de usuários que ainda utilizam o pagamento manual, o perfil dos usuários da rodovia, o menor volume de tráfego, e o elevado valor do pedágio, que pode limitar a disposição a pagar. Em rodovias com maior adoção de sistemas automáticos, como a Eco101, a sensibilidade à espera tende a ser maior, elevando o valor do tempo em fila.

Os resultados de elasticidade mostram que o custo do pedágio é o fator mais determinante na escolha do sistema de pagamento, seguido pelo custo de adesão e, por fim, pelo tempo de fila. A elevada elasticidade associada ao custo do pedágio automático indica que esse atributo deve ser considerado com atenção ao se avaliar estratégias para ampliar a adoção dos sistemas automáticos.

Embora a elasticidade associada à fila de veículos tenha sido menor em comparação aos demais atributos, ela ainda foi estatisticamente significativa, indicando que a expectativa de fila no pedágio tem um impacto marginal, mas relevante, nas decisões dos usuários. Vale destacar que, em situações extremas — como filas muito longas —, esse fator pode se tornar mais importante.

O desconforto associado às filas no sistema manual reforça a necessidade de investimentos em tecnologias como o *Multi-lane Freeflow*, que permitem reduzir o tempo de espera e melhorar a experiência dos usuários. Os resultados desta pesquisa ressaltam a importância de promover os sistemas automáticos, acompanhados de campanhas de conscientização sobre seus benefícios, como forma de incentivar a migração dos usuários para modalidades mais eficientes.

Os resultados oferecem subsídios importantes para embasar estratégias de implementação no trecho sob concessão da Ecosul, contribuindo para otimizar o sistema de cobrança e aumentar sua eficiência.

No entanto, é importante ressaltar que os resultados obtidos estão condicionados ao contexto específico da rodovia analisada e ao comportamento dos seus usuários. A replicação dessas análises em outros contextos — como rodovias federais sob regulação da ANTT — pode ser útil, desde que sejam consideradas as particularidades de cada trecho e o perfil dos seus usuários. Isso pode contribuir para decisões mais alinhadas à conveniência dos usuários e à viabilidade operacional e econômica dos sistemas de cobrança.

Os resultados do sistema MLFF implantado na Ponte Rio-Niterói sugerem que a maioria dos veículos categorizados possuem de fato o número de eixos da sua respectiva categoria, sendo essa assertividade na leitura de eixos 100% na maioria das categorias de veículos pesados (exceto Categoria 02). Para os veículos leves, esse percentual é inferior devido à classificação incorreta de veículos pesados como veículos leves. Ainda, a comparação entre a composição de tráfego pelo sistema MLFF e pelo pedágio sugere que existem inconsistências na classificação dos veículos pesados. Considerando que a Ecosul possui um percentual de veículos pesados de 37%, significativamente superior ao percentual encontrado na Ecovias Ponte, a análise dos dados do sistema experimental, referentes ao período de 15 a 22 de novembro de 2024, apontam para a necessidade de uma atenção especial para a classificação de veículos pesados.

11.4. ANÁLISE DE DESEMPENHO DO SISTEMA MLFF EM ESTUDO NA ECOVIAS PONTE CONSIDERANDO O CONTEXTO DA ECOSUL

Um dos objetivos deste subprojeto é o estudo das possibilidades de implantação do sistema implantado no laboratório MLFF da Ecovias Ponte na Concessionária Ecosul. Um elemento de particular interesse é a avaliação do conjunto de classificação deste sistema. Com este objetivo esta seção apresenta uma análise do desempenho do sistema implantado na Ecovias Ponte. Para análise de assertividade do sistema *Multi-lane Freeflow*, foram utilizados os dados de março de 2025 do pórtico instalado no sentido Niterói-Rio da Ecovias Ponte.

Considerando a análise da assertividade em relação à classificação dos veículos, uma síntese dos resultados pode ser visualizada na Tabela 16. A tabela apresenta para cada categoria de cobrança definida pelo sistema qual o percentual de veículos que efetivamente possui o número de eixos compatível com a categoria. Por exemplo, na categoria 01 (automóveis), 89,29% dos veículos possuem 2 eixos e nenhum eixo suspenso (categorização correta). Entretanto, também foram identificados pelo sistema veículos com um número de eixos e eixos suspensos incompatíveis com a categoria 01. Esses veículos foram categorizados incorretamente na categoria 01.

Por outro lado, é importante ressaltar que uma assertividade de 100% não significa que todos os veículos que passaram pelo pórtico no período analisado foram categorizados corretamente, pois podem ter sido registrados erroneamente em outra categoria ou não foram categorizados. Ou seja, um nível de assertividade de 100% indica que todos os veículos identificados como pertencentes àquela categoria, possuem de fato o número de eixos de cobrança igual ao da categoria (Ex: CAT 6+4 apresenta veículos com 5 eixos ou com 6 eixos sendo 1 suspenso, totalizando 5 eixos cobrados).

As categorias correspondentes aos caminhões de 8 eixos, automóveis com semirreboque e motos foram as com menor assertividade do número de eixos, ou seja, dentro dessas categorias foram classificados uma maior quantidade de veículos que não possuem número de eixos compatíveis com essas categorias. Para os caminhões de 8 eixos, quase 50% dos veículos incluído nessa classificação possuíam número de eixos diferente de 8 (ou 9 eixos e 1 suspenso). Para as motos, cerca de 78% dos veículos possuíam de fato 2 eixos. Os demais 22% foram

categorizados incorretamente e possuíam mais de 2 eixos, número incompatível com motos. Esta dificuldade de categorização ocorre devido às características físicas das motocicletas e ao padrão de direção dos motoristas. O menor porte, área refletiva reduzida e maior exposição a intempéries compromete a leitura eficaz por sistemas de OCR e antenas de identificação, especialmente em condições adversas ou de tráfego rápido.

Ainda, destaca-se que o sistema MLFF não classificou veículos nas categorias 12, 14 e 16, que representam, respectivamente, ônibus de 2 eixos, 3 eixos e 4 eixos. Esses veículos foram categorizados junto aos caminhões nas categorias CAT 02, CAT 03 e CAT 04.

Tabela 16 – Percentual de veículos que possuem número de eixos compatível com a categoria (MLFF Ecovias Ponte – Março/2025)

Categoria	Descrição	Eixos cobrança	Com placa %	Sem placa %	Total %
MOTO	Motos	2	77,23%	0,16%	77,39%
CAT 01	Automóveis	2	89,01%	0,28%	89,30%
CAT 02	Caminhão 2 eixos	2	86,80%	0,78%	87,58%
CAT 03	Caminhão 3 eixos	3	93,17%	1,78%	94,95%
CAT 04	Caminhão 4 eixos	4	91,39%	1,09%	92,48%
CAT 05	Caminhão 5 eixos	5	86,04%	1,05%	87,09%
CAT 06	Caminhão 6 eixos	6	96,91%	1,17%	98,08%
CAT 07	Auto + semirreboque	3	73,50%	0,41%	73,92%
CAT 08	Auto + reboque	4	92,93%	0,60%	93,53%
CAT 6+1	Caminhão 7 eixos	7	96,18%	1,16%	97,34%
CAT 6+2	Caminhão 8 eixos	8	49,79%	2,07%	51,87%
CAT 6+3	Caminhão 9 eixos	9	93,77%	0,39%	94,16%
CAT 6+4	Caminhão +10 eixos	10	100,00%	0,00%	100,00%

A tabela abaixo apresenta a composição de tráfego para a Ecovias Ponte segundo o sistema MLFF no período analisado a composição média do tráfego da Ecovias Ponte e a composição Ecosul também segundo os dados de pedágio. É possível observar que a composição do tráfego, segundo o sistema MLFF, apresenta um percentual de veículos pesados inferior ao da Ecovias Ponte, sugerindo que muitos veículos pesados não foram categorizados ou foram categorizados incorretamente dentro das categorias de veículos leves (CAT 01, CAT 07 e CAT 08). Essa informação é ratificada pelos dados da tabela anterior, onde essas três categorias apresentam assertividade do número de eixos de 89,30%, 73,92% e 93,53%, respectivamente.

Tabela 17 – Composição de tráfego

Categoria	Descrição	% MLFF	% Ecovias Ponte	% Ecosul
MOTO	Motos	6,55%	9,90%	-
CAT 01	Automóveis	85,54%	83,93%	63,3%
CAT 07	Automóveis com semirreboque			
CAT 08	Automóveis com reboque			
CAT 02	Caminhão 2E	3,88%	6,15%	36,7%
CAT 03	Caminhão 3E			
CAT 04	Caminhão 4E			
CAT 05	Caminhão 5E			
CAT 06	Caminhão 6E			
CAT 6+1	Caminhão 7E			
CAT 6+2	Caminhão 8E			
CAT 6+3	Caminhão 9E			
CAT 6+4	Caminhão 10E ou mais			
Não identificado		4,03%		

Considerando que a Ecosul possui um percentual de veículos pesados de quase 37%, significativamente superior ao percentual encontrado na Ecovias Ponte, a análise dos dados do sistema experimental, referentes ao período março de 2025, apontam para a necessidade de uma atenção especial para a classificação de veículos pesados.

As principais conclusões dessa análise mostram que as motos apresentam dificuldades de classificação. Este fato se deve às características físicas das motocicletas – como menor porte, área refletiva reduzida e maior exposição a intempéries – que compromete a leitura eficaz por sistemas de OCR e antenas de identificação, especialmente em condições adversas ou de tráfego rápido. Esta dificuldade é agravada pelo padrão de direção dos motociclistas que não se restringem às faixas de tráfego e apresentam grande flutuação no movimento.

Em relação às demais categorias, os dados analisados sugerem que houve uma dificuldade um pouco mais acentuada na classificação de veículos pesados em relação aos veículos leves. A mesma observação vale para a identificação de placas, especialmente durante períodos de baixa iluminação. Apesar disso, o percentual de acerto, quando pelo menos uma das leituras (dianteira ou traseira) é igual à placa consolidada, alcançou mais de 90% para a maioria das categorias durante o dia e durante a noite, refletindo a robustez do sistema.

É importante ressaltar, entretanto, que o sistema da SINELEC já se encontra em operação plena em pórticos *freelflow* na Concessionária Econoroeste deste setembro de 2024. Neste ambiente, o sistema vem sendo monitorado pela equipe de acompanhamento e operação, apresentando um desempenho satisfatório. O acompanhamento de desempenho apresentou percentuais de 85,9% de assertividade na leitura de *tags* (Figura 91), em relação à leitura de placas frontais apresentou um desempenho de 93,69% (Figura 92) e em relação à leitura de placas traseiras um desempenho de 98,76% (Figura 93).

O acompanhamento do desempenho em relação à classificação dos veículos é realizado através de análise comparativa entre a classificação automática do sistema e validação humana, sob a responsabilidade da equipe de operação. Este acompanhamento permite a identificação e correção de eventuais problemas pontuais, e tem apresentado bons resultados, com índices acerto considerados adequados pela concessionária.

