

# **FREE-FLOW NA CONCESSÃO DA BR-101/SC: PROPORCIONALIDADE TARIFÁRIA E ESTIMATIVA DA INADIMPLÊNCIA ADMISSÍVEL**

ESPAÇO DESTINADO À IDENTIFICAÇÃO DOS AUTORES

ESPAÇO DESTINADO À IDENTIFICAÇÃO DOS AUTORES

## **RESUMO**

O risco da inadimplência é um dos maiores entraves para a implantação do *free-flow* no Brasil. Para endereçar esse problema, foi realizado um estudo de caso da BR-101/SC, após se propor um modelo de *free-flow* puro com cobrança por trecho homogêneo. Para analisar a viabilidade do modelo proposto, foi definido o conceito de inadimplência admissível, para a qual o equilíbrio econômico-financeiro da concessão ocorre com a tarifa quilométrica e a taxa interna de retorno estipuladas. Os Estudos de Viabilidade do atual modelo de praças da BR-101/SC foram usados para subsidiar as análises do *free-flow*. Foram calculados o momento de transporte e os custos do sistema de cobrança para o modelo proposto. Após a inclusão desses valores no fluxo de caixa da concessão, a inadimplência admissível foi estimada em 10,9%.

## **ABSTRACT**

The risk of non-payment is one of the biggest obstacles to the implementation of free-flow in Brazil. To address this problem, a case study of the BR-101/SC was carried out, to a pure free-flow model with homogeneous segment charging proposed. To analyze the feasibility of the model, the concept of allowable non-payment was defined, for which the economic-financial balance of the concession occurs with the stipulated kilometer tariff and internal rate of return. The Feasibility Study of the current BR-101/SC plaza model was used to support the free-flow analysis. Transport momentum and billing system costs were calculated for the proposed model. After including these values in the concession's cash flow, the non-payment default was estimated at 10.9%.

## **1 INTRODUÇÃO**

A transformação digital tornou as transações financeiras mais simples e baratas, mas seus benefícios ainda não foram totalmente explorados no âmbito das concessões rodoviárias. Hoje, todas as rodovias federais concedidas operam com praças de pedágio, edificações onde o usuário deve efetuar o pagamento da tarifa para ter sua passagem liberada. A alternativa é o *free-flow* (CNT, 2020), no qual o veículo trafega livremente e é identificado em movimento por equipamentos, em geral, instalados em pórticos ao longo da rodovia. Porém, um entrave para a implantação desse modelo no Brasil é o risco devido à inadimplência, problema abordado neste trabalho.

### **1.1 Modelo de Praças de Pedágio**

Nesse modelo, o lote rodoviário é dividido em trechos de cobertura, cada um associado a uma praça de pedágio. Quando o usuário cruza uma praça, deve pagar pelo uso integral do seu trecho de cobertura, ainda que o percorra parcialmente. Como os custos operacionais desse modelo são elevados, as praças são instaladas esparsamente, e, assim, a incompatibilidade entre os trechos homogêneos de

tráfego da rodovia e os trechos de cobertura induz distorções na tarifação. Por exemplo, na concessão da BR-101/SC, há somente quatro praças, mas dez trechos homogêneos. Esses trechos são segmentos sem alteração significativa na composição e no volume de veículos (DNIT, 2006).

Além do usuário que paga por uma extensão maior do que a percorrida, há alguns usuários que usufruem da rodovia sem participar da contrapartida para seu custeio. É o caso do motorista que trafega por um trecho entre duas praças sem realizar nenhum pagamento, a despeito de sua vontade. Portanto, ao induzir esse subsídio cruzado, o modelo de praças compromete a proporcionalidade entre a tarifa e a extensão usada da rodovia. Na literatura, essa relação é por vezes chamada *equidade tarifária* (CARDOSO *et al.*, 2019). Nesse trabalho, será denominada *proporcionalidade tarifária*.

O usuário pode efetuar o pagamento da tarifa na praça de duas formas principais. A primeira é o pagamento manual, mediante entrega de dinheiro a um funcionário, na qual é preciso parar totalmente o veículo. A segunda é o pagamento automático, no qual sensores realizam a leitura de uma *tag*, etiqueta eletrônica instalada no para-brisa do veículo, enquanto ele se aproxima a baixa velocidade. Uma *tag* semelhante é comumente usada para o *free-flow*. Nas praças, porém, uma cancela impede a continuidade da viagem até o reconhecimento do pagamento. Essa dinâmica aumenta o tempo de viagem, o consumo de combustível, a emissão de poluentes e a chance de acidentes (ALVARENGA, 2010).

## 1.2 Modelo Free-Flow

No *free-flow*, há dois modelos principais para permitir a cobrança proporcional à distância percorrida: controle de acessos e cobrança por trecho homogêneo (BARBOSA, 2013). No controle de acessos, os pórticos para identificação dos veículos são instalados em todos os pontos de entrada e saída do trecho concedido. Assim, é possível determinar a distância exata percorrida por cada usuário. Esse sistema é o de melhor proporcionalidade tarifária, mas pode ser inviável em lotes com muitos acessos secundários, como é frequente nas rodovias brasileiras.

Já na cobrança por trecho homogêneo, os pórticos são implantados em seções da rodovia, assim como as praças de pedágio. Porém, o são em maior número, em todos os trechos homogêneos de tráfego. Como nesses segmentos há apenas variações menores na composição e volume de veículos, devido a rotas de curta distância usadas por uma minoria de usuários, é alcançado aproximadamente o mesmo efeito de proporcionalidade tarifária do controle de acessos. A vantagem, entretanto, é a quantidade menor de pórticos.

A primeira implementação híbrida do *free-flow* ocorreu na Noruega, em 1987, em conjunto com praças de pedágio tradicionais (BARBOSA, 2013). O primeiro pedágio integralmente eletrônico foi implementado no Canadá, em 1997. O Chile foi o pioneiro na América Latina, ao usar o *free-flow*

na região metropolitana de Santiago, em 2001. Desde então, diversos países adotam gradativamente a tecnologia.

O Brasil passa por uma fase de transição, com as iniciativas implantadas limitadas a modelos híbridos praça-pórtico. O Estado de São Paulo foi pioneiro no país, em 2012, com o projeto Ponto a Ponto, nas rodovias SP-360, SP-75, SP-340 e SP-332. Nesse modelo (ARTESP, 2022), as antigas praças de pedágio foram mantidas. Assim, um usuário sem *tag* em seu veículo continua a pagar a tarifa nas praças. Paralelamente, os usuários com *tag* no veículo pagam uma parte da tarifa na praça e a outra pelos pórticos *free-flow*. O objetivo do projeto é melhorar a proporcionalidade tarifária para os que moram próximo às praças de pedágio.

