



CADERNO DE TRABALHOS VENCEDORES

2º Prêmio Melhores Rodovias do Brasil
Contribuição Científica

REALIZAÇÃO



PATROCÍNIO



ÍNDICE

I. APRESENTAÇÃO	3
II. CATEGORIA 1	4
<i>Inovações jurídico regulatórias em prol da sustentabilidade econômica dos contratos</i>	
1º LUGAR	5
<i>Proposta de otimização de categorias tarifárias em concessões de rodovias</i>	
2º LUGAR	23
<i>Avaliação dos impactos tarifários da implantação do sistema free-flow em rodovia federal</i>	
3º LUGAR	44
<i>Análise de impacto regulatório na solução de concessões em crise</i>	
III. CATEGORIA 2	65
<i>Benefícios das ações de sustentabilidade nas concessões de rodovias</i>	
1º LUGAR	66
<i>Impactos econômicos e de segurança nas estradas de investimentos em infraestrutura: evidências para uma concessão de rodovias estadual</i>	
2º LUGAR	95
<i>Uma análise sobre os impactos socioambientais e a política de sustentabilidade das novas concessões de rodovias no Brasil</i>	
3º LUGAR	117
<i>Utilização de reclaimed asphalt pavement e plástico reciclado em misturas asfáticas sustentáveis</i>	

APRESENTAÇÃO

É com muita satisfação que apresentamos os vencedores da 2ª edição do Prêmio Melhores Rodovias do Brasil – Contribuição Científica. Criado em 2022 pela Melhores Rodovias do Brasil – ABCR (Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias), o prêmio reflete o compromisso de fomentar a pesquisa e a inovação no setor de concessões de rodovias no Brasil.

Neste ano, em especial, os trabalhos submetidos dialogaram de forma direta com o tema central da Bienal das Rodovias 2024: “O caminho da sustentabilidade”. Os autores participantes não apenas abordaram soluções inovadoras e práticas para a sustentabilidade econômica dos contratos de concessão, mas exploraram a importância do engajamento da sociedade e das melhores práticas para a resiliência da infraestrutura no País. A qualidade dos trabalhos, a riqueza de ideias e a originalidade das abordagens evidenciam o papel fundamental que a pesquisa científica desempenha na construção de um futuro mais sustentável para as rodovias brasileiras.

O alto nível e a profundidade das análises realizadas não só contribuem para o avanço da sustentabilidade e da regulação do setor, como enriquecem o debate em torno dos desafios e oportunidades que permeiam a infraestrutura rodoviária nacional.

Parabenizamos todos os participantes e, em especial, os vencedores desta edição. Suas contribuições são essenciais para que possamos, juntos, trilhar um caminho de desenvolvimento sustentável, responsável e técnico. Que este prêmio sirva como um incentivo contínuo para todos que se dedicam ao estudo e desenvolvimento do setor.

Marco Aurélio Barcelos
Diretor-presidente da
Melhores Rodovias do Brasil - ABCR



Categoria I

INOVAÇÕES JURÍDICO REGULATÓRIAS EM PROL DA SUSTENTABILIDADE ECONÔMICA DOS CONTRATOS

PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO DE CATEGORIAS TARIFÁRIAS EM CONCESSÕES DE RODOVIAS

RESUMO

Categorias tarifárias são classificações dadas a diferentes tipos veiculares em concessões de rodovias que visam o pagamento diferenciado da tarifa pelo usuário conforme o porte veicular.

Usualmente, as concessões brasileiras utilizam dez categorias, desconsiderando os veículos isentos de pagamento. A fim de facilitar o entendimento das categorias aos usuários com potencial de melhorias socioeconômicas, este artigo realizou um exercício hipotético de redução da quantidade para apenas quatro: “Passeios e Utilitários”, “Intermediários, “Pesados” e “Superpesados”.

Como resultados, verificou-se ser razoável a adoção dos pesos tarifários igual a “1,00”, “2,86”, “6,00” e “8,00”, respectivamente, às novas categorias adotadas, preservando a arrecadação da receita ao concessionário.

AUTORES

Ademir da Guia Costa Oliveira, Stéphane Louis Georges Quebaud, Felipe Mesquita, Soraia Fucina Amaral, Nylton Mario Ramos Valença Junior, Fernanda de Godoy Penteado, Viviane Esse

1º LUGAR

Categoria I

**INOVAÇÕES JURÍDICO
REGULATÓRIAS EM PROL DA
SUSTENTABILIDADE ECONÔMICA
DOS CONTRATOS**

PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO DE CATEGORIAS TARIFÁRIAS EM CONCESSÕES DE RODOVIAS

1. INTRODUÇÃO

Categorias tarifárias são classificações dadas a diferentes tipos veiculares em concessões de rodovias que visam o pagamento diferenciado da tarifa pelo usuário conforme o porte veicular.

Usualmente, as concessões brasileiras utilizam dez categorias, desconsiderando os veículos isentos de pagamento. A fim de facilitar o entendimento das categorias aos usuários com potencial de melhorias socioeconômicas, este artigo realizou um exercício hipotético de redução da quantidade para apenas quatro: “Passeios e Utilitários”, “Intermediários, “Pesados” e “Superpesados”.

Como resultados, verificou-se ser razoável a adoção dos pesos tarifários igual a “1,00”, “2,86”, “6,00” e “8,00”, respectivamente, às novas categorias adotadas, preservando a arrecadação da receita ao concessionário.

2. OBJETIVOS

As rodovias brasileiras são responsáveis por mais de 60% de todas as cargas movimentadas em seu território, garantem o emprego de 1,5 milhão de pessoas e representam entre 6% e 7% do nosso Produto Interno Bruto (PIB) (BRASIL, 2022). Entretanto, diante de cenários de restrição orçamentária e outras dificuldades enfrentadas pelo país, nem sempre as rodovias recebem investimentos compatíveis com os níveis de serviço suportados (CNI, 2021).

Desse modo, as concessões podem permitir a melhoria da qualidade da malha rodoviária, além de propiciar maior segurança viária e desenvolvimento socioeconômico ao país. Com efeito, tais concessões são capazes de gerar benefícios econômicos que podem superar o custo da tarifa de pedágio aos transportadores (TORRES *et al*, 2017).

Contudo, considerando que o custo de transporte é o maior custo isolado da cadeia logística (LISZBINSKI; BRITO; CUNHA, 2013), sem prejuízo à necessidade de maior diversificação e equilíbrio de modais, este custo ainda pode ser considerado alto no Brasil, quando comparado a outros países (GOMES, ALBANEZ, 2017).

Para fins de exemplo, para cada tonelada de soja exportada, *commodity* mais exportada pela maioria dos estados brasileiros em 2023 (BRASIL, 2024), o custo de transporte nos

Estados Unidos, principal competidor brasileiro no mercado da oleaginosa, representou apenas 9,74%, enquanto no Brasil representou 64,26% (BRASIL, 2022). Na composição deste custo, o valor do pedágio pode ainda corresponder a 8,6% do valor do frete (TORRES *et al*, 2017).

Em análise à composição e metodologias de cálculo da tarifa de pedágio brasileira, verifica-se que esta se relaciona à quantidade de eixos e ao tipo veicular do usuário, que usualmente compõem dez categorias tarifárias, desconsiderando veículos isentos de pagamento (BRASIL, 2023a). Em países como a França, por exemplo, há apenas cinco categorias (incluindo as motocicletas, triciclos e quadriciclos) (AUTOROUTES.FR, 2023). Em Illinois, nos Estados Unidos, há apenas quatro categorias (automóveis e motocicletas, veículos comerciais leves, médios e pesados) (ILLINOIS TOLLWAY, 2024).

No Brasil, o alto custo do transporte e a grande diversidade de categorias tarifárias pode servir de estímulo ao transportador à movimentação de uma maior quantidade de carga no menor número de eixos possível, buscando sempre a categoria com valor imediatamente inferior, com aumento da possibilidade do comprometimento da segurança do seu veículo e, consequentemente, da segurança viária de todos, em um contexto em que, nas áreas de escape, majoritariamente utilizadas por veículos pesados, já foi alcançada a marca de 2 mil vidas salvas no país até 2023 (ABCR, 2023), tornando evidente o alto risco de acidentes em todos os outros locais onde esses dispositivos não estão presentes.