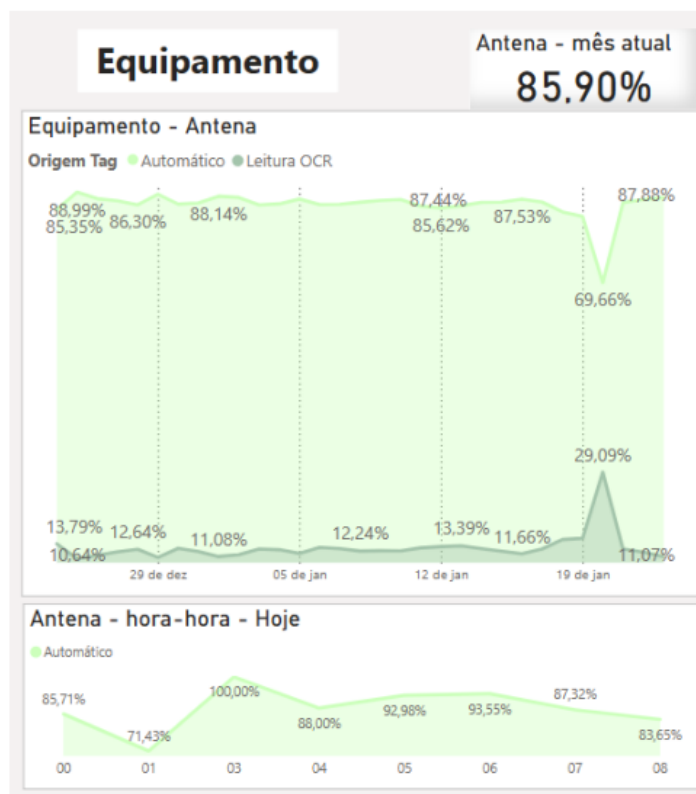


Figura 91 - Acompanhamento do desempenho de pódicos do sistema SINELEC instalados na EcoNoroeste – leitura de tags

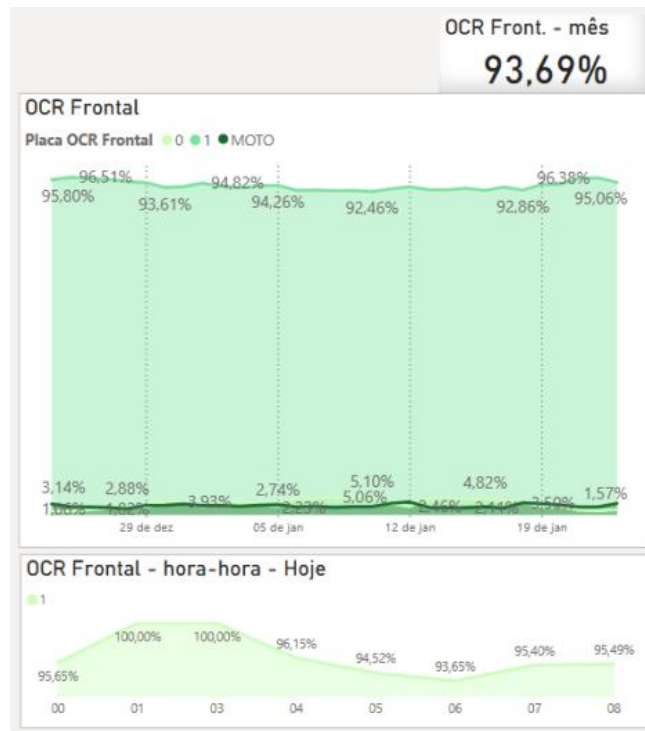


Figura 92 - Acompanhamento do desempenho de pórtilcos do sistema SINELEC instalados na EcoNoroeste – reconhecimento de placas frontais

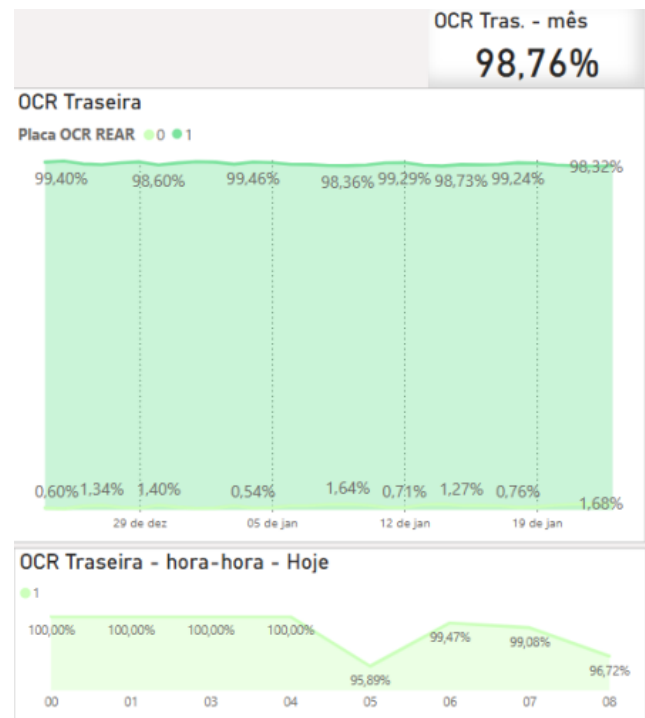


Figura 93 - Acompanhamento do desempenho de pórtilcos do sistema SINELEC instalados na EcoNoroeste – reconhecimento de placas traseiras

11.5. MEMORIAL DESCRITIVO

O memorial descritivo sobre a instalação dos equipamentos no Pórtico 24 se encontram no Apêndice 3.

11.6. MINUTA DE REVISÃO NORMATIVA

Os sistemas de pedágio eletrônico trazem indiscutíveis avanços no modelo de cobrança de tarifas, promovendo maior fluidez no tráfego, redução de congestionamentos, e melhora da experiência do usuário.

Sua introdução em curso no Brasil, respaldada pela Lei nº 14.157/2021 e demais normativos estabelecidos pelo CONTRAN, SENATRAN e pela ANTT, entretanto, traz desafios significativos.

A instalação de sensores, câmeras e sistemas de pagamento automático exige investimentos consideráveis por parte das concessionárias. Os requisitos de manutenção e contínuo aferimento dos equipamentos, sujeitos a intempéries, vibrações e eventuais acidentes, exigem uma readequação das concessionárias.

No contexto da Ponte, esta questão apresenta-se ainda mais crítica do que em outros contextos rodoviários. Em função de sua estrutura e intenso tráfego, a Ponte é submetida a vibrações fortes e constantes, que estabelecem maiores impactos em pórticos e equipamentos. Considerando as restrições físicas da faixa de rolamento, com limitações nas áreas de trabalho, as características da infraestrutura demandam atenção especial, com pórticos mais robustos e estratégias de manutenção particulares.

Integração completa dos sistemas de pedágio e Sistema de Gestão de Trânsito (Senatran) é um dos pilares de sucesso do sistema *freeflow*. Apesar da regulamentação do Contran (Resolução nº 1.013/24), a implementação completa dessa integração apresenta desafios técnicos e operacionais.

A inexistência de barreiras proporciona condições favoráveis à evasão de pagamento. A tendência de ampliação da utilização de *tags*, a disponibilização de alternativas de pagamento através de site e aplicativo, disponibilização de totens e outras possibilidades de pagamento físicos, assim como estratégias de informação e oferta de vantagens a usuários frequentes, contribuem para reduzir a inadimplência. Entretanto a inadimplência é um desafio enfrentado em sistemas de cobrança *freeflow* em todo o mundo, mesmo em países com longa experiência em sistemas *freeflow*.

Nos Estados Unidos, as taxas de inadimplência variam de estado para estado. Em Nova York, por exemplo, a taxa de inadimplência pode chegar a 10% em algumas rodovias. As autoridades utilizam multas elevadas e outras penalidades para tentar reduzir a inadimplência. A autoridade Portuária de Nova York e Nova Jersey relatou a recuperação de quase US\$ 18 milhões em pedágios e taxas não pagas em 2024. Ações também incluem investimentos em aperfeiçoamento da tecnologia de reconhecimento de placas para melhorar a precisão da cobrança de pedágio e reduzir a evasão.

Os países europeus geralmente apresentam taxas moderadas de evasão de pedágio. A implementação de sistemas de pedágio interoperáveis em toda a UE ajudou a reduzir a evasão e inadimplência. Países como Alemanha e França possuem mecanismos de fiscalização

robustos e tecnologias avançadas de pedágio. Na Alemanha, a taxa de inadimplência é relativamente baixa, em torno de 5%. Na França, a taxa é um pouco mais alta, variando entre 5% e 7%. Campanhas de conscientização pública e penalidades severas para inadimplência de pedágio contribuem para a redução das taxas de evasão em muitos países europeus.

Na Austrália, a inadimplência é um tema acompanhado com atenção. As taxas de inadimplência variam, mas geralmente ficam em torno de 8% a 10%. As autoridades apostam em aperfeiçoamento de tecnologias e campanhas educativas para tentar reduzir esses índices.

As taxas de inadimplência de pedágio na Ásia variam bastante. Países como Japão e Coreia do Sul apresentam baixas taxas de evasão devido à fiscalização rigorosa e às tecnologias avançadas de pedágio. Em contraste, alguns países em desenvolvimento enfrentam taxas de evasão mais altas devido à fiscalização menos eficaz e aos sistemas de pedágio mais antigos.

No Brasil, no caso do Sandbox regulatório da BR101, dados da ANTT reportam médias de evasão de 11,26 para o trimestre de julho a setembro de 2024 e com inadimplência em torno de 8%. Os índices de inadimplência relacionável ao *freelflow* variam em diferentes concessões implementadas no país. Estes valores são altamente dependentes de condições locais e particularidades dos usuários destas rodovias.

Considerando a relevância da inadimplência decorrente do modelo *freelflow* para o equilíbrio financeiro das concessões, e que não há atualmente no ambiente das concessões federais um mecanismo de ressarcimento às concessionárias das perdas de receita provenientes desta infração, é importante considerar a implementação de um arranjo institucional que viabilize a compensação (ou recomposição) destes valores a partir de recursos arrecadados de multas aplicadas aos usuários inadimplentes ([artigo 209-A do Código de Trânsito Brasileiro \(CTB\), incluído pela Lei nº 14.157/2021](#)), a exemplo dos procedimentos estabelecidos pela Agência de Transporte do Estado de São Paulo (Artesp).

A Ponte Rio-Niterói apresenta um fluxo intenso de caráter urbano com um percentual elevado de motocicletas. Segundo dados de março de 2025, motocicletas corresponderam à 9,90% dos veículos passantes, com uma tarifa equivalente à 50% da tarifa de automóveis.

O Contrato da Ecovias Ponte prevê a receita das motos como uma fonte de recursos, e estes veículos apresentam características específicas que dificultam a aplicação plena do sistema *freelflow*. Atualmente não existem dispositivos tipo *tags* desenvolvidos especificamente para motocicletas. Uma das particularidades está no fato das motocicletas não possuírem para-brisa e, conseqüentemente, as *tags* precisariam ser fixadas em locais alternativos, como o capacete, a carenagem ou suportes adaptados. Esse fator, somado às características físicas das motocicletas – como menor porte, área refletiva reduzida e maior exposição a intempéries – compromete a leitura eficaz por sistemas de OCR e antenas de identificação, especialmente em condições adversas ou de tráfego rápido. Outro fator que exige atenção é em relação ao fechamento de cancela nas pistas AVIs que poderão representar um risco a segurança dos motociclistas.

É fundamental ressaltar também a prática frequente de motoristas dessa categoria em ocultar deliberadamente as placas, utilizando mochilas, capas de chuva ou posicionando-as em ângulos que dificultam a leitura. Essas ações intencionais, aliadas às limitações naturais dos equipamentos, tornam ainda mais desafiadora a identificação precisa dos veículos. Esse comportamento, já observado em praças de pedágio tradicionais, tende a se agravar em sistemas totalmente automatizados, como o *freeflow*, onde não há barreiras físicas ou abordagens presenciais. Isto compromete significativamente a eficácia do sistema, aumenta a taxa de evasão e, conseqüentemente, reduz a arrecadação prevista para o equilíbrio dos contratos.

Essas limitações técnicas, operacionais e comportamentais representam desafios consideráveis para a sustentabilidade do modelo, especialmente em contratos que não há previsão específica sobre este tipo de cobrança e em rodovias com alto fluxo de veículos. Esses fatores tendem a gerar um alto índice de evasão, agravado pela falta de meios eficazes de fiscalização.

É fundamental que a ANTT analise a possibilidade de estabelecer diretrizes específicas para essa categoria e promova uma avaliação mais aprofundada sobre a obrigatoriedade e a viabilidade da cobrança de motocicletas no sistema *freeflow*.

Considerando as questões mencionadas, é necessário esclarecer se a exigência será aplicável ao Contrato da Ecovias Ponte e, em caso positivo, se haverá mecanismos de reequilíbrio econômico-financeiro para fazer frente aos custos adicionais da operação, além da compensação em caso de inadimplência ou fraude por esses usuários.

11.6.1. PROPOSTA DE REVISÃO DA NORMATIVA: PREVISÃO DE COMPENSAÇÃO DA CONCESSIONÁRIA EM FUNÇÃO DA PERDA DE RECEITA DEVIDO À INADIMPLÊNCIA.

Como o texto já abordou, nos últimos contratos de concessão celebrados com o estado de São Paulo, a ARTESP incorporou mecanismo de compensação da inadimplência dos usuários e casos de fraude, fazendo o por meio, principalmente, pela manutenção das despesas com a emissão e postagem das infrações sob responsabilidade do Poder Concedente e criação da chamada Conta Multa, para a qual as multas aplicadas pelo DER-SP, com fundamento no artigo 209-A do CTB, deverão ser direcionadas à citada Conta Multa. Assim, em periodicidade definida em cada contrato de concessão, a concessionária poderá ter a perda de receita compensada com esses recursos, garantindo a manutenção do equilíbrio econômico-financeiro dos contratos.