No âmbito federal, não há iniciativas em funcionamento, mas há projetos previstos para os próximos anos, ensejados pela Lei nº 14.157, de 1º de junho de 2021, marco legal do *free-flow*. Nesse sentido, estão previstos modelos híbridos praça-pórtico para os projetos da BR-116/101/RJ/SP (atual Rio-SP) e da BR-116/465/493/MG/RJ (projeto da Rio-Valadares), em 2025, e da BR-040/495/RJ (projeto da Rio-BH) em 2026.

O *free-flow* será limitado à região metropolitana de cada projeto, e não substituirá as praças de pedágio no restante dos trechos concedidos. A ideia é atrair os usuários de vias marginais não pedagiadas, frequentemente congestionadas, para a via expressa pedagiada, com melhor nível de serviço. O modelo de *free-flow* será por controle de acessos da via expressa, e a adesão será voluntária: se o usuário urbano não quiser pagar pedágio, continuará a trafegar pela via marginal.

### **1.3 Risco da inadimplência**

As externalidades positivas do *free-flow*, para o conforto do usuário e a sustentabilidade ambiental, são evidentes. Os custos de implantação e operação do modelo são menores do que os das praças de pedágio, e há ainda potencial de aumento no momento de transporte. Entretanto, esses benefícios só poderão ser experimentados se a inadimplência não comprometer excessivamente a receita tarifária.

A experiência internacional mostra que a obtenção integral da receita não é uma expectativa realista. No *free-flow* do Chile, a porcentagem de proprietários que cruzam os pórticos, mas não são identificados, é estimada em 3,5%, o que inclui fraudes (VASALLO *et al.*, 2020). Dentre os usuários identificados e notificados, parte não paga a tarifa, estimados em 3,5% a 4%. Combinadas, essas taxas correspondem a uma inadimplência total de 7,4%.

Evidentemente, como não há *free-flow* puro implantado no Brasil, não existem dados equivalentes para a realidade nacional. Porém, os índices referentes ao Imposto de Propriedade de Veículos Automotivos (IPVA) podem indicar a tendência de inadimplência em uma eventual

implantação. Como o IPVA e a tarifa de pedágio são atribuídos à placa do veículo, medidas de *enforcement* semelhantes às do IPVA podem, em tese, ser adotadas para o *free-flow*. No Estado de São Paulo, no período 2009–2021, a inadimplência média do IPVA foi de 8,6%, com máxima de 9,3% em 2012 (SEFAZ–SP, 2022). Esse percentual corresponde ao montante pago até o final do ano. Em 2021, até abril, o mês de vencimento, foi registrado um índice de inadimplência de 25,8% em São Paulo, mas muitos contribuintes regularizam sua situação após esse prazo (SEFAZ–SP, 2021).

Evidentemente, a incidência de um índice de inadimplência sobre a receita tarifária demanda um aumento na tarifa quilométrica para a manutenção do equilíbrio econômico-financeiro da concessão, *ceteris paribus*. Ainda, do ponto de vista da política tarifária, é interessante estabelecer um valor máximo de tarifa quilométrica, acima do qual o projeto seja considerado inviável. A fixação desse valor permite a introdução do conceito de *índice de inadimplência admissível* para um modelo *free-flow*, referente ao índice de inadimplência para o qual o equilíbrio econômico-financeiro ocorre com a tarifa escolhida.

## 2 OBJETIVOS

A literatura carece de estudos sobre a viabilidade econômico-financeira do *free-flow* no Brasil. O único trabalho encontrado nesse sentido foi o de Barbosa (2013), que simulou como o tráfego seria afetado se o modelo de praças da concessão estadual da MG-050 fosse substituído por um modelo de *free-flow* com cobrança por trecho homogêneo.

Entretanto, para a simulação do equilíbrio econômico-financeiro seria necessário também atualizar os custos do sistema de cobrança e incluir uma variável de inadimplência sobre a receita. Este trabalho procura preencher essa lacuna ao realizar essa simulação para um modelo de *free-flow* puro, com cobrança por trecho homogêneo, proposto para a BR-101/SC. Como resultado, é estimado o índice de inadimplência admissível para o modelo, conforme definido anteriormente.

Na seleção de um trecho para o estudo de caso, foi procurado um empreendimento já leiloado com Estudos de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (EVTEA) de domínio público. Assim, os levantamentos e planilhas desses estudos podem ser aproveitados para subsidiar a simulação de um modelo *free-flow* no mesmo trecho, bem como fornecer um cenário-base com praças de pedágio para comparação direta. Além disso, foi dada prioridade a lotes curtos e com características uniformes, para simplificar as análises da simulação. O lote rodoviário da BR-101/SC foi o que melhor atendeu a esses requisitos.

### 3 MÉTODOS

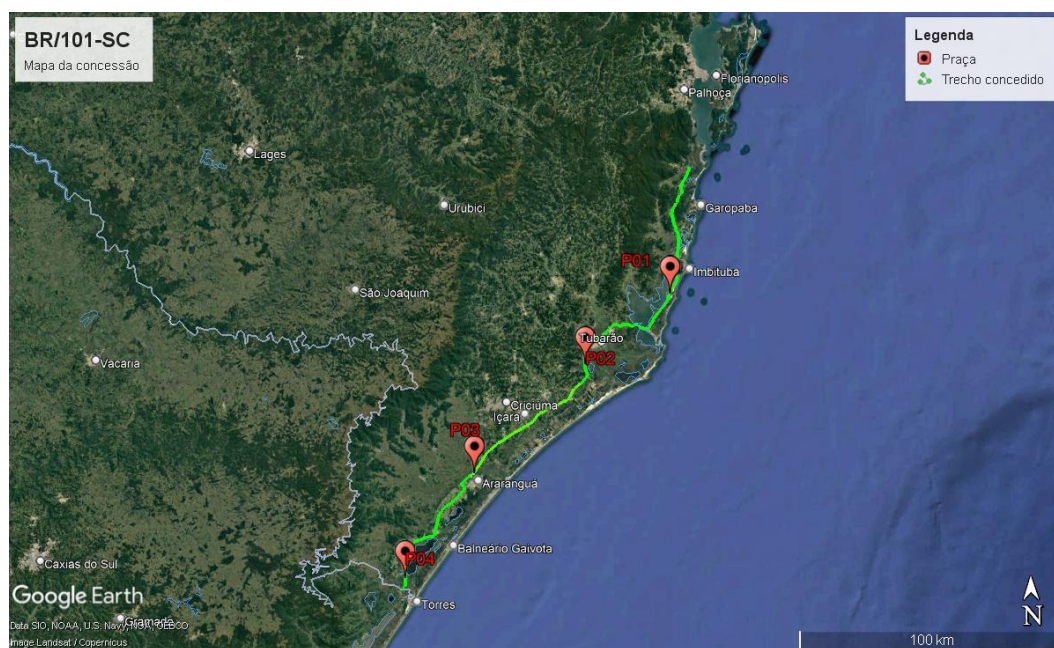
A proposta do estudo de caso consiste em um modelo de *free-flow* puro, com cobrança por trecho homogêneo. Dessa forma, serão dez pontos de cobrança com trechos de cobertura compatíveis com a extensão dos dez trechos homogêneos do lote rodoviário estudado. O cenário projetado no EVTEA da BR-101/SC (EVTEA BR-101/SC, 2019) é referido como cenário-base, e é a principal referência do estudo de caso.