Em relação ao aumento da carga pontual ao pavimento gerado por veículos com sobrecarga, a redução na vida útil do pavimento guarda relação exponencial com o excesso de peso dos veículos e, uma sobrecarga de apenas 2% implica em uma destruição 8% maior ao pavimento. Caso a sobrecarga passe a 4%, a destruição passa a 17%. Por sua vez, uma sobrecarga de 20%, mais que dobra a sua destruição (BORGES, 2012). Em vias concedidas, um maior custo de manutenção poderia, ainda, refletir no aumento do custo do pedágio ao usuário.

Assim, os objetivos específicos desse artigo são:

- a) Realizar um exercício hipotético de redução da quantidade de categorias tarifárias para apenas quatro: “Passeio e Utilitários”, “Intermediários”, “Pesados” e “Superpesados” para cinco projetos em estágios avançados de estruturação;
- b) Realizar simulações em projetos de parceria federais para definição de multiplicadores de tarifa para cada categoria sem grandes impactos tarifários para o usuário com a manutenção da receita total do concessionário.

Entende-se que a proposta pode permitir ganhos socioeconômicos, tais como:

- a) Facilitar o entendimento da variabilidade de tarifas pelo usuário, sobretudo em rodovias com *free-flow*, para as quais, apesar das sinalizações informativas, continua com uma cobrança tarifária equivalente ao cobrado em praças tradicionais;
- b) Desestimular os usuários a utilizarem veículos com pesos e perfis incompatíveis à carga máxima suportada por seus eixos, com possibilidade de gerar maior segurança viária e diminuir altos custos de acidentes em cadeia, sobretudo em municípios sem adequada infraestrutura hospitalar, bem como de diminuir a emissão de poluentes;
- c) Estimular a utilização de veículos com maior quantidade de eixos e menor carga pontual ao pavimento, uma vez que estes poderiam ter menor relação de custo do pedágio por carga movimentada em relação a um veículo menor da mesma categoria;
- d) Diminuir impasses jurídicos relativos a eixos suspensos, uma vez que os veículos já poderiam pagar valor intermediário entre os atuais valores com e sem os eixos suspensos;
- e) Diminuir o número de altas cargas pontuais ao pavimento, com vistas à otimização do valor de manutenção;
- f) Otimizar a leitura dos veículos nos sistemas de leitura automática, que poderá gerar menos falhas do que em um sistema com uma quantidade maior de categorias, ainda agravada pela necessidade de leitura de eixos suspensos.

3. MÉTODOS

As quatro novas categorias tarifárias substitutivas das dez categorias usualmente adotadas foram encontradas por meio de simulações realizadas em planilha eletrônica que gerassem o menor impacto tarifário em relação às categorias iniciais.

Para tanto, foi realizado o procedimento descrito a seguir:

- a) Levantamento de dados de categorias tarifárias, volume em eixo-equivalente e valor de face tarifário de cinco projetos de parceria, nos quais foram coletados dados de volume de tráfego e a respectiva receita estimada de projetos da denominada “4ª etapa” de concessões de rodovias federais;
- b) Realização de simulações mediante (i) redução inicial das dez categorias, denominado de “cenário base”, para apenas quatro, agrupadas sem alteração da receita em cada categoria, a fim de não alterar a receita final do concessionário (ii) verificação das categorias e

projetos isolados que tiveram grandes impactos tarifários; (iii) definição dos impactos tarifários máximos, a fim de desconsiderar resultados com grandes impactos tarifários isolados e (iv) alterações dos “multiplicadores de tarifa” em processos iterativos, visando menores impactos às categorias e criação de novo “cenário derivado” e (v) escolha do melhor conjunto de “multiplicadores de tarifa” que atendessem a tais critérios.

4. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

A exemplo dos contratos de concessões rodoviárias federais vigentes, desconsiderando as tipologias isentas de pagamento, de modo geral são adotadas dez categorias tarifárias, discriminadas conforme o número de eixos do veículo, conforme exposto na Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação federal para as categorias tarifárias.

Categoria	Tipos de Veículos	Número de Eixos	Rodagem	Multiplicador de Tarifas
1	Automóveis, caminhonete e furgão	2	Simples	1,0
2	Caminhão leve, ônibus, caminhão-trator e furgão	2	Dupla	2,0
3	Automóveis e caminhonete com semirreboque	3	Simples	1,5
4	Caminhão, caminhão-trator, caminhão trator com semirreboque e ônibus	3	Dupla	3,0
5	Automóvel e caminhonete com reboque	4	Simples	2,0
6	Caminhão com reboque, caminhão-trator com semirreboque	4	Dupla	4,0
7	Caminhão com reboque, caminhão-trator com semirreboque	5	Dupla	5,0
8	Caminhão com reboque, caminhão-trator com semirreboque Caminhão com reboque, caminhão-trator com semirreboque	6	Dupla	6,0
9	Caminhão com reboque, caminhão-trator com semirreboque	7	Dupla	7,0
10	Caminhão com reboque, caminhão-trator com semirreboque	8	Dupla	8,0
11	Motocicletas, motonetas, triciclos e bicicletas moto	-	-	-
12	Ambulâncias, veículos oficiais e do Corpo Diplomático	-	-	-

Fonte: Contrato da BR-116/101/RJ/SP (BRASIL, 2023b)

Com base nessas categorias, cada usuário pode pagar a tarifa de pedágio conforme o

tipo de seu veículo, proporcionalmente ao “multiplicador de tarifa” apresentado. Ainda, caso o veículo possua mais de 8 eixos, é utilizado o valor da categoria 10 (de oito eixos) acrescido do resultado da multiplicação entre o multiplicador de tarifa correspondente à categoria “1” e o número de eixos do veículo que excederem a oito eixos.

Em fase de projeto, para fins de simplificação de cálculo e levantamento da receita estimada ano a ano, tais “multiplicadores de tarifa” são utilizados como “fatores de equivalência de eixo” na contagem do volume total de veículos considerados. Desse modo, a receita tarifária projetada para cada praça de pedágio pode ser encontrada pelo mero produto entre o “Volume de Veículos Equivalentes” (V_{eq}) e a tarifa da praça de pedágio para a “categoria 1”. Por sua vez, a respectiva tarifa é definida como o produto da “Tarifa Quilométrica” (t_{km}) projetada, em reais por quilômetro, e seu respectivo “trecho de cobertura da Praça de Pedágio” (TCP), em quilômetros.

4.1. Levantamento de dados

Para o levantamento de dados, foram escolhidas as versões publicadas dos projetos de concessão das rodovias BR-116/465/493/RJ/MG, BR-381/262/MG/ES, BR-163/230/MT/PA, e os Lotes 1 e 3 do projeto de concessão das Rodovias Integradas do Paraná, atualizados após a realização das Audiências Públicas, disponíveis para consulta no sítio eletrônico da Agência Nacional de Transportes Terrestres (BRASIL, 2023a).

Em relação aos perfis de tráfego, verificou-se em todos os projetos a predominância de automóveis (entre 60 e 70%), com a exceção das rodovias BR-163/230/MT/PA, que apresentaram majoritariamente caminhões de seis a nove eixos (próximo de 50%).

4.2. Proposta de otimização das categorias tarifárias

Para as novas categorizações, foi realizado o agrupamento em apenas quatro categorias, ordenadas de acordo com aspectos qualitativos de peso e quantitativos de número de eixos, conforme exibido na Tabela 2. As informações dos perfis da frota de veículos dos projetos citados, para a nova categorização, estão resumidas na Tabela 3.