No caso das concessões federais, não há previsões regulatórias que concedam às concessionárias camada de garantia ao efeito negativo verificado na receita da concessão, o que acaba por expor sobremaneira projetos em andamento (com alta previsibilidade de receita) a riscos financeiros que podem elidir a conversão das praças convencionais.

Nesse sentido, considerando o mecanismo de recursos vinculados incorporado nas concessões de 4ª e 5ª etapa, que consiste justamente em uma garantia endocontratual, a possibilidade de uso desses recursos para fazer frente à inadimplência dos usuários com a adoção do Free Flow.

Dessa forma, a concessionária que aderisse à conversão poderia estar sujeita a rito de compensação lastreado na demonstração à ANTT da devida identificação, disponibilidade de informação e plataforma apropriada para pagamento pelo usuário, transcurso do prazo para pagamento espontâneo e adoção das providências necessárias para a notificação do usuário infrator nos termos do artigo 209-A do CTB.

Após a comprovação dos itens acima, a concessionária poderá solicitar, em periodicidade a ser definida em termo aditivo próprio (sugere-se trimestralmente devido as etapas do rito de identificação e potencial pagamento pelo usuário), a compensação mediante notificação para acesso aos recursos vinculados no limite do demonstrado à ANTT.

Na revisão ordinária de cada concessionária, assim como ocorre com as compensações do DUF, p.ex., a ANTT promoverá a apuração minuciosa das evidências apresentadas pela concessionária, podendo, se identificar levantamento equivocados, valer do Fator C para regularização que se fizer necessária.



Figura 94 – Cadeia de responsabilidade e marcos para liberação dos valores arrecadados.

Este modelo evidencia que a compensação da concessionária é condicionada: ela ocorre apenas após a não quitação pelo usuário inadimplente — ou seja, trata-se de um modelo de ressarcimento reativo, e não preventivo, controlável e rastreável pela ANTT.

12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ben-Akiva, M. e Bolduc, D. (1996). Multinomial probit with a logit kernel and a general parametric specification of the covariance structure. Paper presented at the 3rd Invitational Choice Symposium, Columbia University.

Ben-Akiva, M.; D. Bolduc, D. e J. Walker, (2003) Specification, Identification, and Estimation of the Logit Kernel (or Continuous Mixed Logit) Model. Working Paper, 5th Invitational Choice Symposium, Asilomar, California Brownstone, D.; K. E.

Ben-Akiva, M. e Lerman, S.R. (1995) Discrete choice analysis: Theory and applications to travel demand. Cambridge: MIT Press.

Bierlaire, M. (2003) BIOGEME: A free package for the estimation of discrete choice models, Switzerland, 3rd Swiss Transportation Research Conference

Brownstone, D. and K. Train (1999), 'Forecasting new product penetration with flexible substitution patterns', Journal of Econometrics 89, 109- 129.

Cherchi, E. e Ortúzar, J. de D. (2002) Mixed RP/SP models incorporating interaction effects: modelling new suburban train services in Cagliari. Transportation 29, 371-395.

Choice Metrics (2013) Ngene 1.1 User Manual and Reference Guide. Choice Metrics.

Commissariat Général du Plan. (2001). Transports: Choix des investissements et coût des nuisances (Transportation: Choice of investments and the cost of nuisances). Government of France, Paris.

Domencich, T. e McFadden, D. (1972) A disaggregated Behavioral Model of Urban Travel Demand. Report N° CRA-156-2, Charles River Associates, Inc. Cambridge, Massachusetts.

Foster, V. e Mourato, S. (2002). Testing for consistency in contingent ranking experiments. Journal of Environmental Economics and Management, 44(2), 309 – 328.

Gunn, H.F. (2000). "An introduction to the valuation of travel time savings and losses." In D.A. Hensher and K.J. Button (Eds.), Handbook of Transport Modeling (pp. 433-448). Edward Elgar Publishing Limited, Northampton, Mass.

Hensher D.A. (2000). "Measurement of the valuation of travel time savings." Journal of

Transport Economics and Policy, 35(1), 71-98.

Hensher, D.A., Rose, J.M. Toll product preferences and implications for alternative payment options and going cashless. *Transportation* 36, 131–145 (2009).
<https://doi.org/10.1007/s11116-009-9188-x>

Holguín-Veras, J. and M. Preziosi (2010). "Behavioral Investigation on the Factors that Determine Adoption of an Electronic Toll Collection System: Passenger Car Users." *Transportation Research Part C*. doi:10.1016/j.trc.2010.07.005

I.T. Transport (2002), *The Value of Time in Least Developed Countries*, Department for International Development, UK under its Knowledge and Research Programme (www.transport-links.org/transport_links).

Kang, D.K e Stockton, W.R. (2008) *Willingness to Pay, Value of Time, Toll Revenue Forecasting*, Technical Report, Texas Transportation Institute Texas A and M Univ .2008. Disponível em: <https://ibtta.org/sites/default/files/Estimation%20of%20Toll%20Road%20Users%20Value%20of%20Time%20TTI.pdf> Acesso em 1/07/2017.

Lam, T.C., and Small, K.A. (2001). "The value of time and reliability: Measurement from a value pricing experiment." *Transportation Research E*, 37, 231-251. Victoria Transport Policy Institute, 2017

Manski, (1977) The structure of random utility models. *Theory and Decision*, 8, 229-254.

McFadden, D. (1973) *Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Models*. Em *Frontiers in Econometrics*, P. Zarembka, (ed.). Academic Press, Nueva York.

McFadden, D. (1974) *The Measurement of Urban Travel Demand*. *Journal of Public Economics*, 3, 303-328.

Mcfadden, D. (1978) *Modelling the choice of residential location*. A.Karlqvist, L.Lundqvist, F.Snickars J.Weibull (eds.), *Spatial interaction theory and residential location*, North-Holland, Amsterdam, 75-96.

Ortúzar, J. de D. e Iacobelli,A. (1998) *Mixed modelling of interurban trips by coach and train*. *Transportation Research* 32A, 345-357.

Ortúzar, J. de D. e L. G. Willumsen. (2011) *Modelling Transport*. 4 ed. England: John Wiley

& Sons. 549p.

Rose, J.M. and Bliemer, M.C. (2009) Constructing Efficient Stated Choice Experimental Designs, *Transport Reviews*, v.5, n.29, p.587–617

Saelensminde, K. (1998) Causes and consequences of lexicographic choices in stated choice studies. Working Paper, Institute of Transport Economics: Oslo.

Train, K. (1986) *Qualitative Choice Analysis*, MIT Press, Cambridge.

Train, K. (1999) Forecasting new product penetration with flexible substitution patterns. *Journal of Econometrics* 89, P. 109-129.

Train, K. (2009) *Discrete Choice Methods with Simulation*. 2. ed. New York: Cambridge University Press, 2009. 388 p.

Transport Canada. (1994). "Guide to benefit-cost analysis in Transport Canada, Ottawa." (http://www.tc.gc.ca/finance/BCA/en/TOC_e.htm) (July 21, 2006).

U.S. Department of Transportation. (1997). "The value of travel time: Departmental guidance for conducting economic evaluations." Author, Washington, DC.

Victoria Transport Policy Institute (2007). *Transportation Cost and Benefit Analysis II – Travel Time Costs* Disponível em www.vtpi.org. Acesso em 01/07/2017.

Waters, W.G., II. (1996). "Values of travel time savings in road transport project evaluation." In D.A. Hensher, J. King, and T. Hoon Oum (Eds.), *Proceedings of 7th World Conference on Transport Research* (213-223). Pergamon, New York.

APÊNDICE 1 – QUESTIONÁRIO DA PD

Entrev. :	Praça/ Sentido	1. () Capão Seco - Indo para Santana da Boa Vista						8 () Capão Seco - Indo para Rio Grande										
		2. () Retiro - Indo para Jaguarão						9. () Retiro - Indo para Camaquã										
		3. () Gloria - Indo para Santana da Boa Vista						10. () Gloria - Indo para Rio Grande										
Data:	Gênero do entrevistado:																	
	1 () Masculino						2 () Feminino											
	3 () Não binário																	
Dia da semana :	1 () 2^a	2 () 3^a	3 () 4^a	4 () 5^a	5 () 6^a	6 () Sábado	7 () Domingo											
Horário:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
									19	20	21	22	23	24				

Bom dia/Tarde. Meu nome é (...), faço parte da e estamos fazendo uma pesquisa junto aos usuários da rodovia. Posso lhe entrevistar? A pesquisa leva 10 minutos e a sua opinião é muito importante! Desde já agradecemos a sua colaboração e lembramos que os dados serão tratados sob rigoroso sigilo e nenhum entrevistado será individualmente identificado. Se SIM, PROSSIGA. Se NÃO, agradeça e encerre.

(Se sim) Continue com a pergunta 1.

Origem (Saindo de onde _____ (Município e Bairro)	Destino (Indo para onde): _____ (Município e Bairro)
--	--

PESQUISA DE PREFERÊNCIA DECLARADA

Obs: Apresentar os 12 cartões aos entrevistados

1. Suponha que o pagamento do pedágio pudesse ser realizado das 3 formas apresentadas a seguir com os valores específicos que mostraremos em cada cenário. Solicitamos que você indique sua preferência para cada cenário apresentado.

Em relação a toda aquela informação omitida e que considera relevante para a sua decisão, considere que afeta por igual a todas as alternativas.

As alternativas de pagamento que apresentaremos são:

Cobrança manual, dinheiro ou cartão

Cobrança automática PRÉ-PAGA, utilizada atualmente nas praças de pedágio, permite o pagamento de tarifas de pedágio com um tag, **associado a uma conta PRÉ-PAGA, que pode**

ser **RECARREGADA** conforme desejado, mediante um pago de uma taxa de recarga. Lembrando que o sistema pode ser usado em Pedágios, Shoppings, Aeroportos e Estacionamentos;

Cobrança automática PÓS-PAGA, utilizada atualmente nas praças de pedágio, permite o pagamento de tarifas de pedágio com um tag, **os usuários pagam uma mensalidade fixa**, além das tarifas de pedágio. Lembrando que o sistema pode ser usado em Pedágios, Shoppings, Aeroportos e Estacionamentos;

C1. Qual alternativa preferiria? 1 () Manual 2 () Automática PRÉ-PAGA
3 () Automática PÓS-PAGA

C2. Qual alternativa preferiria? 1 () Manual 2 () Automática PRÉ-PAGA
3 () Automática PÓS-PAGA

C3. Qual alternativa preferiria? 1 () Manual 2 () Automática PRÉ-PAGA
3 () Automática PÓS-PAGA

C4. Qual alternativa preferiria? 1 () Manual 2 () Automática PRÉ-PAGA
3 () Automática PÓS-PAGA

C5. Qual alternativa preferiria? 1 () Manual 2 () Automática PRÉ-PAGA
3 () Automática PÓS-PAGA

C6. Qual alternativa preferiria? 1 () Manual 2 () Automática PRÉ-PAGA
3 () Automática PÓS-PAGA

C7. Qual alternativa preferiria? 1 () Manual 2 () Automática PRÉ-PAGA
3 () Automática PÓS-PAGA

C8. Qual alternativa preferiria? 1 () Manual 2 () Automática PRÉ-PAGA
3 () Automática PÓS-PAGA

C9. Qual alternativa preferiria? 1 () Manual 2 () Automática PRÉ-PAGA
3 () Automática PÓS-PAGA

C10. Qual alternativa preferiria? 1 () Manual 2 () Automática PRÉ-PAGA
3 () Automática PÓS-PAGA

C11. Qual alternativa preferiria? 1 () Manual 2 () Automática PRÉ-PAGA
3 () Automática PÓS-PAGA

C12. Qual alternativa preferiria? 1 () Manual 2 () Automática PRÉ-PAGA

3 () Automática PÓS-PAGA

PESQUISA DE PREFERÊNCIA DECLARADA: PERGUNTAS COMPLEMENTARES

Idade:

Renda familiar: _____

- (1) Acima de R\$ 28.000
 - (2) De R\$ 14.000 a R\$ 28.000
 - (3) De R\$ 5.600 a R\$ 14.000
 - (4) De R\$ 2.800 a R\$ 5.600
 - (5) Até R\$ 2.800
-

Motivo do deslocamento _____

(Compras, Trabalho, Estudo, Negócios, Lazer/Passeio/Visita, Saúde, Outros)

(Frequência) Quantas vezes você utiliza esta rodovia?