A metodologia e os resultados são apresentados em quatro seções: 1) Análise da proporcionalidade tarifária no cenário-base, para quantificar as distorções causadas pelo modelo de praças; 2) Estimativa do momento de transporte que passa pelos pórticos do modelo proposto; 3) Estimativa dos custos de implantação e operação dos pórticos do modelo proposto; e 4) Atualização do momento de transporte e dos custos dos pórticos no EVTEA do cenário-base para obter, com o equilíbrio econômico-financeiro, a inadimplência admissível. O EVTEA está disponível no endereço:

<https://portal.antt.gov.br/edital-de-concessao-02-2019>

#### 3.1 Cenário-base

O cenário-base tem início no km 244+680 da BR-101/SC, a Rodovia Governador Mário Covas, e se estende por 220,42 km até o km 465+100, nos sentidos Norte e Sul (Figura 1). Foram projetados investimentos (CAPEX) avaliados em R\$ 3.376 milhões e custos operacionais (OPEX) de R\$ 3.994 milhões. A receita tarifária foi estimada em R\$ 12.892 milhões.



**Figura 1:** Lote rodoviário da BR-101/SC (fonte própria)

A tarifa quilométrica (TKM) do cenário-base é de R\$ 0,09411/km. Essa tarifa foi também usada no modelo *free-flow* proposto para o cálculo da inadimplência admissível, isto é, foi considerada a maior tarifa que não inviabiliza o projeto. Da mesma forma, por equilíbrio econômico-financeiro do modelo proposto, deve ser entendido que a taxa interna de retorno (TIR) é a adotada no cenário-base, de 9,2%.

O sistema de cobrança do cenário-base possui quatro praças de pedágio, cada uma com trecho de cobertura de 55,105 km e tarifa de R\$ 5,19. A duração do contrato é de 30 anos, com assunção em 2019. A cobrança de pedágio inicia-se no Ano 2, o que ocorreu em 2020. O lote rodoviário é composto por dez trechos homogêneos, detalhados na Tabela 1.

**Tabela 1:** Trechos homogêneos de tráfego e localização das praças de pedágio

Trecho homogêneo	km inicial	Extensão [km]	Municípios	Praça
TH 1	244,7	28,3	Paulo Lopes–Garopaba	-
TH 2	273	9,3	Garopaba–Imbituba	-
TH 3	282,3	29,7	Imbituba–Laguna	P1 (km 298)
TH 4	312	16,3	Laguna–Capivari	-
TH 5	328,3	6,7	Capivari–Tubarão	-
TH 6	335	16,0	Tubarão–Jaguaruna	P2 (km 346)
TH 7	351	44,0	Jaguaruna–Criciúma	-
TH 8	395	17,0	Criciúma–Araranguá	P3 (km 408)
TH 9	412	24,0	Araranguá–Sombrio	-
TH 10	436	29,1	Sombrio–Divisa RS	P4 (km 460)

Para análise da proporcionalidade tarifária no cenário-base, foi usado o conceito de tarifa quilométrica real. Dada a tarifa quilométrica nominal do cenário-base, de R\$ 0,09411/km, e o trecho de cobertura de cada ponto de cobrança, a tarifa respectiva para um automóvel é dada por:

$$\text{Tarifa}_i = TKM \cdot TC_i \quad (1)$$

em que  $\text{Tarifa}_i$ : Tarifa no  $i$ -ésimo ponto de cobrança [R\$]

$TKM$ : Tarifa quilométrica nominal [R\$/km]

$TC_i$ : Trecho de cobertura do  $i$ -ésimo ponto de cobrança [km]

Porém, não é essa a tarifa quilométrica percebida pelo usuário, mas sim:

$$TKM_{real} = \frac{\text{Tarifa}}{\text{Distância percorrida}} \quad (2)$$

em que  $TKM_{real}$ : Tarifa quilométrica real [R\$/km]

A Equação (2) foi usada para calcular a tarifa quilométrica real dos 55 pares de trechos homogêneos que constituem trajetos da rodovia.

### 3.2 Metodologia para estimativa do momento de transporte

O relatório de tráfego (EVTEA BR-101/SC, 2019) apresenta o Volume Diário Médio Anual (VDMA) de cada categoria veicular e em cada trecho homogêneo do lote rodoviário para o ano de 2015, determinado a partir das contagens de campo, conforme reproduzido na Tabela 2. No EVTEA, esses dados foram usados para projetar o tráfego nos 30 anos da concessão, apenas para os trechos homogêneos 3, 6, 8 e 10, onde há praças de pedágio. Para o estudo de caso, a projeção foi recalculada para esses trechos e calculada para os outros seis trechos homogêneos. Foi usada a expressão:

$$VDMA = VDMA_0(1 + g)(1 - d)(1 - f_L)(1 - f_M) \quad (3)$$

em que  $VDMA$ : Volume Diário Médio Anual [veic/dia]

$VDMA_0$ : VDMA no ano de 2015 [veic/dia]

$g$ : Taxa de crescimento devido ao aumento do PIB entre 2015 e o ano analisado [%]

$d$ : Tráfego perdido para rotas de desvio [%]

$f_L$ : Tráfego perdido para rotas de fuga [%]

$f_M$ : Variação pela migração entre modos de transporte [%]

Para cada combinação de ponto de cobrança  $i$ , ano  $j$  e categoria veicular  $k$  deve ser calculado o respectivo  $VDMA_{ijk}$  com base na Equação (3), em que esses índices são omitidos. As taxas de crescimento dependem do ano e da categoria veicular, enquanto as taxas de fuga e desvio dependem também do ponto de cobrança.

**Tabela 2:** Volume Diário Médio Anual [veic/dia] por categoria em cada trecho homogêneo, 2015.

Categoria	$\lambda$	Trecho homogêneo									
		TH 1	TH 2	TH 3	TH 4	TH 5	TH 6	TH 7	TH 8	TH 9	TH 10
Automóvel	1	16.833	20.725	14.049	21.219	27.401	19.746	19.922	17.646	19.226	10.324
Auto (semirreboque)	1,5	108	82	82	77	93	95	72	129	125	85
Auto (reboque)	2	16	28	10	1	1	17	18	22	30	18
Comercial (2 eixos)	2	718	1.597	857	881	1.484	1.186	874	977	1.094	548
Comercial (3 eixos)	3	860	1.905	1.974	1.927	2.123	1.765	1.905	1.856	1.522	1.459
Comercial (4 eixos)	4	483	752	626	616	665	635	546	617	647	564
Caminhão (5 eixos)	5	992	1.024	930	1.089	1.035	940	921	935	887	968
Caminhão (6 eixos)	6	903	1.778	1.990	2.059	2.132	1.979	1.770	1.599	1.538	1.556
Caminhão (7 eixos)	7	122	246	249	289	353	266	224	319	215	262
Caminhão (8 eixos)	8	2	4	5	10	11	8	3	27	4	7
Caminhão (9 eixos)	9	92	179	178	181	227	244	174	186	152	168
Motos	0,5	613	1.411	508	655	1.003	742	289	1.035	1.454	453
<b>VDMAeq [veic<sub>eq</sub>/dia]</b>		<b>35.358</b>	<b>52.680</b>	<b>44.561</b>	<b>53.202</b>	<b>62.610</b>	<b>51.197</b>	<b>41.241</b>	<b>46.783</b>	<b>46.111</b>	<b>36.021</b>

A taxa de crescimento anual de cada categoria é calculada a partir da elasticidade-PIB do tráfego considerada e da projeção de crescimento do PIB no período. Pelo entendimento de que esses fatores não são afetados pelo modelo de cobrança proposto, foram usados os mesmos valores do cenário-base.