Tabela 2 - Proposta de nova categorização tarifária

Categoria	Critério 2: nº de eixos	Exemplos
Passeio e Utilitários	N/A	Automóvel, caminhonetes, automóveis e caminhonetes com reboque e semirreboque
Intermediários	2 e 3	Caminhão leve (carroceria embutida com semirreboque), caminhão-trator e ônibus
Pesados	4 a 6	Caminhão pesado (com reboque ou semirreboque) com até 6 eixos e ônibus
Superpesados	7 a 9	Caminhão pesado (com reboque ou semirreboque) com mais de 6 eixos

Tabela 3: Perfis da frota de veículos - Nova categorização

Categoria	BR-381/262/MG/ES	BR-116/495/493/RJ/MG	BR-163/230/MT/PA	PR Lote 1	PR Lote 3
Passeios e Utilitários	68,52%	66,26%	34,48%	60,77%	59,75%
Intermediário	15,04%	18,43%	6,09%	12,82%	14,67%
Pesado	13,58%	13,89%	10,47%	17,62%	16,96%
Superpesados	2,86%	1,43%	48,97%	8,78%	8,63%

4.2.1. *Premissas adotadas*

Antes da realização das simulações para a obtenção dos diversos cenários derivados, foi necessário estabelecer algumas premissas, sendo elas: (a) o sistema de pedagiamento considerado no artigo é o mesmo sistema tratado nos projetos de estruturação, de cobrança por meio de praças de pedágio; (b) para o cálculo da receita tarifária, não foram considerados os mecanismos de desconto tarifário como Desconto Básico de Tarifa (DBT), Desconto de Usuário Frequente (DUF) e etc.; (c) não foi considerada a categoria de motocicletas, isentas de pagamento (BRASIL, 2021); e (d) foi levado em consideração o equilíbrio do fluxo de caixa, portanto, para cada cenário derivado, a receita obtida com a arrecadação tarifária permaneceu constante.

A cada iteração, considerou-se a constância da receita do concessionário por meio da arrecadação das praças, porém o impacto tarifário sentido pelos usuários pode variar, uma vez que as categorias dos veículos foram sendo reagrupadas em novas categorias.

Desse modo, para fins desse artigo, os impactos tarifários são dispostos em valores percentuais relativos a tarifas do “cenário base” e, desse modo, embora o termo possa sugerir

significado contrário, definiu-se como valores “positivos” os que o usuário deverá pagar valores mais elevados de tarifa, ao passo que impactos tarifários “negativos” significam uma situação mais vantajosa ao usuário.

4.2.2. Tratamento dos dados

Para a realização das simulações, os dados dos projetos (BRASIL, 2023a) foram inicialmente tratados em planilha eletrônica, com informações de fluxo, valor de face do pedágio para o ano “2”, uma vez que este pode estar mais próximo da realidade atual projetada inclusive que do ano “1”, ano de transição de assunção da concessionária, conforme exemplo da praça de pedágio “P1”, do projeto da rodovia BR-381/262/MG/ES, apresentada na Tabela 4:

Tabela 4: Exemplo de dados das concessões

Praça de Pedágio P1 – BR-381/262/MG/ES					
Categoria	Tipo	Multiplicador	VDMA anualizado (ano 2)	Peso do tráfego	Valor de Face Pedágio
1	automóveis	1,0	3.632.838	58,73%	R\$ 8,60
2	automóveis+semi-reboques	1,5	-	0,00%	R\$ 12,90
3	automóveis+reboques	2,0	-	0,00%	R\$ 17,20
4	veículos comerciais 2 eixos	2,0	449.644	7,27%	R\$ 17,20
5	veículos comerciais 3 eixos	3,0	539.474	8,72%	R\$ 25,80
6	veículos comerciais 4 eixos	4,0	342.512	5,54%	R\$ 34,40
7	caminhões 5 eixos	5,0	409.472	6,62%	R\$ 43,00
8	caminhões 6 eixos	6,0	639.031	10,33%	R\$ 51,60
9	caminhões 7 eixos	7,0	112.215	1,81%	R\$ 60,20
10	caminhões 8 eixos	8,0	-	0,00%	R\$ 68,80
11	caminhões 9 eixos	9,0	60.176	0,97%	R\$ 77,40
Volume Diário Médio Anual equivalente					14.729.231
Receita					R\$126.672.150,71

Assim, com os dados das praças de cada projeto (BRASIL, 2023a), a receita da nova categoria pode ser dada por:

$$Rec_{cat,i} = VF_{cat,i} * VDMA_{cat,i}(1)$$

sendo que: Rec_{cat} : Receita de uma categoria “i” [R\$]

$VF_{cat,i}$: Valor de face da tarifa de pedágio para a categoria “i” [R\$]

$VDMA_{cat.i}$: Volume Diário Médio Anual de veículos no ano 2 para a categoria “i”

Assim, pode-se encontrar a receita total de cada projeto e, desse modo, a receita total de todos os projetos. Por sua vez, o “valor de face” médio dos projetos para cada nova categoria foi encontrado por:

$$VF_{m.cat} = Rec_{total.cat} / VDMA_{total.cat} \quad (2)$$

sendo que:

$VF_{m.cat}$: Valor de face médio dos projetos para cada nova categoria [R\$]

$Rec_{total.cat}$: Receita total dos projetos para cada nova categoria [R\$]

$VDMA_{total.cat}$: Volume Diário Médio Anual total da nova categoria no ano 2

Após encontrar o “valor de face” médio de cada nova categoria, mantendo-se em “1” o valor do “multiplicador de tarifa” para a primeira categoria, os demais “multiplicadores de tarifa” foram encontrados por:

$$M_{cat.i} = VF_{cat.i} / VF_{1^*cat} \quad (3)$$

sendo que: $M_{cat.i}$ = multiplicador de tarifa de uma determinada categoria

VF_{1^*cat} = Valor de face da primeira nova categoria [R\$]

Assim, a fim de manter a receita total de todos os projetos, encontrou-se os valores de “1,00”, “2,47”, “5,28” e “11,11”, conforme exposto na Tabela 5:

Tabela 5 - Multiplicadores de tarifa para as novas categorias de todos os projetos

Categoria	Receita	Valor de Face médio	Multiplicador de tarifa
1	R\$ 692.386.465,27	R\$ 8,93	1,00
2	R\$ 410.505.579,87	R\$ 22,02	2,47
3	R\$ 851.606.894,63	R\$ 47,16	5,28
4	R\$ 650.988.289,10	R\$ 99,19	11,11

Em seguida, calculou-se o impacto tarifário para cada categoria em cada praça de pedágio em relação ao cenário base, conforme equação nº 4:

$$I_{cat,j} = VF_{cat,j} / VF_{cat.cb,i} \quad (4)$$

sendo que: $I_{cat,i}$: Impacto da categoria do cenário base em uma praça de pedágio “j”

$VF_{cat,i}$: Novo valor de face da categoria para a praça de pedágio “j” [R\$]

$VF_{cat.cb,i}$: Valor de face da categoria no cenário base para a praça de pedágio “j” [R\$]

Para alterar o “valor de face” em cada praça de pedágio para cada nova categoria, foi necessário encontrar primeiramente o “valor de face” da sua respectiva primeira categoria, para, em seguida, utilizar o multiplicador encontrado. Para tanto, tendo em vista que o “volume de veículos equivalentes” (Veq) de uma praça corresponde ao número de veículos necessários à geração da mesma receita total sem o uso de multiplicadores, que, numericamente, é igual a utilizar o multiplicador “1”, da primeira categoria, o “valor de face” da primeira categoria pode ser encontrado por:

$$VF_{1^a cat,j} = Rec_j / Veq_j \quad (5)$$

$$VF_{1^a cat,j} = Rec_j / (\sum_{i=1}^n VDMA_{ij} * M_{cat,i}) \quad (6)$$

sendo que: $VF_{1^a cat,i}$: Novo “valor de face” da 1ª categoria para a praça de pedágio “j” [R\$]

Rec_i : Receita da praça de pedágio “j” [R\$]

Veq_i : Volume de veículos equivalentes para a praça de pedágio “j”

$VDMA_{ij}$: VDMA de uma categoria “i” de uma praça de pedágio “j” [R\$]

n: Número total de categorias

Em seguida, utilizou-se os “multiplicadores de tarifa” dos projetos para encontrar os novos “valores de face” de cada praça e projeto, conforme exemplo disposto na Tabela 6:

Tabela 6 – Novos valores de face na praça “P1” – BR-381/262/MG/ES

Praça de Pedágio P1 – BR-381/262/MG/ES							
Cat.	Tipo	Mult.	VDMA anualizado (ano 2)	Peso do tráfego	Valor de Face Pedágio	Novo Mult.	Novo valor de Face
1	automóveis	1,00	3.632.838	58,73%	R\$ 8,60	1,00	8,26
2	automóveis+semi-reboques	1,50	-	0,00%	R\$ 12,90	1,00	8,26
3	automóveis+reboques	2,00	-	0,00%	R\$ 17,20	1,00	8,26
4	veículos comerciais 2 eixos	2,00	449.644	7,27%	R\$ 17,20	2,47	20,37
5	veículos comerciais 3 eixos	3,00	539.474	8,72%	R\$ 25,80	2,47	20,37
6	veículos comerciais 4 eixos	4,00	342.512	5,54%	R\$ 34,40	5,28	43,63
7	caminhões 5 eixos	5,00	409.472	6,62%	R\$ 43,00	5,28	43,63
8	caminhões 6 eixos	6,00	639.031	10,33%	R\$ 51,60	5,28	43,63
9	caminhões 7 eixos	7,00	112.215	1,81%	R\$ 60,20	11,11	91,77
10	caminhões 8 eixos	8,00	-	0,00%	R\$ 68,80	11,11	91,77
11	caminhões 9 eixos	9,00	60.176	0,97%	R\$ 77,40	11,11	91,77
Volume Diário Médio Anual equivalente					14.729.231	-	15.332.595
Receita					R\$126.672.150,71		

Assim, utilizando-se a equação nº 4, os impactos tarifários foram encontrados, resultando nos valores exemplificados na Tabela 7, ao projeto da rodovia BR-381/262/MG/ES.

Tabela 7 – Exemplo de Impacto tarifário por categoria considerando as praças do projeto BR-381/262/MG/ES

Categoria (cenário-base)	Impacto Tarifário Projeto BR-381/262/MG/ES										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
1	-3,94%	-4,80%	-5,02%	-5,33%	-7,80%	-2,06%	-4,43%	-4,09%	-4,07%	-3,56%	-4,95%
2	-35,96%	-36,53%	-36,68%	-36,89%	-38,53%	-34,71%	-36,29%	-36,06%	-36,05%	-35,71%	-36,63%
3	-51,97%	-52,40%	-52,51%	-52,66%	-53,90%	-51,03%	-52,22%	-52,05%	-52,03%	-51,78%	-52,47%
4	18,43%	17,36%	17,08%	16,71%	13,67%	20,73%	17,81%	18,23%	18,26%	18,88%	17,18%
5	-21,05%	-21,76%	-21,94%	-22,19%	-24,22%	-19,51%	-21,46%	-21,18%	-21,16%	-20,74%	-21,88%
6	26,83%	25,69%	25,39%	24,99%	21,73%	29,30%	26,18%	26,62%	26,66%	27,32%	25,49%
7	1,47%	0,55%	0,32%	-0,01%	-2,61%	3,44%	0,94%	1,30%	1,32%	1,86%	0,40%
8	-15,45%	-16,21%	-16,40%	-16,67%	-18,84%	-13,80%	-15,88%	-15,58%	-15,56%	-15,12%	-16,34%
9	52,45%	51,07%	50,72%	50,23%	46,32%	55,42%	51,66%	52,20%	52,23%	53,03%	50,84%
10	33,39%	32,19%	31,88%	31,45%	28,03%	35,99%	32,70%	33,17%	33,20%	33,91%	31,98%
11	18,57%	17,50%	17,23%	16,85%	13,80%	20,88%	17,96%	18,38%	18,40%	19,03%	17,32%

Por fim, ponderando-se o respectivo fluxo de cada categoria em cada praça, foi possível encontrar a média de impacto por praça e, de forma similar, o impacto médio por projeto analisado, o impacto médio por categoria e o impacto médio total de “-2,59”, apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Multiplicadores de tarifa para os cinco projetos (Receitas do ano 2)

Categoría	Receita	Valor de Face médio	Multiplicador de tarifa	Impacto tarifário	
1	R\$ 692.386.465,27	R\$ 8,93	1,00	-6,16%	-2,59%
2	R\$ 410.505.579,87	R\$ 22,02	2,47	-2,30%	
3	R\$ 851.606.894,63	R\$ 47,16	5,28	-4,70%	
4	R\$ 650.988.289,10	R\$ 99,19	11,11	+31,12%	

4.2.3. Simulações e critérios de seleção

Para as simulações de novos impactos tarifários, os “multiplicadores de tarifa” foram alterados de forma iterativa, em que se manteve inalterado o valor de “1” para a primeira categoria e alterados os outros três multiplicadores.

Para tanto, manteve-se editável em planilha eletrônica as células correspondentes a duas categorias e a terceira se manteve em função das demais, a fim de se manter a receita total e, tendo em vista que há três opções de escolha para qual categoria estaria mantida em função das demais, foi possível criar três opções de simuladores com funcionamentos similares.

A equação para encontrar o multiplicador da categoria que estaria em função das demais foi encontrada a partir da equação nº 3, recomposta a seguir:

$$M_{cat,i} = (Rec_{cat,i} / VDMA_{cat,i}) / VF_{1^*cat} \quad (7)$$

$$M_{cat,i} = [(Rec_{total} - Rec_{d.cat}) / VDMA_{cat,i}] / VF_{1^*cat} \quad (8)$$

sendo que: Rec_{total} : Receita total dos projetos em análise [R\$]

$Rec_{d.cat}$: Receitas das demais categorias [R\$]

Assim, uma vez que o multiplicador da 1ª categoria se manteve em “1”, também se manteve inalterado o “valor de face” da 1ª categoria e, tendo em vista que uma das premissas aos novos multiplicadores seria a manutenção da receita total ao concessionário, bem como do VDMA nas praças de pedágio, permitiu-se encontrar a receita das demais categorias.

Para encontrar a receita das demais categorias, somou-se as receitas de cada uma das demais categorias, encontradas por meio das equações nº 1 e 3.

Para a seleção dos multiplicadores, escolheu-se critérios que visassem à melhor aplicabilidade e aceitabilidade prática das novas categorias, quais sejam:

- a) **Critério nº 1:** Os impactos tarifários não deverão ser superiores ao impacto médio geral gerado pela mera ordenação das receitas nas novas categorias, encontrado inicialmente em -2,59% para os multiplicadores expostos na Tabela 8;
- b) **Critério nº 2:** A diferença entre o impacto tarifário entre a 4^a categoria e a 1^a categoria deverá ser reduzida, uma vez que, em geral, pode haver um desequilíbrio entre o que estes pagam de pedágio e aquilo que se percebe de benefício quando comparado com os veículos de passeio, considerando o pavimento rodoviário (ASSIS; FERNANDES, 2019);
- c) **Critério nº 3:** Os impactos tarifários entre os veículos comerciais (2^a a 4^a categoria) deverão ser decrescentes, a fim de priorizar veículos que utilizam mais eixos e, desse modo, tenham menor carga pontual ao pavimento, considerando uma mesma carga transportada;
- d) **Critério nº 4:** A 4^a categoria não deverá haver impacto tarifário superior a zero, a fim de, por todo o exposto, priorizar a utilização desta categoria;
- e) **Critério nº 5:** Os valores dos multiplicadores não deverão exceder os limites mínimos e máximos dos valores dos multiplicadores das categorias do cenário base;
- f) **Critério nº 6:** Deverão ser priorizados multiplicadores com valores mais arredondados possíveis em suas casas decimais, para fins de melhor assimilação de seus valores.