Nota: Se usa na ida e na volta conte 2 vezes




- () _____ vezes/semana
 - () _____ vezes/mês
 - () _____ vezes/ano
 - () Eventualmente
-






3. Você utiliza a pista automática no pedágio?






1 () SIM.




2 () NÃO.




Cenário 1				
Alternativas	Cobrança Manual	Cobrança Automática Pré-paga	Cobrança Automática Pós-paga	
		(Shoppings, Aeroportos, Estacionamentos)	(Shoppings, Aeroportos, Estacionamentos)	
	1	2	3	
Custo Pedágio	R\$ 19.60	R\$ 16.70	R\$ 16.70	
Custo Adesão	---	R\$ 40	R\$ 5	
Taxa de Recarga	---	R\$ 15	---	
Custo Mensalidade	---	---	R\$ 30	
Expectativa de Fila de veículos no pedágio	5 veículos	2 veículos	2 veículos	




Cenário 2				
Alternativas	Cobrança Manual	Cobrança Automática Pré-paga	Cobrança Automática Pós-paga	
		(Shoppings, Aeroportos, Estacionamentos)	(Shoppings, Aeroportos, Estacionamentos)	
	1	2	3	
Custo Pedágio	R\$ 19.60	R\$ 13.70	R\$ 13.70	
Custo Adesão	---	R\$ 0	R\$ 10	
Taxa de Recarga	---	R\$ 5	---	
Custo Mensalidade	---	---	R\$ 5	
Expectativa de Fila de veículos no pedágio	15 veículos	4 veículos	4 veículos	




Cenário 3			 	 
Alternativas	Cobrança Manual	Cobrança Automática Pré-paga	Cobrança Automática Pós-paga	
	(Shoppings, Aeroportos, Estacionamentos)	(Shoppings, Aeroportos, Estacionamentos)	(Shoppings, Aeroportos, Estacionamentos)	
	1	2	3	
Custo Pedágio	R\$ 19.60	R\$ 13.70	R\$ 13.70	
Custo Adesão	---	R\$ 20	R\$ 0	
Taxa de Recarga	---	R\$ 5	---	
Custo Mensalidade	---	---	R\$ 5	
Expectativa de Fila de veículos no pedágio	5 veículos	4 veículos	4 veículos	




Cenário 4			 	 
Alternativas	Cobrança Manual	Cobrança Automática Pré-paga	Cobrança Automática Pós-paga	
	(Shoppings, Aeroportos, Estacionamentos)	(Shoppings, Aeroportos, Estacionamentos)	(Shoppings, Aeroportos, Estacionamentos)	
	1	2	3	
Custo Pedágio	R\$ 19.60	R\$ 13.70	R\$ 13.70	
Custo Adesão	---	R\$ 40	R\$ 0	
Taxa de Recarga	---	R\$ 15	---	
Custo Mensalidade	---	---	R\$ 5	
Expectativa de Fila de veículos no pedágio	15 veículos	4 veículos	4 veículos	




Cenário 5				
Alternativas	Cobrança Manual	Cobrança Automática Pré-paga	Cobrança Automática Pós-paga	
		(Shoppings, Aeroportos, Estacionamentos)	(Shoppings, Aeroportos, Estacionamentos)	
	1	2	3	
Custo Pedágio	R\$ 19.60	R\$ 19.60	R\$ 19.60	
Custo Adesão	---	R\$ 0	R\$ 10	
Taxa de Recarga	---	R\$ 15	---	
Custo Mensalidade	---	---	R\$ 15	
Expectativa de Fila de veículos no pedágio	5 veículos	0 veículos	0 veículos	




Cenário 6				
Alternativas	Cobrança Manual	Cobrança Automática Pré-paga	Cobrança Automática Pós-paga	
		(Shoppings, Aeroportos, Estacionamentos)	(Shoppings, Aeroportos, Estacionamentos)	
	1	2	3	
Custo Pedágio	R\$ 19.60	R\$ 19.60	R\$ 19.60	
Custo Adesão	---	R\$ 20	R\$ 10	
Taxa de Recarga	---	R\$ 30	---	
Custo Mensalidade	---	---	R\$ 15	
Expectativa de Fila de veículos no pedágio	10 veículos	4 veículos	4 veículos	




Cenário 7				
Alternativas	Cobrança Manual	Cobrança Automática Pré-paga	Cobrança Automática Pós-paga	
		(Shoppings, Aeroportos, Estacionamentos)	(Shoppings, Aeroportos, Estacionamentos)	
	1	2	3	
Custo Pedágio	R\$ 19.60	R\$ 16.70	R\$ 16.70	
Custo Adesão	---	R\$ 40	R\$ 5	
Taxa de Recarga	---	R\$ 30	---	
Custo Mensalidade	---	---	R\$ 30	
Expectativa de Fila de veículos no pedágio	10 veículos	2 veículos	2 veículos	

Cenário 8				
Alternativas	Cobrança Manual	Cobrança Automática Pré-paga	Cobrança Automática Pós-paga	
		(Shoppings, Aeroportos, Estacionamentos)	(Shoppings, Aeroportos, Estacionamentos)	
	1	2	3	
Custo Pedágio	R\$ 19.60	R\$ 19.60	R\$ 19.60	
Custo Adesão	---	R\$ 0	R\$ 5	
Taxa de Recarga	---	R\$ 5	---	
Custo Mensalidade	---	---	R\$ 30	
Expectativa de Fila de veículos no pedágio	5 veículos	2 veículos	2 veículos	

Cenário 9				
Alternativas	Cobrança Manual	Cobrança Automática Pré-paga	Cobrança Automática Pós-paga	
		(Shoppings, Aeroportos, Estacionamentos)	(Shoppings, Aeroportos, Estacionamentos)	
	1	2	3	
Custo Pedágio	R\$ 19.60	R\$ 13.70	R\$ 13.70	
Custo Adesão	---	R\$ 0	R\$ 10	
Taxa de Recarga	---	R\$ 5	---	
Custo Mensalidade	---	---	R\$ 15	
Expectativa de Fila de veículos no pedágio	5 veículos	4 veículos	4 veículos	

Cenário 10				
Alternativas	Cobrança Manual	Cobrança Automática Pré-paga	Cobrança Automática Pós-paga	
		(Shoppings, Aeroportos, Estacionamentos)	(Shoppings, Aeroportos, Estacionamentos)	
	1	2	3	
Custo Pedágio	R\$ 19.60	R\$ 16.70	R\$ 16.70	
Custo Adesão	---	R\$ 20	R\$ 0	
Taxa de Recarga	---	R\$ 30	---	
Custo Mensalidade	---	---	R\$ 15	
Expectativa de Fila de veículos no pedágio	5 veículos	0 veículos	0 veículos	

Cenário 11				
Alternativas	Cobrança Manual	Cobrança Automática Pré-paga	Cobrança Automática Pós-paga	
		(Shoppings, Aeroportos, Estacionamentos)	(Shoppings, Aeroportos, Estacionamentos)	
	1	2	3	
Custo Pedágio	R\$ 19.60	R\$ 16.70	R\$ 16.70	
Custo Adesão	---	R\$ 20	R\$ 5	
Taxa de Recarga	---	R\$ 30	---	
Custo Mensalidade	---	---	R\$ 30	
Expectativa de Fila de veículos no pedágio	10 veículos	4 veículos	4 veículos	

Cenário 12				
Alternativas	Cobrança Manual	Cobrança Automática Pré-paga	Cobrança Automática Pós-paga	
		(Shoppings, Aeroportos, Estacionamentos)	(Shoppings, Aeroportos, Estacionamentos)	
	1	2	3	
Custo Pedágio	R\$ 19.60	R\$ 19.60	R\$ 19.60	
Custo Adesão	---	R\$ 40	R\$ 0	
Taxa de Recarga	---	R\$ 15	---	
Custo Mensalidade	---	---	R\$ 5	
Expectativa de Fila de veículos no pedágio	10 veículos	2 veículos	2 veículos	

APÊNDICE 2 – QUESTIONÁRIO DA OD

Veículos leves

Pergunta	Perguntas e Respostas Possíveis
Município de Origem	Municípios Brasil
Bairro de Origem	Bairros de Municípios escolhidos
Município de Destino	Municípios Brasil
Bairro de Destino	Bairros de Municípios escolhidos
Frequência Quantidade	Número
Frequência Unidade	Por dia
	Por semana
	Por mês
	Por ano
	Primeira vez
Local de Origem / Destino	Eventual
	Compras
	Estudo
	Local de trabalho
	Negócios
	Outros
	Passeio / Visita / Lazer
	Residência
	Saúde
	XXX
Marca	YYY
Modelo	YYY
Proprietário	1. próprio (motorista)
	2. Alugado (Localiza/Movida)
	3. Emprestado (parente)
	4. empresa
	5. outra
Fianciador do Pedágio	1. Motorista
	2. Empresa
	3. Dividido entre todos os ocupantes
Cobrança Automática (AVI)	Sim / Não
interesse em cobrança Automática (AVI)	Sim / Não
Número de Passageiros	Número
Renda do Motorista	Até R\$ 900
	De R\$ 1.501 a R\$ 2.500
	De R\$ 2.501 a R\$ 5.000
	De R\$ 5.001 a R\$ 10.000
	De R\$ 901 a R\$ 1.500
	Mais de R\$ 10.001
Este veículo tem isenção do pagamento do pedágio?	Não
	Polícia
	Prefeitura
	Bombeiro
	Ambulância
	Estado
	Veículo Oficial
Outros	

Veículos pesados

Pergunta	Perguntas e Respostas Possíveis
Município de Origem	Municípios Brasil
Bairro de Origem	Bairros de Municípios escolhidos
Município de Destino	Municípios Brasil
Bairro de Destino	Bairros de Municípios escolhidos
Frequência Quantidade	Número
Frequência Unidade	Por dia
	Por semana
	Por mês
	Por ano
	Primeira vez
	Eventual
Caminhão Carregado	1. Carregado
	2. Vazio
Local de Origem / Destino	1. Fábrica / Depósito
	2. Centro de Distribuição
	3. Usina ou Silo
	4. Fazenda
	5. Porto
	6. Loja / Supermercado
	7. Terminal Ferroviário
	8. Terminal de Cargas
	9. Transportadora (Garagem)
Tipo de Carga	ZZZ
Carga tipo Container	Sim / Não
Marca	XXX
Modelo	YYY
Eixos Totais	Número
Eixos Suspensos	Número
Proprietário	1. próprio (motorista)
	2. transportadora
	3. empresa / proprietário carga
	4. outra
Fianciador do Pedágio	1. próprio (motorista)
	2. transportadora
	3. empresa / proprietário carga
	4. Outra
Cobrança Automática	Sim / Não
interesse em cobrança Automática	Sim / Não
Quem Decidiu a rota	1. Motorista
	2. Transportadora
	3. Empresa
	4. Empresa de escolta
	5. Proprietário da carga
	6. Outros
Renda do Motorista	Até R\$ 900
	De R\$ 1.501 a R\$ 2.500
	De R\$ 2.501 a R\$ 5.000
	De R\$ 5.001 a R\$ 10.000
	De R\$ 901 a R\$ 1.500
	Mais de R\$ 10.001
Este veículo tem isenção do pagamento do pedágio?	Não
	Polícia
	Prefeitura
	Bombeiro
	Ambulância
	Estado
	Veículo Oficial
Outros	

APÊNDICE 3 – PROJETO DE INSTALAÇÃO DE SISTEMA MULTI-LANE FREE FLOW

Análise do contexto geral

Este documento contém o projeto de alto nível de um sistema Multi-Lane Free Flow (MLFF) para o mercado brasileiro com o objetivo de construir, instalar e implementar um pórtico teste em ambiente real.

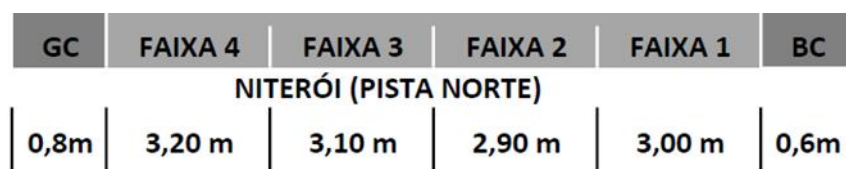


Figura A3.1 - Esquema da sessão no local de instalação do sistema MLFF

O pórtico será instalado suspenso sobre 4 faixas, conforme exemplificado na Figura A3.1, garantindo uma área desobstruída de 6,35m de altura. Optou-se por criar uma solução sem dispositivos no chão, fazendo uso de tecnologias inéditas. O pórtico será equipado com os dispositivos necessários para:

- detectar veículos;
- identificar veículos por meio de leitura de TAG, se aplicável;
- registrar a imagem de placas traseira e/ou dianteira;
- classificar o veículo de acordo com o tipo, quantidade de eixos e pneus em rodados duplos.