As taxas de desvio, fuga localizada e fuga modal são reduções da demanda pela rodovia em resposta à tarifação. O EVTEA aponta como único desvio relevante a rota alternativa de longa extensão da BR-116/SC. Como a tarifa quilométrica do cenário-base é mantida no estudo de caso, o custo monetário pelo uso integral do lote rodoviário é o mesmo, e por isso as taxas de desvio foram mantidas. Assim, somente as taxas de fuga localizada e fuga modal foram recalculadas.

As fugas localizadas ocorrem por rotas alternativas de curta extensão, usadas por usuários que trafegam pelo trecho concedido, mas *contornam* as praças de pedágio para evitar a tarifação. A estimativa das taxas de fuga consiste, em síntese, de 1) determinar as possíveis rotas alternativas de cada ponto de cobrança; 2) calcular o custo de oportunidade da rota de fuga, referente a tempo e gasto de combustível adicionais, bem como o valor da tarifa que deixa de ser paga; e 3) calcular a taxa de fuga com base em um modelo de escolha.

No EVTEA, foram analisadas rotas de fugas para as quatro praças previstas. Para aproveitar as análises dos estudos na simulação do *free-flow*, os pórticos dos trechos homogêneos TH3, TH6, TH8 e TH10 foram posicionados no mesmo local das praças no cenário-base. Dessa forma, basta substituir a tarifa das praças pela dos pórticos para se obter a nova estimativa de fugas a partir das planilhas dinâmicas do EVTEA. Para os pórticos dos demais trechos homogêneos, foram usadas as fugas médias dos trechos efetivamente calculados.

Para as fugas modais, é significativa apenas a substituição de automóveis por motos, ônibus e carona (EVTEA BR-101/SC, 2019). No EVTEA, as taxas de fuga modal são parametrizadas em função da tarifa a ser paga, resultado obtido a partir da pesquisa de Preferência Declarada. Desse modo, para o modelo proposto, as taxas de fuga foram selecionadas conforme as tarifas nos novos pontos de cobrança.

Com todos os parâmetros da Equação (2) definidos, foram calculados os VDMA. Em seguida foi necessário convertê-los em eixos equivalentes. As tarifas são diferenciadas por categoria de veículo, para haver proporcionalidade entre a cobrança e o desgaste físico acarretado à rodovia (ANTT, 2019). Para a diferenciação, foram adotados os multiplicadores tarifários da Tabela 2. Assim:

$$VDMAeq_{i,j} = \sum_{k=1}^{12} \lambda_k VDMA_{i,j,k} \quad (4)$$

em que  $\lambda_k$ : Multiplicador tarifário da k-ésima categoria veicular



Por fim, é calculado o momento de transporte, valor que será usado para o cálculo da receita tarifária. O momento de transporte anual é definido como:

$$MT_j = \sum_{i=1}^{10} VDMAeq_{i,j} TC_i \quad (5)$$

em que  $MT_j$ : Momento de transporte no  $j$ -ésimo ano [km veic<sub>eq</sub>/dia]

No trabalho também foram usados o momento de transporte relativo a um ponto de cobrança específico ou aos 30 anos da concessão, com definição análoga à da Equação (5). Com o momento de transporte, é possível calcular a receita tarifária, como será detalhado posteriormente.

### 3.3 Metodologia para os custos do sistema de cobrança

Para o sistema de cobrança, foram considerados pórticos equipados com sistema de Identificação por Radiofrequência (RFID) e com sistema de Reconhecimento Óptico por Caracteres (OCR). No RFID, antenas de curto alcance se comunicam com uma *tag* eletrônica, a mesma usada nas praças de pedágio. No OCR, a sequência alfanumérica da placa do veículo é localizada e lida.

Essa escolha foi feita pois é a mesma do projeto de *free-flow* metropolitano da Rio-BH, já discutido. Dessa forma, o EVTEA da Rio-BH (EVTEA Rio-BH, 2021) foi usado como referência para o dimensionamento e a orçamentação do modelo. O RFID é o sistema primário de identificação, mas a previsão de um sistema secundário como o OCR é importante para garantir que usuários sem a *tag* também sejam identificados e tarifados. Os custos foram distribuídos no ano de concessão pertinente para a correta inclusão no fluxo de caixa.

### 3.4 Metodologia para a inadimplência admissível

A receita tarifária total, auferida a partir do Ano 2, para os 30 anos de concessão, é dada por:

$$R = \sum_{j=2}^{30} (1 - I)(MT_j \times 365)TKM \quad (6)$$

em que  $R$ : Receita tarifária [R\$]

$I$ : Índice de inadimplência [%]

Dessa forma, a metodologia para o cálculo da receita é a mesma do cenário-base, porém com inclusão do parâmetro de inadimplência. O índice de inadimplência se refere à fração não paga da receita ideal, não à fração de usuários inadimplentes. Ainda, deve ser entendido em sentido amplo, para qualquer forma de não pagamento de veículos que atravessem os pórticos de *free-flow*, seja por não serem identificados pelo sistema ou por não pagarem a tarifa ainda que notificados.

Os valores determinados para receita tarifária, CAPEX e OPEX do modelo proposto foram inseridos nas planilhas dinâmicas do EVTEA do cenário-base, em substituição aos valores

correspondentes a este cenário. A inserção foi feita de acordo com a distribuição temporal adotada no EVTEA, isto é, para cada ano da concessão. Dessa maneira, o fluxo de caixa é automaticamente recalculado para o modelo proposto.

Em geral, com o uso de um índice de inadimplência arbitrário na Equação (6), o equilíbrio econômico-financeiro não será verificado. Em um processo iterativo, o índice de inadimplência foi alterado até a obtenção da TIR de 9,2% com a tarifa quilométrica de R\$ 0,09411/km, quando corresponde ao índice de inadimplência admissível, objetivo do estudo.