4.2.4. *Resultados*

Mediante os critérios apresentados, as simulações foram realizadas conforme as iterações descritas a seguir, cujos resultados foram elucidados na Tabela 9:

- a) **Simulação nº 1:** Mero reordenamento das categorias do cenário base em que se manteve a receita total por categoria, resultando nos valores de impacto tarifário expostos na Tabela 8;
- b) **Simulação nº 2:** Uma vez que os primeiros multiplicadores encontrados haviam sido extrapolados em relação ao cenário base, a fim de atender ao critério nº 5, tentou-se atribuir os seus valores máximos, de “6,00” e “9,00” para a terceira e quarta categoria,

respectivamente. Contudo, houve desconformidade ao critério nº 3, uma vez que o impacto da 3^a categoria foi superior ao da 2^a categoria;

- c) **Simulação nº 3:** A fim de diminuir o impacto para a 3^a categoria, buscou-se aumentar um pouco o valor da 2^a categoria para “3,00”. Contudo, o impacto tarifário médio aumentou para -2,47%, tornando os multiplicadores desconformes ao critério nº 1.
- d) **Simulação nº 4:** Uma vez que a 3^a categoria já estava em seu limite máximo de “6,00” (conforme estabelecido pelo critério nº 5), buscou-se, como alternativa, reduzir o multiplicador da 4^a categoria ao limite mínimo de “7,00”. Contudo, o impacto tarifário médio aumentou para -2,02%, mantendo a incompatibilidade do conjunto ao critério nº 1;
- e) **Simulação nº 5:** A fim de tentar diminuir o impacto médio, buscou-se diminuir os multiplicadores da 2^a e 3^a categoria aos seus limites mínimos (conforme critério nº 5) de “3,00” e “6,00”, respectivamente. Contudo, o impacto tarifário médio ainda estava em -2,47%, ainda incompatível ao critério nº 1;
- f) **Simulação nº 6:** Por fim, foram alterados os multiplicadores da 3^a e 4^a categoria para “6,00” e “8,00”, reduzindo o impacto médio geral para -2,74% e os critérios puderam ser atendidos.

Tabela 9 – Resultados das simulações

Cat.	Simulação 1		Simulação 2		Simulação 3		Simulação 4		Simulação 5		Simulação 6	
	Mult.	Impacto tarifário										
1	1,00	-6,16%	1,00	-7,25%	1,00	-8,11%	1,00	-8,45%	1,00	-8,11%	1,00	-7,89%
2	2,47	-2,30%	2,51*	-1,94%	3,00	+15,77%	3,22*	+23,50%	3,22*	+15,77%	2,86*	+10,85%
3	5,28	-4,70%	6,00	7,22%	6,00	+6,75%	6,00	+6,60%	6,00	+6,75%	6,00	+6,86%
4	11,11	+31,12%	9,00	9,69%	7,61*	-4,27%	7,00	-10,53%	7,00	-4,27%	8,00	-0,33%
Impacto Tarifário Total	-2,59%		-3,38%		-2,47%		-2,02%		-2,47%		-2,74%	

Obs.*: valor encontrado em função dos demais valores adotados, conforme equação nº 8.

Assim, tem-se como resultado da otimização dos multiplicadores, para os cinco projetos analisados, os valores apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Novos multiplicadores

Cat.	Tipo veicular	Classses veiculares	Multiplicador de tarifa	Impacto tarifário	
1	Automóveis e utilitários	Automóvel (compacto, sedã, <i>hatch</i> , utilitários), caminhonete, automóveis e caminhonetes com reboque e semi-reboque (<i>furgão e van</i>)	1,00	-7,89%	-2,74%
2	Intermediários	Caminhão leve (carroceria embutida com semi reboque), caminhão trator e ônibus	2,86	+10,85%	
3	Pesados	Caminhão pesado (com reboque e semi-reboque) e ônibus de 4 a 6 eixos	6,00	+6,86%	
4	Superpesados	Caminhão pesado (com reboque e semi-reboque) e ônibus de 7 a 9 eixos	8,00	-0,33%	

5. CONCLUSÕES/CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em relação aos resultados obtidos, entende-se que o presente trabalho pode atender de forma satisfatória o objetivo de se propor, por meio de um cenário hipotético, a otimização das categorias tarifárias, com vistas à redução da sua quantidade em projetos de concessões rodoviárias, ao mesmo tempo em que se buscou obter o menor impacto tarifário possível aos usuários.

Salienta-se, no entanto, que os resultados são frutos da análise de um conjunto de apenas cinco projetos que, embora estejam bem distribuídos no mapa rodoviário brasileiro, pode ainda ser insuficiente para inferir categoricamente que os multiplicadores da nova categorização sejam perfeitamente replicáveis a outros projetos. Contudo, à exceção do projeto da BR-163/230/MT/PA, verificou-se grande similaridade entre os projetos, nos quais buscou-se, conforme as limitações expostas, estabelecer um modelo que representasse uma grande diversidade de perfis de tráfego.

Para a solução encontrada, algumas categorias tarifárias, isoladamente, tiveram um aumento considerável para o usuário, como é o caso da categoria pesados para a praça de pedágio “P2” do projeto “BR 163/230/MT/PA” (aumento de 57,16%). Ao observar esse fato isoladamente, a solução encontrada poderia não atender ao objetivo deste artigo, que preconiza um impacto tarifário reduzido para os usuários. Contudo, entende-se que nenhum modelo poderia atender de forma satisfatória a redução tarifária a todos os projetos, tendo em vista, dentre outros aspectos, o perfil de tráfego de cada região.

Assim, para a validade da análise, deve ser realizada de forma conjunta, com todas as

categorias consideradas e, desse modo, nota-se que algumas categorias poderão ser prejudicadas em prol de uma redução geral média no valor da tarifa de pedágio, mantendo-se o equilíbrio da arrecadação e da receita tarifária total da concessão. Desse modo, foram estabelecidos critérios para que haja maior justiça tarifária, sobretudo na relação do benefício obtido face ao “valor de face” da tarifa disponibilizado ao usuário.

Ainda, caso se entenda judicioso, novos multiplicadores específicos a cada projeto poderão ser propostos conforme a sua localidade, em consonância à Portaria nº 995, de 17 de outubro de 2023, que dispõe ao Ministério dos Transportes que a política de outorgas “abrangerá a política tarifária e premissas de pedagiamento, no que diz respeito à definição das categorias e dos tipos de veículos e respectivos multiplicadores a serem aplicados à referida tarifa” (Art. 3º, inciso III, alínea “b”), “deverá considerar as características específicas de cada trecho rodoviário, da região atravessada, dos resultados obtidos em estudos, levantamentos, investigações e projetos, bem como do cenário macroeconômico vigente” (Art. 4º), buscando a otimização dos contratos de concessão (Art. 1º) (BRASIL, 2023c).

Ainda, entende-se que a otimização das categorias tarifárias poderá diminuir os custos operacionais decorrentes da necessidade de identificação de caminhões com eixos suspensos, uma vez que esta poderia reduzir a quantidade de veículos passíveis de análise devido a leituras dúbiais do sistema nos Centros de Controle Operacional – CCOs, já aumentadas devido à implementação do *free-flow*, culminando numa maior eficiência operacional da concessionária, e, em última análise, na redução da tarifa.

Por fim, espera-se que o presente artigo estimule o debate sobre novas tecnologias de cobrança de pedágio, bem como a viabilidade da simplificação do sistema tarifário atual praticado nas concessões rodoviárias nacionais em prol de benefícios socioeconômicos, cuja importância, em última análise, poderá possibilitar ganhos logísticos com redução de tempo de viagens e do Custo Brasil.

BIBLIOGRAFIA

ABCR. Melhores rodovias do Brasil. **Áreas de escape salvam mais de 2 mil vidas nas rodovias concedidas no país.** 2023. Disponível em: <https://melhoresrodovias.org.br/conteudos-e-noticias/areas-de-escape-salvam-mais-de-2-mil-vidas-nas-rodovias-concedidas-no-pais/>. Acesso em 12 de jun. de 2024.

ASSIS, R. K. M., FERNANDES JR., J.L. **O uso do número de eixos como multiplicador das tarifas de pedágio: uma análise no Brasil e no mundo.** 2019. Disponível em:
https://repositorio.usp.br/directbitstream/48aad958-2f92-4d1b-a6c5-3e57257b9b81/sysno3166512_%5BTrab%20ev%5D%20Assis_O%20USO%20DO%20N%C3%99AMERO%20DE%20EIXOS.pdf. Acesso em: 10 de jun. de 2024.