Todas as faixas terão a mesma configuração necessária para a contagem de eixos pelos dispositivos, os quais serão instalados em apenas duas faixas.

Além dos dispositivos, será instalada na parte superior do pórtico a parte eletrônica para garantir energia e comunicação aos dispositivos, enquanto o controlador de zona será instalado em um outro local coberto.

Para cada veículo que passe por baixo do pórtico, será criada uma transação contendo todos os dados gerados pelos dispositivos; esses dados e todas as fotos relacionadas serão coletados e disponibilizados em um aplicativo para verificação e análise.

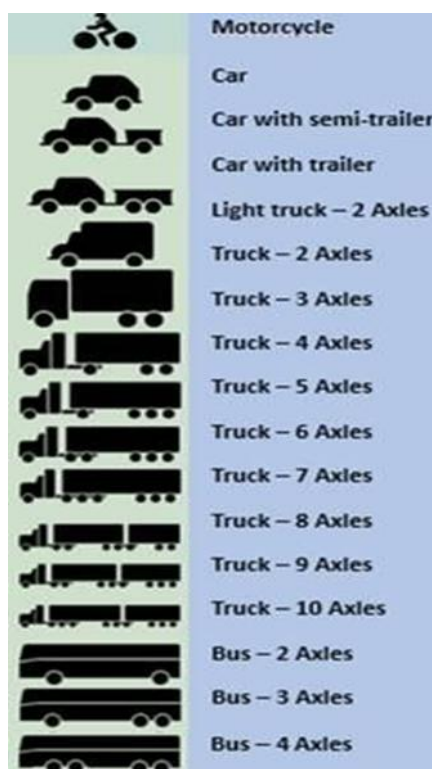
Todos os dados coletados serão utilizados para calcular KPIs para avaliação do desempenho do sistema e dos dispositivos.

Análise do esquema de classificação

Durante a prova de conceito (POC), o esquema tradicional de classificação pode ser comparado a um esquema de classificação feito simplesmente com base no formato de veículos e no output específico de dispositivos a laser, destacando as diferenças em termos de receita por classe única que confere pequenas variações no total de receitas.

O atual esquema de classificação é determinado com base em:

- Número de eixos
- Identificação de pneus em rodados duplos
- Eixos suspensos








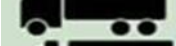





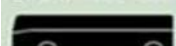


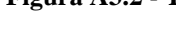


	Motorcycle
	Car
	Car with semi-trailer
	Car with trailer
	Light truck - 2 Axles
	Truck - 2 Axles
	Truck - 3 Axles
	Truck - 4 Axles
	Truck - 5 Axles
	Truck - 6 Axles
	Truck - 7 Axles
	Truck - 8 Axles
	Truck - 9 Axles
	Truck - 10 Axles
	Bus - 2 Axles
	Bus - 3 Axles
	Bus - 4 Axles

Figura A3.2 - Tabela de classificação

Define-se uma classe universal:

Código	Classe Universal	Descrição	Número de eixos	Pneus em rodados duplos
1	CAT 01	Veículo	2	NÃO
2	CAT 02	Caminhão pequeno com 2 eixos	2	SIM
3	CAT 03	Caminhão com 3 eixos	3	SIM
4	CAT 04	Caminhão com 4 eixos	4	SIM
5	CAT 05	Caminhão com 5 eixos	5	SIM
6	CAT 06	Caminhão com 6 eixos	6	SIM
7	CAT 07	Veículo com 1 eixo adicional	3	NÃO
8	CAT 08	Veículo com 2 eixos adicionais	4	NÃO
9	CAT 02	Ônibus com 2 eixos	2	SIM
10	CAT 03	Ônibus com 3 eixos	3	SIM
11	CAT 6 + 1	Caminhão com 7 eixos	7	SIM
12	CAT 6 + 2	Caminhão com 8 eixos	8	SIM
13	CAT 6 + 3	Caminhão com 9 eixos	9	SIM

14	CAT 6 + 4	Caminhão com 10 eixos	10	SIM
15	MOTO	Motocicleta	2	NÃO
16	CAT 04	Ônibus com 4 eixos	4	SIM

“Número de eixos” se refere aos eixos com pneus em contato com o solo (ou seja, eixos suspensos não devem ser considerados).

Projeto do sistema

Os principais objetivos da solução de pórtico desenvolvida para a POC são:

coleta e medição de KPIs;

avaliação do desempenho do sistema em uma instalação brasileira;

validação do funcionamento adequado em comparação à praça de pedágio tradicional usada como referência.

A solução S*Gate utiliza sensores robustos, padronizados e testados na prática, bem como equipamentos de Pagamento Eletrônico de Pedágio (ETC) para atingir um desempenho de alto nível, sendo projetada para maximizar a disponibilidade do sistema, a facilidade de manutenção e o processo geral de verificação de limitações por meio da teoria de restrições (TOC).

A instalação consiste em:

Câmeras para leitura automática de placas dianteiras e traseiras;

Uma linha de antenas conectadas aos leitores de Identificação Automática de Veículos (AVI) para a leitura de TAG;

Um sistema de detecção e escaneamento de perfis de veículos com base em dispositivos com tecnologia dupla laser/radar, capazes de fornecer gatilhos externos e classificação de veículos com base em um esquema volumétrico;

Um sistema suspenso de contagem automática de veículos com base em análise de imagens de vídeos, sem a necessidade de loops ou dispositivos no solo (apenas para duas faixas);

Equipamentos de comunicação.

Com base nas metas estabelecidas para a POC, a solução não implementa a configuração de Cobrança de Pedágio Integralmente Eletrônica (AET) totalmente redundante e tolerante a falhas; os dois recursos podem ser desenvolvidos em uma segunda etapa, com o

aperfeiçoamento da configuração instalada após o atingimento dos KPIs esperados.

Os equipamentos instalados ficarão protegido contra interrupções de energia e sobretensão por uma fonte de alimentação ininterrupta (UPS) instalada no local; a UPS fornece energia durante interrupções repentinas e curtas e permite um encerramento suave em caso de longas interrupções de energia.

A correlação de dados em tempo real é a característica principal do sistema que permite a geração de transações únicas e precisas quando os veículos passam sob o pórtico. É gerada uma única transação por veículo, utilizando e correlacionando as várias fontes de informações disponíveis durante a operação normal:

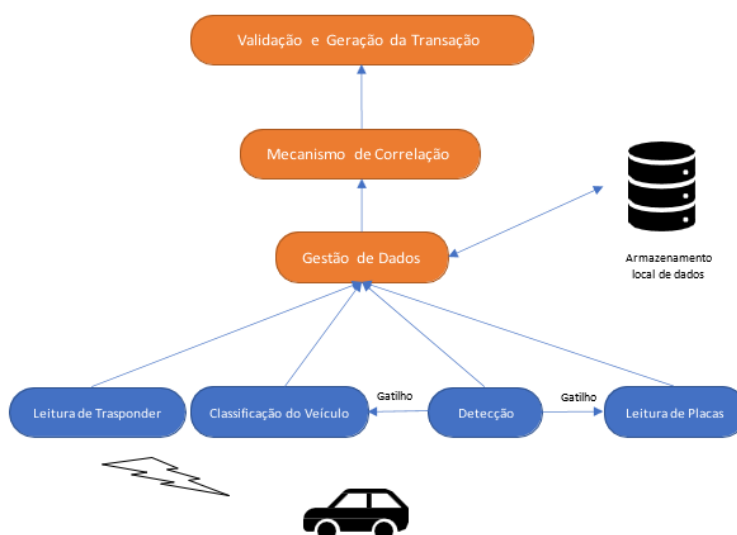


Figura A3.3 - Esquemático da movimentação e gestão dos dados.

- a movimentação do veículo atravessando o campo de escaneamento a laser e por radar permite o acionamento do evento de detecção de presença a ser consumado pelo sistema;
- as mensagens de dados do transponder originadas pelo leitor AVI são coletadas em tempo real e a faixa por onde o veículo esteja passando é estimada em uma análise de espaço de tempo/potência para uma correlação ideal entre o veículo e o transponder;
- câmeras frontais de Reconhecimento Automático de Número de Placas (ANPR) são ativadas a partir da captação da mensagem de gatilho de detecção e as imagens obtidas são automaticamente escaneadas por sistema de Reconhecimento Óptico de Caracteres (OCR) integrado; dois fluxos independentes para eventos de placas e imagens de placas são gerados em tempo real e as informações são transmitidas de forma autônoma para o controlador;
- câmeras traseiras de ANPR podem detectar automaticamente a presença de veículos e tirar fotos, que são automaticamente escaneadas pelo sistema OCR integrado; similar às câmeras frontais, dois fluxos independentes para eventos de placas e imagens de placas são gerados em tempo real e as informações são transmitidas de forma autônoma para o controlador;

- o sistema de Contagem Automática de Eixos analisa de forma contínua o fluxo de vídeos para detectar veículos automaticamente, contar eixos e fornecer uma imagem reconstituída do veículo passante;
- o controlador correlaciona as informações geradas pelas diferentes fontes para criar uma transação completa para cada veículo passante; o registro da transação é composto por informações de placa, informações baseadas em transponder (caso disponível), informações de classificação incluídas pelo módulo de Controle Autônomo de Veículos (AVC) e de acordo com metadados específicos da transação e relativos às regras aplicáveis do negócio;
- as transações são reunidas e transmitidas para o mecanismo de validação de transação do Host de Pedágio (TH) em um intervalo de tempo a ser configurado ou quando é atingido um determinado número de transações em espera, que também pode ser configurado.

Equipamentos instalados

Quatro subestações independentes, sob a supervisão do aplicativo de controlador, funcionam de forma autônoma e em sinergia para extrair todos os dados relevantes dos veículos e gerar um registro de transação altamente confiável adequado para a aplicação de uma tarifa de pedágio em TH de acordo com as regras do negócio implementadas.

As quatro subestações são:

- Detecção e Classificação Automática de Veículos (AVD/C)
- Contagem Automática de Eixos
- Identificação Automática de Veículos (AVI)
- Sistema de Fiscalização de Evasão (VES)

A Figura A3.4 a seguir descreve a esquematização do pórtico, na qual cada bloco representa um elemento-chave do sistema S*Gate.

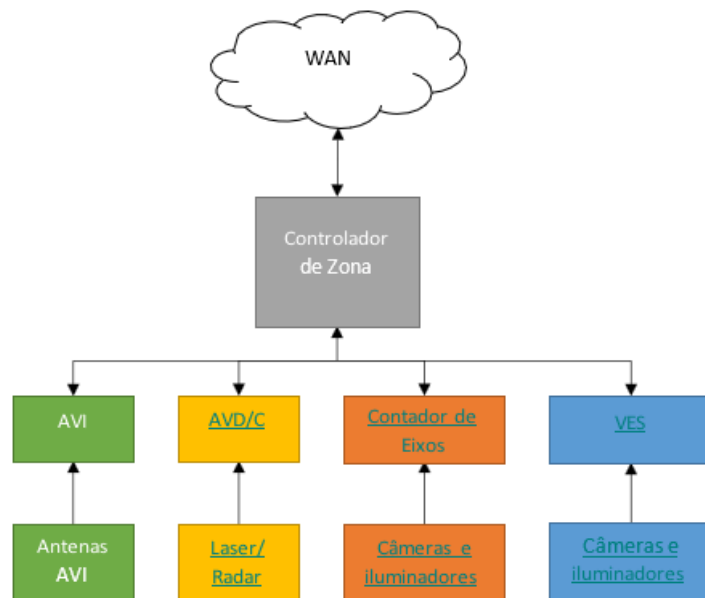


Figura A3.4 - Esquemático representativo do funcionamento dos dados do pórtico

Subsistema de Detecção e Classificação Automática de Veículos

O subsistema de Detecção e Classificação Automática de Veículos (AVD/C) é equipado com lasers Comark para entregar o melhor desempenho em detecção e separação de veículos. Para isso, dois dispositivos serão instalados para cada faixa:

Dispositivo Comark LSR2001 na margem esquerda da faixa, inclinado em 45°, perpendicular à faixa, para detectar o veículo e seu formato pela lateral (Figura A3.5). Dispositivo Comark RSR4001L no meio da faixa, inclinado em 45°, para detectar o veículo, comprimento e velocidade pela frente (Figura A3.6).