## 4 DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

### 4.1 Proporcionalidade tarifária no cenário-base

Para a análise da proporcionalidade tarifária, são considerados como trajetos possíveis somente cada par dos trechos homogêneos de entrada e de saída. O sentido Sul–Norte ou Norte–Sul é indiferente, o que resulta nos 55 trajetos mostrados na Figura 2. Para cada trajeto, é mostrada a tarifa quilométrica real para o cenário-base e a diferença entre o valor pago nesse cenário e o valor pago caso a cobrança fosse feita conforme os trechos homogêneos percorridos.

	TH 1	TH 2	TH 3	TH 4	TH 5	TH 6	TH 7	TH 8	TH 9	TH 10
TH 1	0,00 -2,66	0,00 -3,54	0,0770 -1,15	0,0620 -2,68	0,0574 -3,31	0,0976 +0,37	0,0690 -3,77	0,0930 -0,19	0,0813 -2,45	0,0941 0,00
TH 2		0,00 -0,88	0,1330 +1,52	0,0938 -0,02	0,0836 -0,65	0,1330 +3,03	0,0850 -1,11	0,1119 +2,48	0,0954 +0,22	0,1080 +2,66
TH 3			0,1746 +2,39	0,1127 +0,86	0,0984 +0,23	0,1510 +3,91	0,0920 -0,24	0,1199 +3,35	0,1012 +1,09	0,1135 +3,54
TH 4				0,00 -1,53	0,00 -2,16	0,1330 +1,52	0,0625 -2,63	0,1037 +0,96	0,0836 -1,30	0,1016 +1,15
TH 5					0,00 -0,63	0,2284 +3,05	0,0777 -1,09	0,1239 +2,49	0,0963 +0,24	0,1137 +2,68
TH 6						0,3240 +3,68	0,0864 -0,46	0,1347 +3,12	0,1027 +0,87	0,1196 +3,31
TH 7							0,00 -4,14	0,0850 -0,56	0,0610 -2,81	0,0909 -0,37
TH 8								0,3050 +3,59	0,1265 +1,33	0,1479 +3,77
TH 9									0,00 -2,26	0,0977 +0,19
TH 10										0,1782 +2,45

Legenda

TKM real [R\$/km]

Sobre (+) ou sub (-) tarifação [R\$]

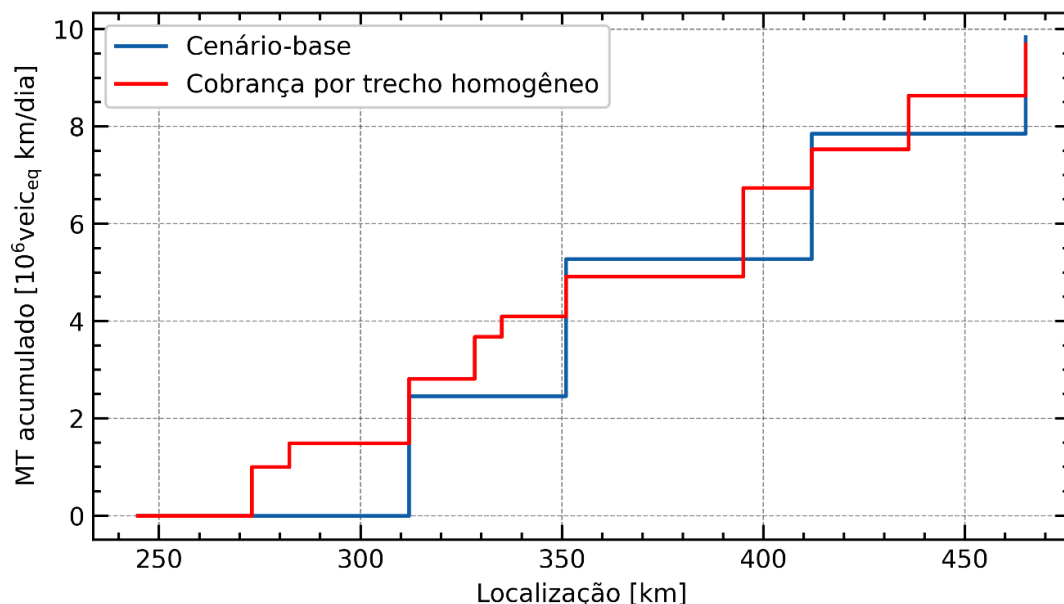
**Figura 2:** Pares entrada-saída do lote rodoviário. O primeiro valor é a TKM real no cenário-base; o segundo valor é o que o usuário com automóvel subsidia (+) ou é subsidiado (-).

Somente o usuário que percorre todo o lote rodoviário paga a tarifa quilométrica nominal de R\$ 0,0941/km. O tom azulado indica usuários subsidiados pelo sistema, enquanto o avermelhado

indica usuários que o subsidiam. São destacados dois exemplos extremos: o usuário do trajeto TH3–TH6 passa por duas praças de pedágio e subsidia o sistema em R\$ 3,91; já o usuário do TH7 percorre 44 km sem pagar os R\$ 4,41 correspondentes. Em termos relativos, o usuário do TH6 paga a maior tarifa por quilômetro rodado, R\$ 0,3240/km, valor 244% superior à tarifa quilométrica nominal. Em geral, os usuários que iniciam sua viagem em um trecho com praça, isto é, residem perto de uma, pagam uma tarifa quilométrica superior aos demais.

Ainda, é evidente que a cobrança por trecho homogêneo traria novos usuários ao sistema, que no cenário-base trafegavam apenas entre praças. Entretanto, isso não leva a um aumento equivalente na receita tarifária. Como um dos objetivos do *free-flow* é promover a cobrança proporcional à distância percorrida, parte ou toda a receita adicionada pelos novos usuários deve ser usada para desonerar os usuários que subsidiavam o sistema. O momento de transporte é o parâmetro que permite a comparação do potencial de arrecadação de modelos com trechos de cobertura distintos.

Para o caso concreto da BR-101/SC, a Figura 3 mostra o momento de transporte de 2015 no cenário-base e no cenário com cobrança por trecho homogêneo, sem consideração de fugas, desvios ou inadimplência. De fato, o momento de transporte associado ao cenário-base é 1,6% maior do que da cobrança por trecho homogêneo. Com a consideração das fugas e desvios, feita na seção seguinte, é possível que o momento de transporte do modelo proposto supere o do cenário-base. Porém, por pelo aumento da demanda pela rodovia, não pela tarifação dos usuários antes não interpelados por praças.



**Figura 3:** Momento de transporte acumulado para o cenário-base e cobrança por trecho homogêneo, sem fugas, 2015. O momento de transporte é adicionado ao final do respectivo trecho homogêneo.

## 4.2 Momento de transporte do modelo proposto

A cobrança por trecho homogêneo, ao aumentar o número de pontos de cobrança, dispersa a cobrança de tarifa, com um valor reduzido em cada pórtico, como mostrado na Tabela 3. Dessa forma, em geral, o benefício obtido pelo usuário ao usar uma rota de fuga ou migrar para outro modo de transporte é menor, enquanto o custo de fazê-lo permanece o mesmo. Portanto, a expectativa é de aumento no momento de transporte decorrente da diminuição das taxas de fuga.