AUTOROUTES.FR. Site da Associação das Autoestradas da França. 2023. Classificação veicular dos automóveis na França. Disponível em: <https://www.autoroutes.fr/fr/classification-des-vehicules.htm>. Acesso em: 18 de jul. de 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Transportes Terrestres. 2023^a. Audiências Públicas nº 10/2019 (BR 381/262/MG/ES), 11/2020 (BR-116/465/493/MG/RJ), 15/2019 (BR-163/230/MT/PA) e 1/2021 (PR Vias - Lotes 1 a 6). Disponível em:
<https://participant.antt.gov.br/Site/AudienciaPublica/ConsultarAvisoAudienciaPublica.aspx?tipo=audiencias>. Acesso em: 18 de jul. de 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Transportes Terrestres. 2023b. Contrato de Concessão da BR-116/101/RJ/SP. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/rodovias/concessionarias/lista-de-concessoes/CCR-rio-sp/documentos-de-gestao/riosp-contrato-e-aditivos>. Acesso em: 18 de jul. de 2023.

BRASIL. Infra S.A. Observatório Nacional de Transporte Logístico. **Boletim Logístico – A importância do modo rodoviário para o Brasil.** 2022. Disponível em: <https://ontl.infrasa.gov.br/wp-content/uploads/2022/10/A-Importancia-do-Modo-Rodoviario-para-o-Brasil.pdf>. Acesso em 10 de jun. de 2024.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. Portaria nº104, de 11 de agosto de 2021. **Estabelece a diretriz de política pública de isenção de cobrança de tarifa de pedágio para as motocicletas em concessões federais. Ministério da Infraestrutura.** Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-104-de-11-de-agosto-de-2021-337810060>. Acesso em: 3 de dez. de 2021.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Portaria nº 995, de 17 de outubro de 2023. 2023c. **Institui a Política Nacional de Outorgas Rodoviárias no âmbito do Ministério dos Transportes e de suas entidades vinculadas.** Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/concessoes/PORTRIAN995DE17DEOUTUBRODE2023.pdf> : Acesso em: 12 de jun. de 2024.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. **Resultados do Comércio Exterior Brasileiro – Dados Consolidados.** 2024. Disponível em:
https://balanca.economia.gov.br/balanca/publicacoes_dados_consolidados/pg.html. Acesso em 12 de jun. de

2024.

BORGES, R. C. N. Fiscalização em excesso de peso em rodovias. 2012. Disponível em:
https://bd.camara.leg.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/12296/fiscalizacao_excesso_borges.pdf?sequence=1.
Acesso em: 10 de jun. de 2024.

CNI. Investimentos públicos e as rodovias federais no Brasil – Evolução e Perspectivas. 2021. Disponível em: <https://static.portaldaindustria.com.br>. Acesso em 12 de jun. de 2024

GOMES, J.C.C.; ALBANEZ, W. O alto custo do transporte no Brasil em decorrência da falta de infraestrutura logística. Disponível em: http://www.cic.fio.edu.br/anaisCIC/anais2017/pdf/10_09.pdf.
Acesso em 12 de jun. de 2024.

LISZBINSKI; BRITO; CUNHA. Custos logísticos: um levantamento da produção científica na última década no Brasil. 2023. Disponível em: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/176>. Acesso em 12 de jun. de 2024.

ILLINOIS TOLLWAY: Informações dos pedágios do estado de Illinois, nos Estados Unidos da América. 2024.
Disponível em: <https://www.illinoistollway.com/toll-rates>. Acesso em 10 de jun. de 2024.

TORRES, O. et al. Impacto da Implantação do Custo do Pedágio na BR-163 em Relação ao Transporte de Soja do Estado de Mato Grosso. 2017. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/resr/a/KsCk8ktgPxFrpJQQFBfcWRk/>. Acesso em 10 de jun. de 2024.

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS TARIFÁRIOS DA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA FREE-FLOW EM RODOVIA FEDERAL

RESUMO

O sistema free-flow de cobrança tarifária já é realidade no Brasil, tendo sido implantando em parte do trecho concedido da RioSP, e possui potencial para gerar grandes mudanças nas políticas de tarifação em infraestruturas rodoviárias. Porém, um importante fator a ser levado em conta é a tendência de aumento da inadimplência dos usuários, por não ter uma barreira física que impeça a passagem sem efetuar o pagamento da tarifa devida. Assim, o objetivo do estudo foi avaliar os impactos tarifários da implantação do sistema free-flow em um estudo de caso da BR-101/RJ/SP. Nesse contexto, foi realizada uma revisão sistemática da literatura identificando-se as características, vantagens e desvantagens, os avanços alcançados pelo Brasil e os desafios a serem superados para a ampliação da utilização do sistema free-flow no país. Para avaliação dos impactos tarifários no fluxo de caixa da BR-101/RJ/SP, foram simulados dois cenários de implantação de free-flow: um apenas em substituição às praças de pedágio previstas no contrato original; outro propondo um modelo de free-flow puro com cobrança por trecho homogêneo em 17 pontos de cobrança. Para analisar a viabilidade dos cenários simulados, foi utilizado 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 originais do projeto. Os Estudos de Viabilidade da concessão da BR-101/RJ/SP foram usados para subsidiar as análises da implantação do free-flow em parte do trecho concedido. Foram calculados o momento de transporte e os custos do sistema de cobrança para o modelo proposto.

Como resultado, por um lado, verificou-se que a implantação dos pórticos de cobrança free-flow nos mesmos pontos de cobrança originalmente estudados é vantajosa, resultando em redução tarifária de 14% ou permitindo margem para absorver até 13,5% de frustração de receita anual em função das inadimplências. Por outro lado, a simulação da cobrança por trecho homogêneo na rodovia em estudo, que aumenta 14 pontos de cobrança, apesar de atingir o objetivo de justiça tarifária, implicou a elevação em 24% da tarifa quilométrica do cenário-base.

AUTORES

Isabela Soares Machado Reichert, Pastor Willy Gonzales Taco

2º LUGAR

C a t e g o r i a I

**INOVAÇÕES JURÍDICO
REGULATÓRIAS EM PROL DA
SUSTENTABILIDADE ECONÔMICA
DOS CONTRATOS**

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS TARIFÁRIOS DA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA FREE-FLOW EM RODOVIA FEDERAL

1. INTRODUÇÃO

O sistema de cobrança tarifária *free-flow* já está implementado no Brasil, especialmente em parte da concessão da RioSP, e possui o potencial de provocar mudanças significativas nas políticas de tarifação das infraestruturas rodoviárias. Contudo, um ponto crucial a ser considerado é o aumento esperado da inadimplência dos usuários, devido à ausência de barreiras físicas que impeçam a passagem sem o pagamento da tarifa devida.

Nesse breve contexto, a presente monografia, tem como objetivo geral apresentar um “Método para avaliação do potencial de arrecadação, as variações tarifárias e a estimativa do índice de inadimplência admissível da implantação do sistema *free-flow*, por meio de um estudo de caso em uma rodovia federal do Brasil”. Assim, num primeiro momento, a partir dos estudos da literatura científica são apresentados os resultados de uma revisão da literatura para identificar as características, vantagens, desvantagens e os desafios a serem superados para a ampliação do uso do sistema *free-flow* no país. Num segundo momento são apresentados o método e a avaliação dos impactos tarifários da adoção do sistema *free-flow* em um estudo de caso na BR-101/RJ/SP.

Para avaliar os impactos tarifários no fluxo de caixa da BR-101/RJ/SP, foram simulados dois cenários de implementação do *free-flow*: *i)* Substituição das praças de pedágio previstas: Implementação do *free-flow* nos mesmos pontos das praças de pedágio originais, resultando em uma redução tarifária de 14% ou permitindo uma margem para absorver até 13,5% de perda de receita anual devido à inadimplência; e, *ii)* Modelo de *free-flow* puro com cobrança por trecho homogêneo em 17 pontos: Este cenário propõe um modelo de cobrança por trecho homogêneo em 17 pontos de cobrança, visando alcançar maior justiça tarifária. Contudo, isso implica em um aumento significativo (24%) na tarifa quilométrica em relação ao cenário-base.

Para analisar a viabilidade desses cenários simulados, foi utilizado o conceito de inadimplência admissível, que representa o ponto em que o equilíbrio econômico-financeiro da concessão é mantido com as tarifas e taxas internas de retorno originais do projeto. Os Estudos de Viabilidade da concessão da BR-101/RJ/SP foram fundamentais para subsidiar as análises da implantação do *free-flow* em parte do trecho concedido. Além disso, foram

calculados os custos do sistema de cobrança e o momento de transporte para o modelo proposto.