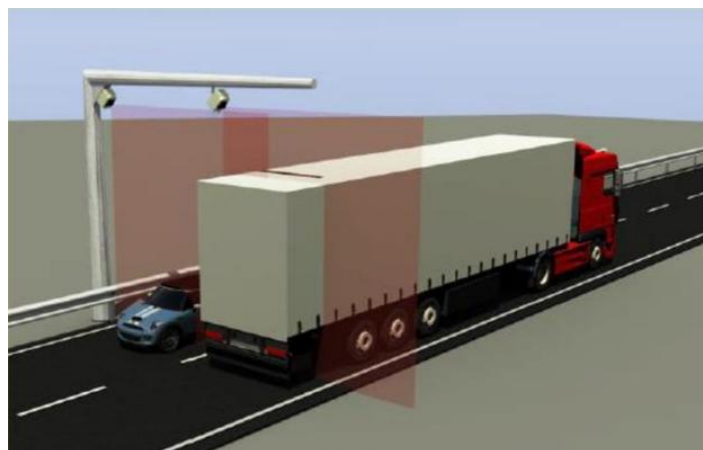


Figura A3.5 - LSR2001



Figura A3.6 - RSR4001L

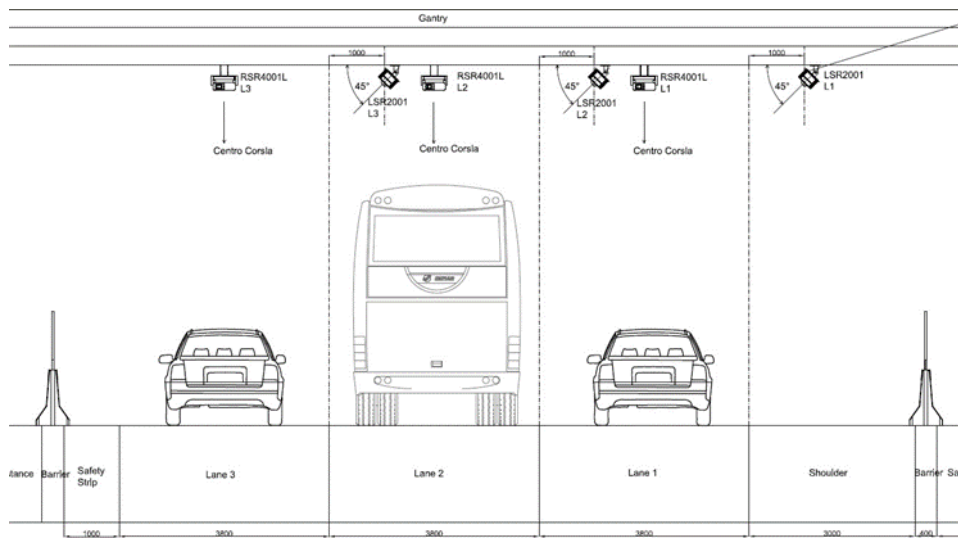


Figura A3.7 - Visão Traseira

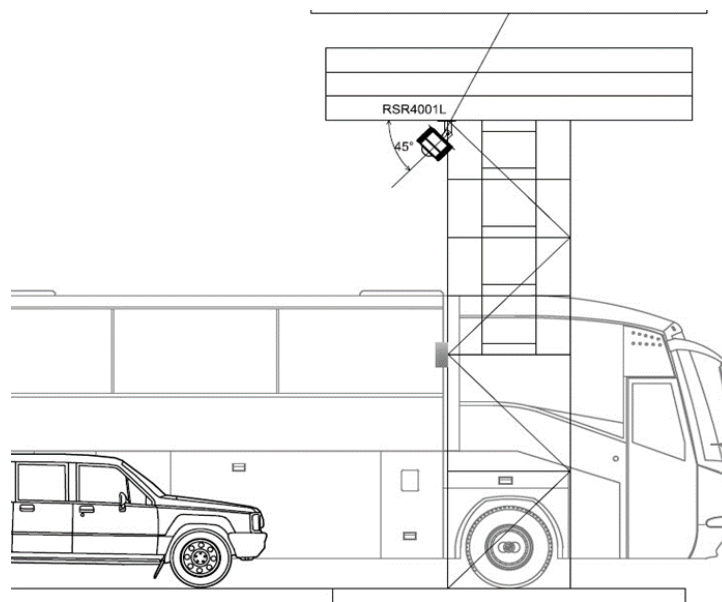


Figura A3.8 - Visão Lateral

A Figura A3.7 e Figura A3.8 representam respectivamente a visão traseira com o esquemático RSR4001L e LSR2001 detectando e registrando para a classificação do veículo e a visão lateral demonstrando a posição do sensor RSR4001L. Os dois dispositivos para cada faixa podem ser considerados como um único sensor, pois eles são sincronizados para criar um único output.

Quando o subsistema detecta a parte frontal do veículo, ele gera um evento utilizado para acionar as câmeras frontais com a tecnologia Reconhecimento Automático de Placas de Veículos (ALPR), que conseguem mensurar a velocidade e as dimensões do veículo, além de analisar o formato do veículo para categorizá-lo em uma das classes a seguir:

Classe Comark	Descrição da classe
0	Não Classificado
1	Pedestre
2	Bicicleta
100	Motocicleta
200	Carro
220	Suv
240	Picape
250	Carro com reboque
270	Suv com reboque
290	Picape com reboque
300	Van

350	Van com reboque
400	Ônibus
401	Ônibus de viagem
402	Ônibus articulado
403	Ônibus de dois andares
450	Ônibus com reboque
451	Ônibus de viagem com reboque
453	Ônibus de dois andares com reboque
500	Caminhão
501	Caminhão com reboque
502	Caminhão com semirreboque

Subsistema de Contagem de Eixos

O esquema de classificação atual no Brasil é feito com base na contagem de eixos e detecção de pneus em rodados duplos na cabine de Pedágio. Todos os contratos de concessão no Brasil determinam a tarifa com base na contagem de eixos, algumas concessões consideram somente os pneus em contato com o solo, outras consideram tanto os que tocam o solo quanto os eixos suspensos; além disso, as tarifas de pedágio são diferentes para veículos comerciais e não comerciais e para categorias especiais, como ônibus.

Por este motivo, a configuração do pórtico MLFF para a POC inclui um subsistema de contagem de eixos dedicado a coletar dados sobre os eixos do veículo, que são adicionados às

transações.

O Sistema de Contagem Automática de Eixos proposto para a POC é fabricado pela Tattile e usa uma solução totalmente suspensa baseada em imagem. O sistema conta com câmeras e iluminadores infravermelho de alto desempenho que podem analisar o tráfego de fluxo livre e contar os eixos em condições diurnas e noturnas.

As câmeras são instaladas na parte superior do pórtico e ficam inclinadas em um ângulo apropriado para analisar a parte lateral dos veículos passantes; possuem algoritmos de processamento interno e rede de inteligência artificial (IA) instruídos para otimizar o reconhecimento de eixos, gerando os seguintes dados:

Número de eixos;

Imagem reconstituída do veículo;

Eixos suspensos;

Metadados (Carimbo de Data e Hora /ID da Faixa/etc.).

Uma implementação em curso pretende adicionar ao sistema o recurso de reconhecer eixos com pneus em rodados duplos. Esta funcionalidade, que está evoluindo para um estado de produção, será incluída como avaliação em uma atualização futura do firmware.

O sistema de Contagem de Eixos proposto para a POC consiste em algumas câmeras de infravermelho (mod F02002-000) para cada faixa contando com iluminadores infravermelho próximo (NIR) externos dedicados de 850 nm (F01920-000) com ampla abertura (H80°/V30°); estes dispositivos são instalados na parte superior do pórtico, não sendo necessário nenhum dispositivo no solo para uma operação de alto nível (Figura A3.9).



Figura A3.9 - Iluminador Tattile e câmera Tattile para contagem de eixos

Conforme mencionado anteriormente, apenas duas faixas serão equipadas com o sistema de Contagem de Eixos. A Figura A3.10 mostra um exemplo do esquema de instalação projetado para o POC no qual as câmeras são instaladas de forma a otimizar a visão lateral dos veículos em cada faixa.

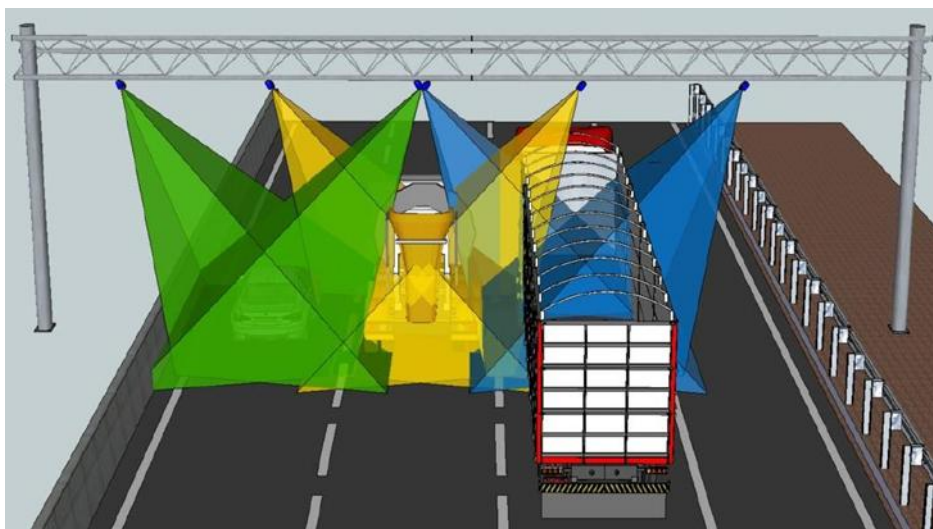


Figura A3.10 - Projeção de leitura das câmeras instaladas

Foi escolhida a configuração redundante (duas câmeras infravermelho por faixa) para maximizar o desempenho do sistema e contar de forma correta os eixos dos veículos passantes mesmo em caso de obstáculos e obstruções; o evento mais comum é quando um caminhão e um carro se deslocam lado a lado e o caminhão encobre a visão lateral do carro (Figura A3.11).



Figura A3.11 - Representação de veículo obstruindo a visão das demais faixas

Quando as câmeras e os iluminadores são instalados, devem ser consideradas as seguintes restrições:

- o ângulo de inclinação da câmera de infravermelho não pode exceder 60° , incluindo a inclinação transversal da rodovia;
- a câmera deve estar mais afastada de sua faixa para evitar o aumento do ângulo de inclinação;
- o iluminador infravermelho deve ser instalado ao lado da câmera de Contagem de Eixos;

- o iluminador infravermelho deve ser instalado a menos de 1,5m de sua câmera;
- a área de iluminação deve estar acima do campo de visão do sistema de Contagem de Eixos, já que o objetivo é iluminar a mesma área com o mesmo ângulo para evitar a criação de sombras.

Seguem abaixo algumas medidas comuns para o Sistema de Contagem de Eixos (Figura A3.12).

Parameters	Value	Notes
Axle Counter		
Offset	4.9 m (12.3 ft)	From lane center
Height	7 m (20 ft)	+/-30 cm (1ft). For different layouts, please contact Tattile.
Tilt Angle	55°	+/-2°
Roll Angle	0°	(+/- 1°) No rotation on the optical axis
Pan Angle	90°	Transverse to the driving direction
Illuminator		
Illuminator	Max distance 1.5 m (5 ft)	Installed beside the camera and pointing to the same area.

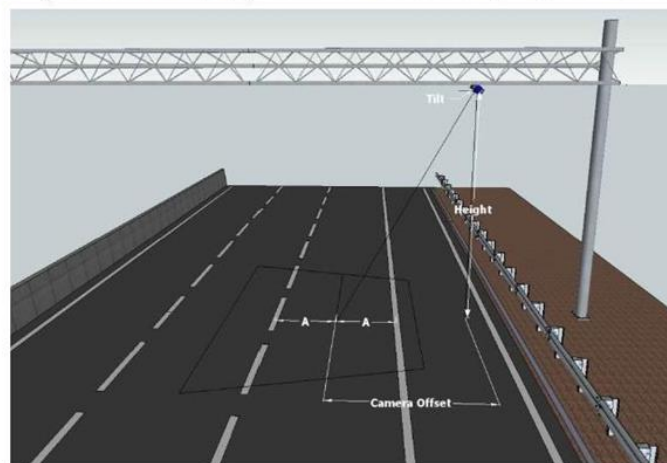


Figura A3.12 - Instalação do sistema de contagem de eixos

As câmeras são configuradas para funcionar no modo Ativação Automática e para fornecer sinal de início/fim do veículo quando a parte dianteira ou a parte traseira do veículo atravessar o centro da imagem (Figura A3.13).