**Tabela 3:** Distribuição das tarifas na cobrança por trecho homogêneo

Cenário	Tarifa cobrada no trecho homogêneo [R\$]									
	TH1	TH2	TH3	TH4	TH5	TH6	TH7	TH8	TH9	TH10
Cenário-base	-	-	5,19	-	-	5,19	-	5,19	-	5,19
Cobrança por TH	2,66	0,88	2,80	1,53	0,63	1,51	4,14	1,60	2,26	2,74

A redução das fugas localizadas é especialmente desejada porque, ao contrário do que ocorre nas fugas modais e desvios, o usuário que usa uma rota de fuga trafega pelo trecho concedido sem pagar tarifa. A aplicação das tarifas da Tabela 3 no modelo de fugas localizadas do EVTEA levou às taxas mostradas na Tabela 4, que também mostra as taxas do cenário-base para comparação.

**Tabela 4:** Fugas localizadas consideradas no cenário-base e estimadas para o cenário de cobrança por trecho homogêneo

TH	Fuga localizada [%]													
	Moto		Auto		Caminhão (2 eixos)		Caminhão (3 eixos)		Caminhão (4 eixos)		Caminhão (5 eixos)		Caminhão (6+ eixos)	
	CB*	CTH**	CB	CTH	CB	CTH	CB	CTH	CB	CTH	CB	CTH	CB	CTH
TH1	-	1,4	-	3,5	-	3,9	-	3,1	-	2,2	-	1,2	-	0,6
TH2	-	1,4	-	3,5	-	3,9	-	3,1	-	2,2	-	1,2	-	0,6
TH3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TH4	-	1,4	-	3,5	-	3,9	-	3,1	-	2,2	-	1,2	-	0,6
TH5	-	1,4	-	3,5	-	3,9	-	3,1	-	2,2	-	1,2	-	0,6
TH6	4,6	1,7	10,8	4,3	11,3	4,8	9,1	3,9	6,4	2,7	3,4	1,4	1,7	0,7
TH7	-	1,4	-	3,5	-	3,9	-	3,1	-	2,2	-	1,2	-	0,6
TH8	4,0	1,6	9,5	3,8	10,1	4,3	8,2	3,5	5,8	2,5	3,0	1,3	1,6	0,7
TH9	-	1,4	-	3,5	-	3,9	-	3,1	-	2,2	-	1,2	-	0,6
TH10	2,5	2,3	6,2	5,8	6,7	6,3	5,4	5,1	3,8	3,6	2,0	1,9	1,0	1,0

\*CB: cenário-base

\*\*CTH: cobrança por trecho-homogêneo

De forma semelhante, a Tabela 5 mostra as taxas de fuga modal para a cobrança por trecho homogêneo, com base nas tarifas da Tabela 3, e para o cenário-base. Houve redução expressiva principalmente na fuga para ônibus.

**Tabela 5: Fuga modal dos automóveis**

TH	Fuga modal [%]					
	Para moto		Para ônibus		Para carona	
	CB*	CTH**	CB	CTH	CB	CTH
TH1	-	2,79	-	5,48	-	0,21
TH2	-	-	-	-	-	-
TH3	3,62	2,79	7,33	5,48	0,21	0,21
TH4	-	1,03	-	1,14	-	-
TH5	-	-	-	-	-	-
TH6	3,62	1,03	7,33	1,14	0,21	-
TH7	-	3,79	-	11,69	-	0,11
TH8	3,79	1,52	11,69	4,33	0,11	-
TH9	-	2,81	-	8,33	-	0,11
TH10	3,79	2,81	13,31	8,33	0,11	0,11

\*CB: cenário-base

\*\*CTH: cobrança por trecho-homogêneo

Com as novas taxas de fuga localizada e modal, é possível fazer a projeção do tráfego com base na Equação (3) e calcular o momento de transporte a partir da Equação (5). Feito isso, foi obtido um momento de transporte, de todos os pontos de cobrança ao longo dos 30 anos de concessão, 3,6% maior no cenário com cobrança por trecho homogêneo em relação ao cenário-base.

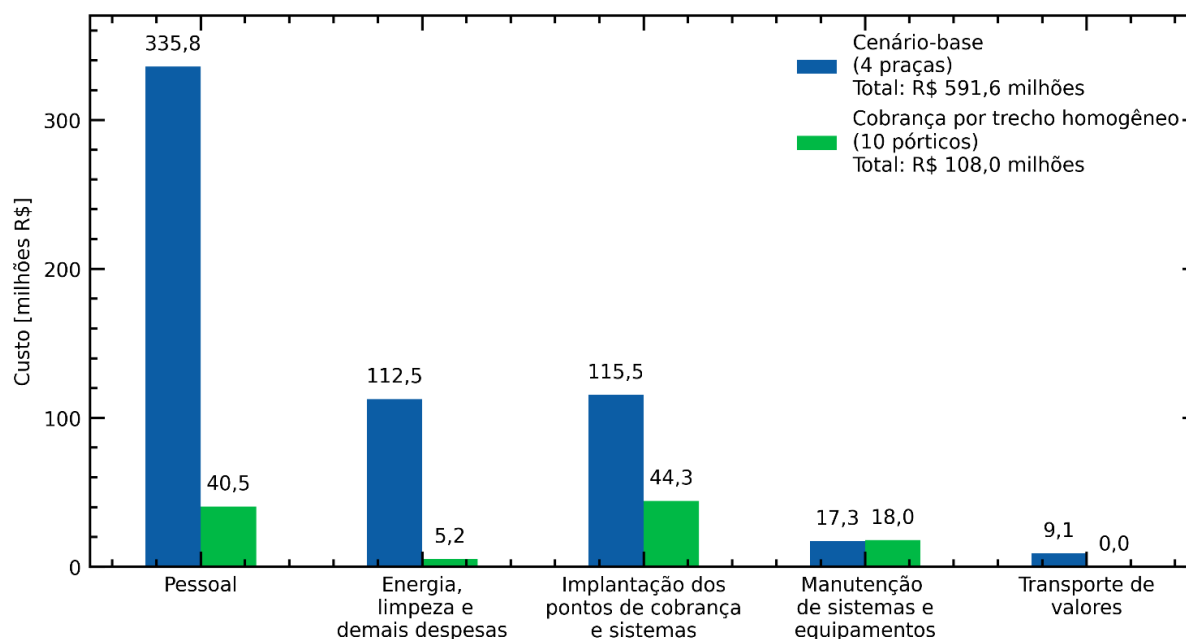
Barbosa (2013) obteve um aumento de 2% no momento de transporte em estudo de caso para a concessão estadual da MG-050, com a mesma premissa de cobrança por trecho homogêneo. Entretanto, ele realizou uma simulação computacional da malha rodoviária.