Em resumo, enquanto a substituição das praças de pedágio por pórticos de cobrança *free-flow* nos mesmos pontos estudados originalmente apresenta vantagens claras, como a redução tarifária e a capacidade de absorver inadimplências, a adoção de um modelo de cobrança por trecho homogêneo implica em desafios adicionais, como o aumento da tarifa quilométrica. Essas considerações são essenciais para a tomada de decisão sobre a expansão do sistema *free-flow* nas rodovias brasileiras.

Assim, a monografia está dividida em quatro itens, seguida da introdução, o segundo item apresenta a revisão da literatura da implantação do sistema do sistema *free-flow* focando nos desafios e os incentivos à utilização do sistema. No terceiro item são apresentadas as seis etapas do método de avaliação aplicado ao estudo de caso em trecho da concessão da BR-101/RJ/SP. A análise dos resultados da simulação do estudo de caso é apresentada no item quatro, e finalmente no quinto item as considerações finais e conclusões.

2. IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA *FREE-FLOW*

2.1. Desafios na Implantação do Sistema *Free-Flow*

Os sistemas *free-flow* de pedágio eletrônico (ou mais precisamente chamado *de Open Road*) são mais do que uma simples evolução da identificação automática de veículos (*Automatic Vehicle Identification - AVI*) atualmente disponível nas praças de pedágio do país. O sistema *free-flow* possibilita a passagem sem redução da velocidade e a cobrança eletrônica da tarifa com pagamento posterior através de boleto ou débito em conta. Uma das principais diferenças do sistema *Open Road* para o sistema AVI atualmente em uso no Brasil está na necessidade de garantia da captura contínua, estando o veículo em qualquer posição dentro da zona de coleta, geralmente com mais de uma faixa de tráfego. Essa necessidade se dá devido à inexistência de canalização do fluxo de tráfego, como ocorre nas praças de pedágio, uma vez que a identificação e a tarifação dos veículos ocorrem nas seções típicas da via.

Entretanto, o sistema *free-flow* introduz uma nova série de questões para a cobrança de pedágio, em particular a visão do usuário como cliente. Integração, atendimento ao cliente, interoperabilidade e o que fazer com usuários pouco frequentes e infratores tornam-se aspectos significativos a serem considerados ao projetar e implementar tais sistemas (Willumsen, 2004).

Tudo isso somado às diferentes tecnologias e esquemas de cobrança, implica em muitas complexidades técnicas e políticas, tanto na consideração inicial sobre a introdução da cobrança eletrônica e em qualquer desenvolvimento subsequente. É fundamental alcançar um equilíbrio entre a promoção da modicidade tarifária, de uma melhor segurança da receita (menor evasão de renda), de uma adequada mobilidade, da satisfação do usuário quanto ao serviço prestado e do financiamento da infraestrutura rodoviária disponibilizada (Santos e Ribeiro, 2018).

Decidir sobre tais estratégias com antecedência pode ajudar na implementação de um Sistema Eletrônico de Cobrança de Pedágio (*Electronic Toll Collection - ETC*) como o *free-flow*. Além disso, visando o sucesso da implantação e operação de um sistema free-flow de pedágio eletrônico no Brasil, é necessário dispor de uma fiscalização eficiente de possíveis violações do sistema. E, apesar de todos os benefícios da cobrança *free-flow*, o que pode dificultar a implantação do sistema é a tendência de aumento do percentual de usuários inadimplentes, frente ao sistema convencional. A necessidade de instalação do *tag* para o cadastro dos usuários pagantes é uma das principais causas da eventual evasão, já que os usuários não cadastrados também conseguem circular livremente pela via (CNT, 2020).

As publicações das Resoluções CONTRAN, nº 984 e nº 985, em dezembro/2022, relacionadas ao *free-flow* dispõem sobre a implementação do sistema e aprova o Manual Brasileiro de Fiscalização de Trânsito (MBFT), respectivamente. A primeira trata da implementação do sistema *free-flow* em rodovias e vias urbanas e dispõe sobre os meios técnicos a serem utilizados para garantir a identificação dos veículos que transitam por essas vias. Enquanto a segunda resolução aborda a questão da infração prevista no art. 209-A do Código de Trânsito Brasileiro – CTB, de multa pelo não pagamento do pedágio cobrado pelo uso de rodovias e vias urbanas. Percebe-se que as alterações feitas na legislação de trânsito, relacionadas à cobrança eletrônica de pedágio, demonstra a preocupação do governo brasileiro com a maior efetividade da fiscalização e punição dos evasores, objetivando minimizar a inadimplência e no impacto no equilíbrio econômico-financeiro da concessão.

No cenário internacional, no que diz respeito à política de fiscalização, a experiência chilena se mostrou eficaz para desencorajar a violação de pedágio. A cobrança de multa é 40 vezes superior ao montante evadido e a não renovação do certificado de matrícula do veículo pelas Câmaras Municipais se um número de placa não pagou as multas associadas a ele. Apesar de serem políticas eficazes, alguns problemas surgiram ao longo dos anos. Houve saturação dos tribunais de justiça, que tem que enviar as informações sobre sonegadores de

pedágio para os municípios, resultando em importantes atrasos no processo. Também alguns municípios não agiram de forma rigorosa nas renovações de registro de veículos porque as taxas recebidas dessas renovações são uma importante fonte de receita para os governos locais (Vassallo *et al.*, 2020).

Sabendo da importância da efetividade da cobrança em um sistema eletrônico de pedágio sem barreiras, a cobrança na Áustria acontece tanto pelos pórticos estacionários e equipamentos de fiscalização portáteis quanto por uma unidade de controle móvel (“agentes de cobrança de pedágio”), se houver necessidade. Os agentes não são uma segunda polícia, as suas competências estão restritas apenas ao pedágio. Estão autorizados por lei a parar veículos por razões de controle, a receber pagamento da tarifa de pedágio, evitar que os sonegadores de pedágio continuem a viagem ou dar início nos procedimentos de punição (Schwarz-Herda, 2005).

Dessas experiências, percebe-se que é muito importante conscientizar o público sobre os benefícios do regime de cobrança. É provável que um esquema impopular tenha baixa conformidade. Manter o esquema de cobrança o mais simples possível também é essencial, de modo a evitar que pessoas incorram em penalidade porque não compreendem o sistema (Ellis, 2012). De toda forma, a implantação do *free-flow* precisará contemplar mecanismos que sustentem uma taxa de perda de receita aceitável a fim de que o impacto na receita do projeto não provoque consequências financeiras e econômicas para o fluxo de caixa da concessão, com reflexos na saúde financeira e, por consequência, continuidade das operações da rodovia (IBL, 2021).

2.2. Incentivos à Utilização de Sistema *Free-Flow*

Devido às dificuldades e riscos envolvidos na cobrança dos usuários após terem percorrido a rodovia pedagiada de fluxo livre, garantir a cobrança por meio do sistema eletrônico é de suma importância. Os resultados do estudo realizado por Jou *et al.* (2011) e Jou e Huang (2013) revelaram que os usuários de rodovias de curta distância que não passam por praças de pedágio estavam menos dispostos a pagar por um dispositivo eletrônico colocado no veículo (*On-Board Unit*) OBU. Além disso, a disposição para pagar o preço dos pedágios aumentou com a distância percorrida. Ainda, este estudo demonstrou que os usuários de rodovias de curta distância que não passam pelas praças de pedágio evidenciaram baixos níveis de disposição a pagar devido a diversos fatores, como “baixo taxa de uso da rodovia”, “viagens fora do horário de pico” e “curto tempo de viagem”.

No caso de Taiwan ficou evidenciado que a opção do governo em subsidiar o TAG, quando percebeu que a adesão à OBU de infravermelho não teve sucesso, foi bastante assertiva, uma vez que em pouco tempo a adesão dos usuários às TAGs para pagamento eletrônico passou de 40% para 93% e o número de veículos pagantes aumentou em 16,9%. Os subsídios de TAGs, além do desconto de 10% para a adesão de ETC, estão diretamente relacionados ao aumento da captação de usuários pagantes, logo, ao aumento da receita (Tseng e Pilcher, 2022).