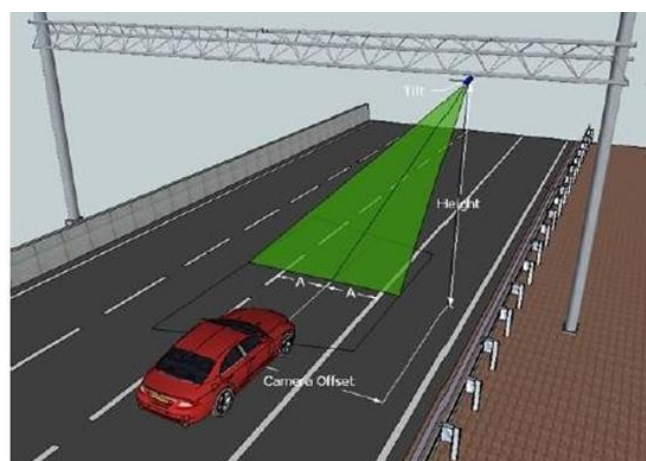


Figura A3.13 - Ativador automático do sistema de contagem de eixos

Conforme já mencionado, no fim da execução, o sistema de contagem de eixos gera uma

mensagem de evento único que contém as informações reunidas durante a execução, bem como apenas uma imagem reconstituída do veículo formada por inúmeras imagens capturadas durante a passagem do veículo. A Figura A3.14 demonstra como uma série de imagens é transformada em uma única imagem restituída.



Figura A3.14 - Restituição das imagens capturadas em um único trânsito.

Sistema de Fiscalização de Evasão

O Sistema de Fiscalização de Evasão (VES) é responsável por detectar a imagem de veículo passando pelo pórtico, capturando imagens da parte dianteira e traseira, identificando e extraíndo os números de placas.

Cada faixa será equipada com uma câmera que detecta a aproximação do veículo e outra que detecta o distanciamento do veículo, com iluminadores que se adequem melhor às leis do estado (é proibido utilizar luzes visíveis) e com capacidade de detectar todos os tipos de placas. A Figura A3.15 e Figura A3.16 exemplificam como será feita a leitura para fiscalização de evasões.

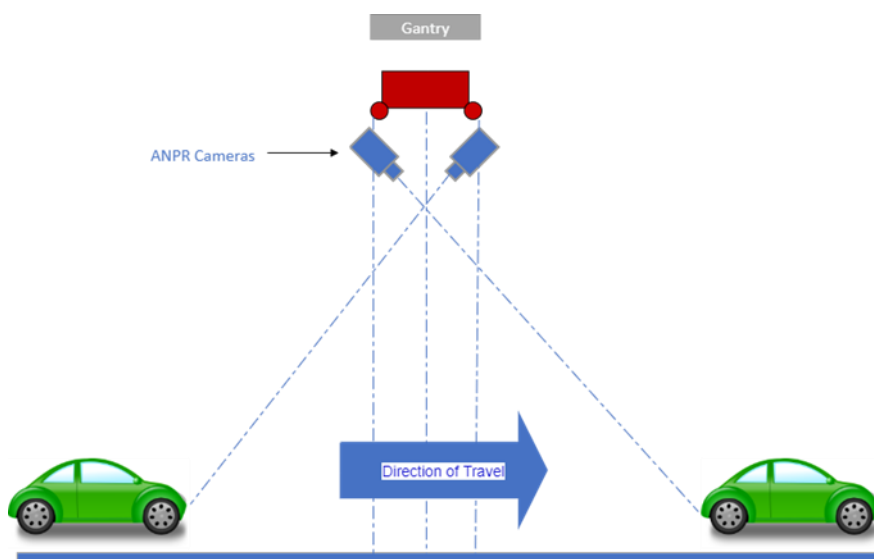


Figura A3.15 - Visão Lateral do VES

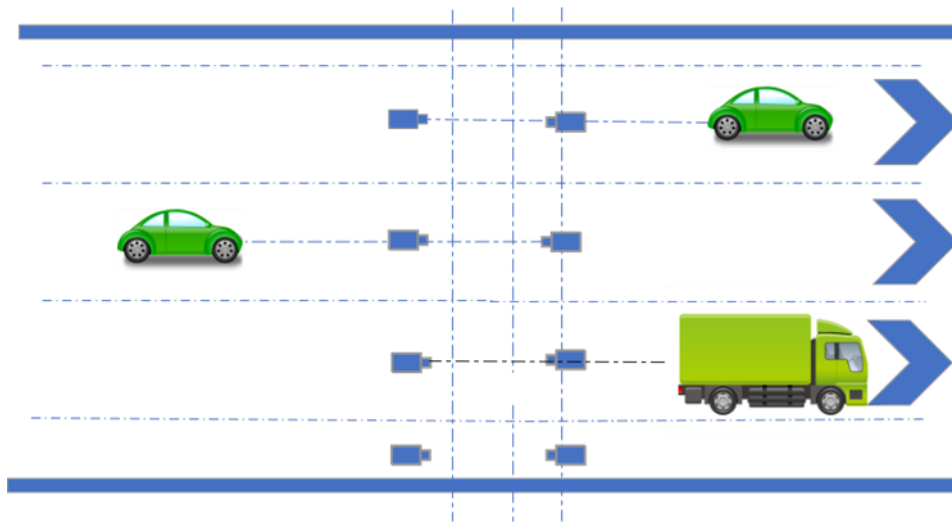


Figura A3.16 - Visão de Cima do VES

Geralmente, para cada veículo, são capturadas pelo menos as seguintes fotos:

- Placa dianteira, se aplicável;
- Cena geral da parte frontal;
- Placa traseira, se aplicável;
- Cena geral da parte traseira.

Para melhor desempenho (ou seja, não perder nenhuma imagem), será utilizada uma combinação de ativação externa (fornecida pelo AVD) e ativação automática (detecção de movimento).

Na ausência de TAG, a placa dianteira deve ser utilizada para cobrança de pedágio, se aplicável, ou a placa traseira (como no caso de motocicletas).

ALPR

A funcionalidade ALPR é utilizada para os dois tipos de placas e fornecida diretamente pelas câmeras ALPR, que processam as imagens e registram:

- os caracteres de placas de veículos;
- a classificação de confiança;
- nacionalidade.

É possível gerenciar países com diversos tipos de placas de veículos por configuração e introduzir um segundo mecanismo de OCR (integrado ou não) para fortalecer a confiança do ALPR.

Placas antigas

As placas antigas têm diferentes combinações de cores para caracteres e para o fundo e não são

reflexivas, então não são de fácil leitura principalmente à noite. As placas vermelhas, particularmente, podem causar alguns problemas.

A POC será útil para testar e ajustar uma boa solução para a leitura do maior número possível de placas diferentes. Não é necessário detectar a cor das placas.



Figura A3.17 - Exemplo de placas antigas

Novas placas

As novas placas têm um fundo branco e reflexivo, com caracteres coloridos, então podem ser lidas facilmente pelas câmeras com iluminadores infravermelhos. Por não ser necessário detectar cores, não é preciso utilizar câmeras em cores. A Figura A3.18 exemplifica as placas e cores na versão Mercosul.

Categorias

A cor dos caracteres alfanuméricos e das bordas da placa de identificação veicular, cujo fundo é sempre branco, é determinada de acordo com a categoria dos veículos, conforme o seguinte esquema:

Categoria	Exemplo	Cor dos Caracteres	Pantone	Observação
Particular	ABC1D23	Preto	—	Uso geral para veículos que não se enquadram nas demais categorias
Comercial	ABC1D23	Vermelho	Fórmula Sólido Brilhante 186C	Aluguel (veículos que realizam transporte pago, p. ex.: táxis, ônibus, caminhões, etc.) Aprendizagem (autoescolas e CFCs)
Oficial/ Representação	ABC1D23	Azul	Fórmula Sólido Brilhante 286C	Veículos pertencentes aos órgãos da administração pública direta nos níveis federal, estadual, distrital e municipal
Diplomático/ Consular	ABC1D23	Dourado	Fórmula Sólido Brilhante 130C	Missão Diplomática, Corpo Consular, Corpo Diplomático, Organismo Consular e/ou Internacional e Acordo de Cooperação Internacional
Especiais	ABC1D23	Verde	Fórmula Sólido Brilhante 341C	Experiência Fabricantes de veículos, peças e implementos
Coleção	ABC1D23	Cinza Prata	SwopPantoneGrey	Veículos com mais de 30 anos com alto grau de originalidade

Tipos de placas brasileiras no padrão Mercosul. Note-se que o fundo é sempre branco; a categoria é indicada pela cor dos caracteres alfanuméricos e da borda da placa.

Figura A3.18 - Exemplo de placas Mercosul

Câmera frontal

A câmera escolhida para detectar placas dianteiras é um modelo específico capaz de identificar placas não reflexivas, equipadas com iluminador infravermelho e duas óticas iguais com diferentes sensores, um infravermelho e um em cores.

Câmera traseira

A câmera escolhida para detectar placas traseiras é equipada com iluminador vermelho claro

(ou seja, uma tecnologia entre infravermelho e luz vermelha) com um pequeno ângulo e duas câmeras de infravermelho.

Subsistema AVI

O subsistema Identificação Automática de Veículos (AVI) é responsável pela leitura de TAGs instaladas em veículos passando em alta velocidade sob o pórtico MLFF.

O subsistema AVI proposto pela POC baseia-se no leitor RFID da empresa Star Systems International chamado Titan, equipado com uma antena específica de cobrança de pedágio chamada Avior, projetada e fabricada especificamente para ser uma antena suspensa sob a rodovia para sistemas de cobrança de pedágio em alta velocidade por meio de tags passivas.

O Titan é um leitor UHF Multi-Protocolo de excelente nível, projetado especificamente para cobranças de pedágio em alta velocidade, como Multi-Lane Free Flow (MLFF) e High Occupancy Tolling; o Titan (Figura 20) identifica diversos protocolos simultaneamente e suporta o Protocolo Artefato ISO/IEC 18000-63 (SJ5511) sob uma licença de software (implementação de criptografia-128-ECB/CBC/CGCN do Padrão de

Criptografia Avançada (AES), também especificada de acordo com o ISO/IEC NP 29167-10, disponibilizada pela Agência de Transportes do Estado de São Paulo – ARTESP).

Com quatro portas de antena de alta velocidade, é possível ter uma cobertura estendida de diversas faixas a partir de apenas um leitor, sendo aplicável ao projeto da POC.



Figura A3.19 - Leitor Titan SSI

A Avior é uma antena robusta e comprovada, projetada e produzida especificamente para ser uma antena suspensa para sistemas de cobrança de pedágio em alta velocidade por meio de tags passivas.

Equipada com um feixe estreito focado com largura de 30 graus, a Avior permite garantir não somente a maximização das taxas de leituras em alta velocidade, mas também o isolamento da zona de leitura desejada, evitando leituras cruzadas de faixas e interferência de faixas adjacentes.

A Avior (Figura A3.20) também possui a capacidade de operar em uma faixa de frequência de 865–928 MHz, o que a torna adequada para o mercado brasileiro.



Figura A3.20 - Antena Avior SSI

Para este projeto, há apenas uma zona de cobrança de pedágio e um controlador que coleta todas as Tags lidas pelo subsistema AVI. Para um excelente desempenho de AVI, recomenda-se uma cobertura de ponta a ponta da rodovia completa e sobreposta com duas antenas Avior por faixa.

Essa configuração oferece dois benefícios principais:

- cobertura redundante da antena no caso de falha em antena;
- diversidade espacial otimizada, o que permite a leitura de tag de múltiplos ângulos enquanto o veículo transita pela zona de leitura.