### 4.3 Custos do sistema de cobrança proposto

O sistema de cobrança do cenário-base tem um custo de R\$ 592 milhões, correspondente a cerca de 15% do OPEX e a 8% do custo total (OPEX + CAPEX) da concessão (EVTEA BR-101/SC, 2019). Dessa forma, uma parcela considerável da receita arrecadada é destinada ao próprio sistema de arrecadação, sem se reverter em obras e serviços para o usuário.

Cerca de 57% dos custos do modelo do cenário-base são destinados ao pagamento de pessoal, isto é, supervisores e controladores de pedágio, auxiliares de pista, conferentes e arrecadadores. No total, são 254 funcionários mobilizados para o funcionamento das praças. Outro item importante é a implantação das edificações, com cada praça a um custo médio de R\$ 25,9 milhões. Custos operacionais gerais incluem energia, limpeza, material de informática, dentre outros. Há ainda custos com a manutenção de sistemas e equipamentos e custos com transporte de valores.

Os custos do sistema de cobrança por *free-flow* proposto foram estimados em R\$ 108 milhões, uma redução de 82% em relação ao cenário-base. A comparação por item entre os dois modelos é mostrada na Figura 3.



**Figura 1:** Comparação entre os custos do sistema de cobrança do cenário-base e do cenário com cobrança por trecho homogêneo. Data-base: 2019

A Tabela 6 mostra o dimensionamento dos itens de implantação e manutenção do sistema. Além da estrutura dos pórticos e dos equipamentos de identificação do veículo, são previstos painéis eletrônicos de mensagem, para informar o usuário sobre a tarifação. Com a adoção dos mesmos critérios da Rio-BH (EVTEA Rio-BH, 2021), foi considerada a reposição completa do sistema a cada dez anos, e um custo anual de manutenção de 4,2% do valor de aquisição. A data-base dos itens da Rio-BH usados é dois meses posterior à data-base BR-101/SC, assim correções na cotação por índices inflacionários foram dispensadas.

**Tabela 6:** Cotação para as estruturas e sistemas a serem implementados no *free-flow*. Data-base: outubro/2019.

Item	Custo de aquisição* [R\$]	Dimensionamento	Custo anual de manutenção [%]	Aquisição	Reposição
Pórtico para <i>free-flow</i> (estrutura)	72.000,00	1 por ponto de cobrança	4,2	Ano 1	Anos 11 e 21
Sistemas para <i>free-flow</i> (câmeras, sensores etc.)	997.933,64	1 por ponto de cobrança	4,2	Ano 1	Anos 11 e 21
Painel de Mensagem Variável com pórtico	405.899,00	1 por ponto de cobrança	4,2	Ano 1	Anos 11 e 21

\*Fonte: Rio-BH (2021)

Para o modelo operacional, foram estabelecidas as funções de supervisor de pedágio e agente de verificação de imagens, conforme mostrado na Tabela 7. A função de supervisor de pedágio é a

mesma prevista para o modelo de praças. Para o agente de verificação de imagens, foram considerados os mesmos salário e encargos da função atendente da BR-101/SC.

**Tabela 7:** Estimativa de salário e encargos para os funcionários do *free-flow*. Data-base: agosto/2019.

Função	Custo mensal por funcionário [R\$]	Dimensionamento	Turnos (8 h)	Multiplicador de férias e ausências
Supervisor de pedágio	18.704,41	1 a cada 200 km	1	1
Agente de verificação de imagens	3.435,87	1 posto por turno a cada 2 pontos de cobrança	3	1,47

No *free-flow* não há custos com transporte de valores. Para os custos operacionais diversos (energia, limpeza, dentre outros), foi adotado um critério de proporcionalidade com o cenário-base, que tem um custo médio de R\$ 62.942,00 por funcionário. O mesmo valor foi usado para o número reduzido de funcionários do modelo proposto. Os custos com manutenção, funcionários e demais despesas operacionais se aplicam do Ano 2 até o Ano 30.

#### 4.4 Inadimplência admissível

O modelo de *free-flow* proposto para a BR-101/SC é sintetizado na Tabela 8.

**Tabela 8:** Modelo de *free-flow* proposto para a BR-101/SC

TH	Ponto de cobrança	Localização [km]	Trecho de cobertura [km]	Tarifa [R\$]	MT em 2020 [10 <sup>6</sup> km veic <sub>eq</sub> /dia]
TH 1	PFF 1*	-	28,3	2,66	0,883
TH 2	PFF 2	-	9,3	0,88	0,462
TH 3	PFF 3	298	29,7	2,80	1,205
TH 4	PFF 4	-	16,3	1,53	0,808
TH 5	PFF 5	-	6,7	0,63	0,401
TH 6	PFF 6	446	16,0	1,51	0,756
TH 7	PFF 7	-	44,0	4,14	1,561
TH 8	PFF 8	408	17,0	1,60	0,720
TH 9	PFF 9	-	24,0	2,26	0,985
TH 10	PFF 10	460	29,1	2,74	0,886

\*PFF: Pórtico de *free-flow*

Conforme descrito na metodologia, o momento de transporte e os custos do sistema de cobrança, calculados nas seções anteriores, foram inseridos na planilha de modelagem econômico-financeira da BR-101/SC em substituição aos valores correspondentes do cenário-base. A inadimplência foi inserida conforme a Equação (6). Após algumas iterações para diferentes índices de inadimplência, o equilíbrio econômico-financeiro foi atingido. Finalmente, o índice de inadimplência admissível encontrado foi de 10,9%.

Desse modo, para o modelo *free-flow* proposto, a inadimplência de 10,9% é a máxima inadimplência que permite a manutenção da TIR de 9,2% sem a necessidade de fixar a tarifa quilométrica acima de R\$ 0,09411/km. Essa estimativa do índice de inadimplência admissível é útil para nortear as decisões do poder concedente e do concessionário. Para o estudo de caso, a política de *enforcement* deve ser capaz de manter os índices de inadimplência abaixo de 10,9% para garantir a viabilidade do projeto, sem prejudicar o concessionário, com diminuição da TIR, ou o usuário, com aumento da tarifa.

Nesse sentido, o índice de inadimplência para o *free-flow* chileno de 7,4% (VASALLO *et al.*, 2020) e para o pagamento do IPVA em São Paulo de 9,3% (SEFAZ-SP, 2022), apresentados na Introdução, ajudam a entender se um índice de inadimplência admissível é ou não factível. Para o estudo de caso, em que a inadimplência admissível foi estimada em um valor ligeiramente maior do que os dois casos citados anteriormente, há potencial de implantação exitosa do modelo *free-flow* proposto. Entretanto, há pouca margem de aumento acima do índice de 9,3% do IPVA em São Paulo, por exemplo.

Por fim, a inadimplência admissível estimada de 10,9% deve ser entendida no contexto das premissas e limitações do estudo de caso. Os valores considerados aceitáveis para a TIR e a tarifa quilométrica foram, simplesmente, por serem os usados no EVTEA da concessão da mesma BR-101/SC, mas com um modelo de praças. Outros valores mais convenientes poderiam ser considerados, com impacto na inadimplência admissível.

Ainda, deve ser enfatizada a limitação da metodologia usada para o tráfego, em que não foi usado *software* específico para simulação da malha rodoviária, como ocorre na maioria dos EVTEA de concessões mais recentes. No próprio EVTEA da BR-101/SC, entretanto, essa simulação não é feita com a justificativa que a simplicidade da malha rodoviária permite a análise isolada de um número pequeno de rotas de fuga e desvio. No estudo de caso, a mesma premissa foi adotada. Para estudos semelhantes em malhas rodoviárias mais complexas, ou ainda, para um estudo mais detalhado da BR-101/SC, a simulação sistêmica do tráfego é recomendada.

Mesmo desconsideradas essas limitações, deve ficar claro que o estudo de caso se refere ao caso específico da BR-101/SC. As particularidades de cada lote rodoviário certamente resultarão em valores diferentes de inadimplência admissível para a mesma metodologia. Dito isso, o trabalho não tem a pretensão de fornecer uma inadimplência admissível definitiva ou universal, mas sim de fomentar o uso da metodologia proposta para análise de viabilidade do *free-flow* com base no conceito de inadimplência admissível.



## 5 CONCLUSÕES

Com o estudo de caso, foi possível estimar a inadimplência admissível de 10,9% para o modelo de *free-flow* com cobrança por trecho homogêneo proposto para a BR-101/SC. O comprometimento da proporcionalidade tarifária com o modelo de praças foi mostrado quantitativamente pela análise da tarifa quilométrica real para as viagens mais frequentes da rodovia. O momento de transporte e os custos do sistema de cobrança puderam ser comparados com os do cenário-base de praças de pedágio. Foi estimado um aumento de 3,6% no momento de transporte, devido à melhor distribuição das tarifas ao longo dos pontos de cobrança, e uma redução de 82% nos custos do sistema de cobrança, devido ao menor número de funcionários e eliminação de edificações. Após a atualização do fluxo de caixa da BR-101/SC pelos valores calculados, foi possível determinar que a inadimplência de 10,9% é a que resulta na TIR de 9,2% com a TKM de R\$ 0,09411/km, conforme estabelecido como premissa.

Como detalhado, a inadimplência do *free-flow* no Chile do de IPVA no Estado de São Paulo são ambas ligeiramente inferiores a 10%. A inadimplência admissível de 10,9% encontrada, quando confrontada com esse valor de 10%, sugere que a implementação do modelo proposto, em tese, é viável sob as premissas adotadas, mas com pouca margem para exceder os índices dos dois exemplos citados. Dessa forma, a discussão levantada reforça a importância de a eventual implantação de um modelo de *free-flow* puro ser precedida de um sistema de divulgação e *enforcement* robustos. Com estudos sobre a inadimplência admissível como o aqui apresentado, a definição de uma inadimplência-alvo para esse sistema pode ser facilitada.

As limitações do estudo, quanto à especificidade para as premissas adotadas e para as características da BR-101/SC devem ser destacadas. Para trabalhos futuros, a metodologia pode ser aperfeiçoada com a simulação computacional completa da malha rodoviária, para que o efeito no momento de transporte seja capturado com maior precisão. Ainda, o estudo pode ser reproduzido para outros lotes rodoviários, com a finalidade de entender quais trechos são mais propícios para a implantação do *free-flow* puro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, G. S. **Estudo do impacto do pedágio no aumento do tempo de viagem, no consumo de combustível e na emissão de poluentes** (Dissertação de mestrado). Universidade de São Paulo, 2010.

ANTT. **Estudo internacional de contratos de concessão rodoviária**. Agência Nacional de Transportes Terrestres. 2021.

ARTESP. Pedágios: **Sistema Ponto a Ponto**. Disponível em: <<http://www.artesp.sp.gov.br/Style%20Library/extranet/rodovias/sistema-ponto-a-ponto.aspx>>. Acesso em: 31 de jan. de 2022. 2022.

BARBOSA, S. H. **Rodovias de pedágio aberto ou free-flow: perspectivas para implantação no Brasil**. Orientador: Ronaldo Guimarães Gouvêa. 2013. 103 f. (Dissertação de mestrado) – Mestrado em Geotecnia e Transportes, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais. 2013.

CARDOSO, G., SALCEDA, J. A., & DO CANTO CAPAGIO, A. **Pedágio por distância percorrida e equidade tarifária**. 33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET, Balneário Camboriú. 2019.

CNT. **Novas tecnologias de pagamento de pedágio**. Transporte em Movimento. 2020.

DNIT. **Manual de estudos de tráfego**. Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre. Rio de Janeiro. 2006.

EVTEA BR-101/SC. **Estudos de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental, BR-101/SC**. Empresa de Planejamento e Logística. Versão do edital de concessão, referente ao Edital de Concessão nº 02/2019. Disponível em <<https://portal.antt.gov.br/edital-de-concessao-02-2019>>. Acesso em 1 de junho de 2022. 2019.

EVTEA Rio-BH. **Estudos de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental, BR-040/495/RJ**. Empresa de Planejamento e Logística. Versão pós-audiência pública, referente à Audiência Pública nº 07/2021. Disponível em <<https://participantt.antt.gov.br/Site/AudienciaPublica/VisualizarAvisoAudienciaPublica.aspx?CodigoAudiencia=463>>. Acesso em 1 de junho de 2022. 2021.

SEFAZ-SP. Novo método de cobrança minimiza inadimplência do **IPVA 2021** e rende R\$ 300 milhões extras para Estado e municípios. Disponível em: < [https://portal.fazenda.sp.gov.br/Noticias/Paginas/Novo-m%C3%A9todo-de-cobran%C3%A7a-minimiza-inadimpl%C3%Aancia-do-IPVA-2021-e-rende-R\\$-300-milh%C3%B5es-extras-para-Estado-e-munic%C3%ADpios.aspx](https://portal.fazenda.sp.gov.br/Noticias/Paginas/Novo-m%C3%A9todo-de-cobran%C3%A7a-minimiza-inadimpl%C3%Aancia-do-IPVA-2021-e-rende-R$-300-milh%C3%B5es-extras-para-Estado-e-munic%C3%ADpios.aspx) >. Acesso em 1 de junho de 2022. 2021.

SEFAZ-SP. Acesso à informação. **Índice de inadimplência – IPVA**. Disponível em: < <https://portal.fazenda.sp.gov.br/acessoinformacao/Paginas/%C3%8Dndice-de-inadimpl%C3%Aancia---IPVA.aspx>>. Acesso em 1 de junho de 2022. 2022.

VASALLO, J. M., HERAS-MOLINA, J., GARRIDO, L., & GOMEZ, J. **Urban toll highway concession system in Santiago, Chile**: Lessons learned after 15 years. Journal of Infrastructure Systems, 26(2), 05020004. 2020.