Considerando que não há nenhuma redundância ativada no sistema durante a primeira fase da POC, embora uma configuração totalmente redundante de AVI possa ser aplicada facilmente em uma segunda fase, e considerando que o local escolhido para a POC é uma autoestrada de 4 faixas, a Figura A3.21 sugere a seguinte configuração para maximizar o desempenho e garantir uma cobertura completa da rodovia:

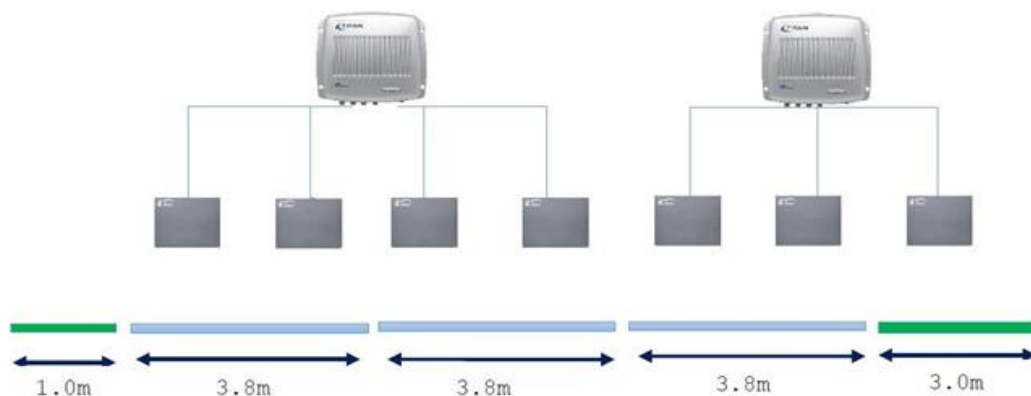


Figura A3.21 - Configuração de antenas para maximizar o desempenho e garantir uma cobertura completa da rodovia

Conforme explicado na imagem, o subsistema AVI consiste em dois leitores Titan em uma configuração não redundante mais 8 antenas Avior; os dois leitores Titan são instalados na parte superior do pórtico para diminuir o comprimento dos cabos de radiofrequência (RF) e para reduzir a perda de energia:

- Um leitor instalado no lado superior esquerdo do pórtico;
- Um leitor instalado no lado superior direito do pórtico.

Essas sugestões de posicionamento assumem que há energia disponível em cada gabinete.

Durante a passagem de um veículo, as antenas ativam a Tag passiva do veículo e começam a ler as informações armazenadas. A ativação da tag resulta em múltiplas leituras a partir das antenas que são armazenadas e geridas pelo leitor Titan.

O Titan cria múltiplas mensagens lidas de acordo com a posição do veículo e envia todas elas para o controlador. No caso de perda de NW, o armazenamento persistente interno tem capacidade para até 1.000.000 de transações únicas.

No Controlador de Zona, são implementados passos de execução necessários para descriptografar o ID da Tag e identificar a faixa de entrada e saída do veículo.

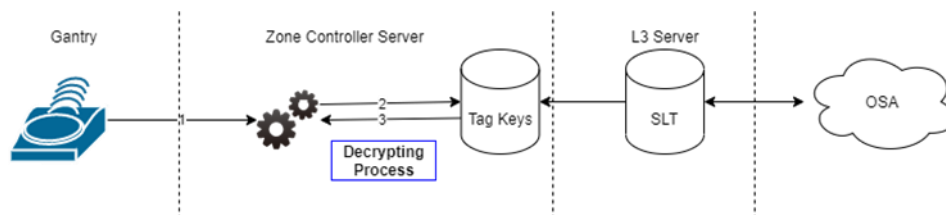


Figura A3.22 - Fluxo de descriptografia de TAG

As informações geradas pelo Controlador de Zona sobre ID da Tag, faixas, campos da tag passiva, são por fim adicionadas ao registro de transação única gerada para o veículo passante.

Condições para funcionamento

O desempenho do sistema deve ser mensurado levando em conta as seguintes condições específicas de funcionamento:

- velocidades baixas;
- velocidades normais;
- velocidades de rodovias;
- trânsito lento;
- trânsito pesado;
- mudanças de faixas;
- condições de luminosidade;
- condições do clima:
 - chuva forte;
 - neblina;
- diversas tags;
- eixos suspensos.

Funcionalidades e implementação de software

Arquitetura da Solução

A solução projetada para a POC consiste em:

- Aplicativo de controlador de zona: instalado no servidor à beira da rodovia, responsável por gerenciar todos os dispositivos, para coletar todos os eventos gerados pelos sensores e para gerar uma transação para cada veículo detectado;
- Aplicativo de Host de Pedágio: instalado em um servidor dedicado, responsável por coletar e gerenciar todas as transações geradas no controlador de zona;
- Painéis: responsáveis por exibir dados e calcular KPIs para verificação de desempenhos do sistema.

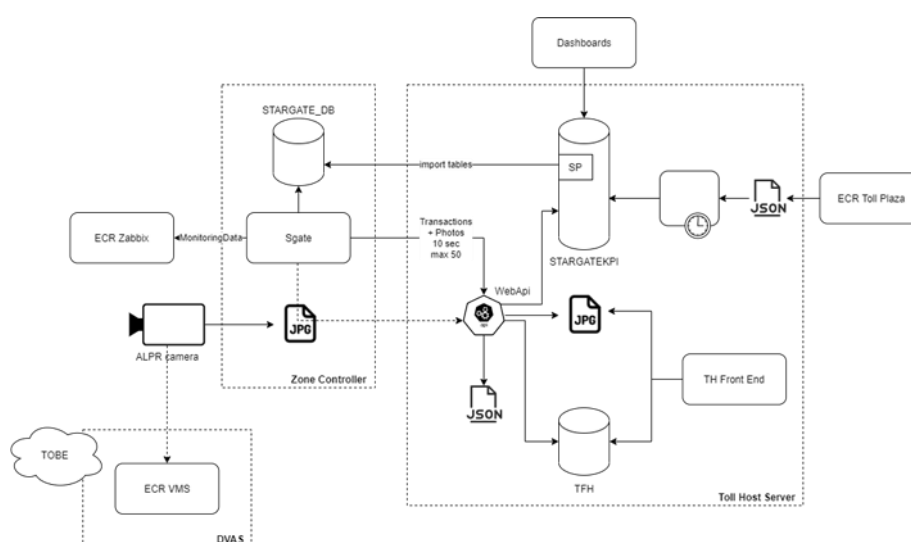


Figura A3.23 - Configuração de antenas para maximizar o desempenho e garantir uma cobertura completa da rodovia Arquitetura da Solução

Controlador de zona

O aplicativo de controlador de zona tem por finalidade:

- receber e armazenar localmente todos os dados gerados pelos dispositivos;
- processar todos os dados e associá-los aos seus respectivos veículos;
- gerar dados das transações;
- enviar dados de transações para sistemas externos;
- gerenciar dispositivos e enviar dados de monitoramento para sistemas externos.

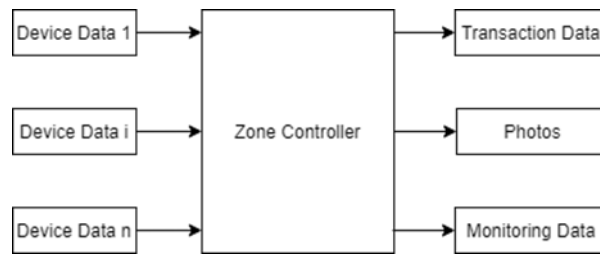


Figura A3.24 - Controlador de Zona

Funcionalidades

O controlador de zona implementa as seguintes funcionalidades:

ID	Funcionalidade	Descrição
F001	Atribuição de OCR	O controlador de zona correlaciona as imagens frontais e traseiras de cada veículo, mesmo quando captadas por múltiplas câmeras
F002	Atribuição de TAG	O controlador de zona correlaciona as leituras de TAG para cada veículo, mesmo quando lida por diversas antenas e quando o veículo possui diversas TAGs instaladas
F003	Atribuição de faixa	O controlador de zona identifica a faixa ou as faixas utilizadas pelo veículo
F004	Atribuição de classe	O Controlador de zona consegue utilizar os dados produzidos pelos sensores para determinar a classe do veículo de acordo com as regras do negócio definidas
F005	Gestão de troca de faixas	O controlador de zona consegue correlacionar dados mesmo quando o veículo troca de faixa
F006	Gestão de movimentação entre duas faixas	O controlador de zona consegue correlacionar dados mesmo quando o veículo se movimenta entre duas faixas
F007	Correlação de dados de dispositivos	O controlador de zona vincula todos os dados gerados pelos sensores com cada veículo que passa pelo pórtico
F008	Criação de transação	O controlador de zona gera dados únicos de transação para cada veículo que passa pelo pórtico
F009	Marcação de transação para revisão manual	O controlador de zona define regras para identificar transação possivelmente incorreta que precisa de revisão manual

F010	Envio de transação	O controlador de zona pode enviar as transações geradas para sistemas externos, gerenciando o resultado desse processo
F011	Gestão de transações rejeitadas	O controlador de zona pode gerenciar transação rejeitada por sistemas externos e enviá-la novamente após a correção de problemas
F012	Gestão de horário	Todos os dispositivos e o controlador de zona devem estar sincronizados
F013	Atribuição de ID de transação	O controlador de zona atribui um ID único para cada transação gerada
F014	Gestão de configuração de cancelas	O controlador de zona pode gerenciar a configuração de cancelas e dispositivos
F015	Gestão de fotos	O controlador de zona pode receber fotos de todos os dispositivos e armazená-las localmente até elas serem enviadas corretamente para sistemas externos
F016	Envio de fotos	O controlador de zona pode enviar fotos para sistemas externos, gerenciando o resultado desse processo
F017	Geração de dados de status de dispositivos	O controlador de zona define e calcula o status de dispositivos
F018	Geração de dados de status de cancelas	O controlador de zona define e calcula o status da cancela, com base no status do dispositivo e o status operacional

Dados da Transação

O output do sistema é uma transação, que contém todas as informações necessárias para a cobrança do pedágio.

A cobrança de pedágio não é aplicada na zona de controle, deixando a definição de regras de cobrança de pedágio para o host.

O modelo de dados de transação inclui:

- Tag de Pedágio: a TAG a ser utilizada no processo de cobrança de pedágio;
- Placa de Pedágio: a placa a ser utilizada no processo de cobrança de pedágio;
- Trânsito: coleta de todos os dados lidos pelos sensores
- Dados AVI (TAG)
- Dados VES (Placas Dianteira e Traseira)
- Dados AVC (Formato e Eixos)
- Dados Mestre: Impressão digital do veículo, utilizado para identificá-lo.

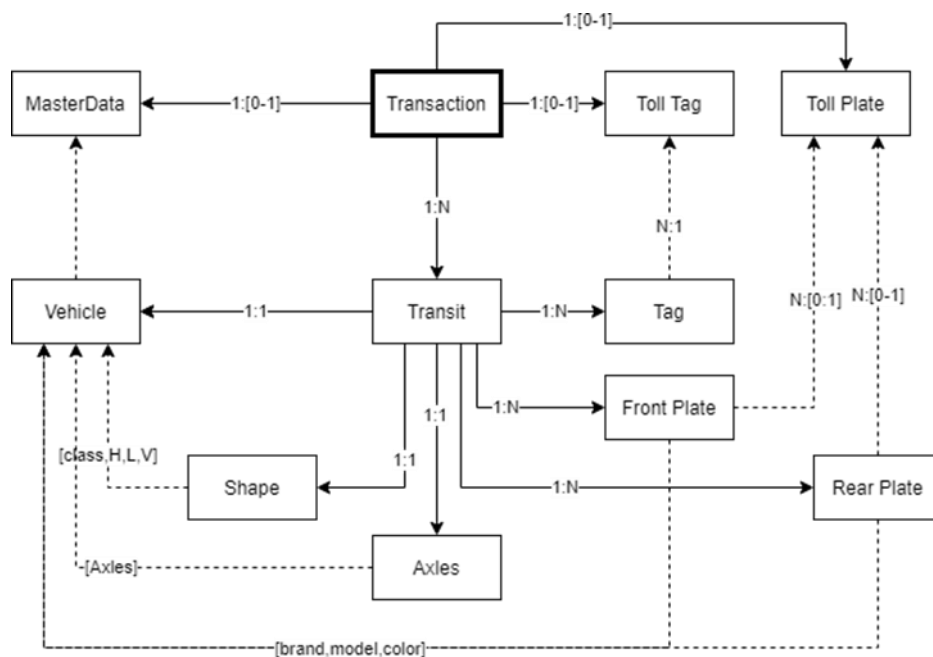


Figura A3.25 - Modelo de Dados de Transação

As transações são geradas em formato JavaScript Object Notation (JSON) e enviadas em lotes de no máximo 50 ou pelo menos a cada 30 segundos (é possível configurar os dois parâmetros).