Heras-Molina *et al.* (2017) concluíram que a posse de TAG para pagamento automático de pedágio está principalmente relacionada aos atributos relacionados à viagem, como a frequência de viagens, o motivo da viagem e o fato de tratar-se de conduzir por motivos de trabalho, enquanto as características socioeconômicas pessoais (renda e idade) desempenham um papel menor. Ainda, de acordo com os resultados, apuraram que a entrega gratuita de dispositivos de etiquetas seria uma política eficaz para incentivar os indivíduos a adotar a cobrança de pedágio eletrônica e a fazer uso adicional de estradas com pedágio, devido aos benefícios proporcionados pelos sistemas de ETC.

Holgín-Veras *et al.* (2020) mostraram que o público está mais inclinado a aceitar esquemas de cobranças de pedágio com descontos tarifários, o que evidencia a importância dos esforços de divulgação destinados a promover a ideia de que os descontos para uso de ETC são políticas justas porque procuram fomentar os benefícios. Para Bueno *et al.* (2017) fornecer ao público informações detalhadas sobre seus objetivos e impactos potenciais é essencial para garantir o sucesso da tarifação rodoviária, dado que os indivíduos não têm experiências nas quais basearem sua opinião.

Como apresentado nos itens anteriores, dentre os desafios enfrentados, destaca-se a questão da inadimplência, um risco crucial a ser considerado na análise de viabilidade da implementação do sistema *free-flow*. Nesse sentido, o próximo item apresenta o método utilizado para simular a cobrança *free-flow*, com o objetivo de avaliar o impacto financeiro no fluxo de caixa da concessão. Além disso, visa determinar um índice de inadimplência admissível para o projeto, assegurando que não comprometa o equilíbrio econômico-financeiro do contrato. Essas informações são essenciais para orientar os planejadores de novos estudos de concessões e os gestores dos contratos em vigor na gestão do compartilhamento de riscos.

3. MÉTODO DE AVALIAÇÃO

3.1. Delimitação da Área de Estudo de Caso

Considerando a realidade brasileira, em relação ao sistema de cobrança de pedágio em fluxo livre, a área de estudo de caso foi o trecho da BR-101/RJ/SP, entre Itaguaí/RJ e Ubatuba/SP, com 270 km de extensão, do entroncamento com a BR-465/RJ-095 até a Praia Grande, em Ubatuba/SP. Trata-se de parte da extensão total concedida à concessionária CCR, por meio do Edital nº 03/2021, cuja concessão é denominada RioSP, com duração total do contrato de concessão é de 30 anos (Figura 1).

Para avaliação, foram simulados dois cenários de cobrança *free-flow* na BR-101/RJ/SP. O primeiro cenário apenas substituindo as praças de pedágio previstas no cenário-base (situação atual) por pórticos *free-flow*, mantendo os três pontos originais de cobrança. O segundo cenário simulando a cobrança *free-flow* por trecho homogêneo do segmento rodoviário, adicionando, portanto, novos pontos de cobrança em relação ao primeiro cenário.

3.2. Caracterização do Cenário-Base e Análise da Proporcionalidade Tarifária

O sistema de cobrança do cenário-base possui previsão de três praças de pedágio na BR-101/RJ/SP, sendo o trecho de cobertura de 93,66 km para a praça denominada P8, de 93,60 km para a P9 e de 83,04 km para a P10 e tarifas de R\$ 4,10, R\$ 4,09 e R\$ 4,10, respectivamente, na data-base de outubro/2019. A previsão de arrecadação de receita tarifária foi considerada a partir do 2º ano de concessão.

O trecho rodoviário selecionado para a simulação é composto por dezessete trechos homogêneos. A tarifa quilométrica (TKM) da BR-101/RJ/SP do cenário-base é de R\$ 0,0437 para pista simples e de R\$ 0,0569 para pista duplicada, ambas na data-base outubro de 2019. A mesma proporção entre as tarifas foi usada na simulação. A Taxa Interna de Retorno (TIR) também é a mesma do cenário-base, sendo de 8,47%.

Para a análise da proporcionalidade no cenário-base, foi usado o conceito de tarifa quilométrica real (TKMR). Dada a tarifa quilométrica nominal (TKM) do cenário-base, que se difere para pista simples e pista dupla, e o respectivo trecho de cobertura de cada ponto de cobrança, a tarifa cobrada para um automóvel é calculada pela Equação 1.

$$Tarifa_i = TKM_{ps} \times TC_{psi} + TKM_{pd} \times TC_{pdi} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que : $Tarifa_i$ = Tarifa no i-ésimo ponto de cobertura [R\$]

: TKM_{ps} = Tarifa quilométrica de pista simples [R\$]

: $TKMpd$ = Tarifa quilométrica de pista dupla [R\$]

: $TCpsi$ = Trecho de Cobertura em pista simples no i-ésimo ponto de cobertura [km]

$TCpdi$ = Trecho de Cobertura em pista dupla no i-ésimo ponto de cobertura [km]

A real tarifa quilométrica percebida pelo usuário é calculada pela Equação 2, que foi utilizada para calcular a tarifa quilométrica real dos 153 pares de trechos homogêneos que constituem trajetos da rodovia (origem e destino).

$$TKMreal = Tarifa / Distância Percorrida \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que : $TKMreal$ = Tarifa quilométrica real [R\$/km]

A partir da comparação entre a tarifa quilométrica nominal e a real, é possível quantificar as distorções causadas pelo modelo de praças do cenário-base. Assim, na Figura 2 são apresentados os 153 trajetos, em que a linha corresponde ao trecho de origem da viagem enquanto a coluna representa o trecho de destino. 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.

É esperado que a cobrança por trecho homogêneo traga novos usuários ao sistema, que no cenário-base trafegavam apenas entre as 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 receita adicionada pelos novos usuários deve ser usada para desoneras os usuários que subsidiavam o sistema. Desse modo, o cálculo do momento de transporte permite a comparação do potencial de arrecadação de receita tarifária de cenários com trechos de cobertura distintos.

3.3. Cálculo do Momento de Transporte do Modelo Proposto

Para o estudo de caso, a projeção do tráfego considerada para todo o período de concessão foi a do próprio estudo de tráfego do EVTEA. De posse dos dados de volume de tráfego equivalente de cada trecho homogêneo, foi calculado o Momento de Transporte (Equação 3) no j -ésimo ano [km veic_{eq}/dia]. Isso permite a comparação do potencial de arrecadação de modelos com trechos de cobertura distintos.

$$MT_j = \sum_{i=1}^{17} VDMAeq_{i,j} TC_i \quad (\text{Eq. 3})$$

A cobrança por trecho homogêneo ao aumentar o número de pontos de cobrança tende a diluir o valor de tarifa cobrado em cada ponto. 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. Entretanto, no presente estudo, não foi avaliada a variação da taxa de fuga, tendo em vista que no estudo original do lote concedido as projeções de tráfego foram feitas por meio de *software*, não utilizado no presente estudo. Portanto, foi mantida a projeção de tráfego do EVTEA de cada trecho homogêneo.

3.4. Cálculo dos Custos do Sistema *Free-Flow* de Cobrança Proposto

A consideração dos equipamentos adotados para a simulação de cobrança pelo sistema *free-flow* e respectivos custos foi baseada no próprio estudo de viabilidade da concessão Inovadutra (ANTT, 2020), que já previa a implantação de *free-flow*, mas apenas para o trecho metropolitano da BR-116/SP. Nos custos, foram considerados o dimensionamento dos itens de implantação e manutenção do sistema, a estrutura dos pórticos e dos equipamentos de identificação do veículo, e painéis eletrônicos de mensagem para informar o usuário sobre a tarifação (Tabela 1). Além dos equipamentos, deve ser prevista a implantação de geradores para garantir o fornecimento de energia elétrica mesmo em condições de interrupção da rede pública. Para o modelo operacional, foram estabelecidas as funções de supervisor de pedágio e agente de verificação de imagens (Tabela 2).

Assim, foi possível realizar a comparação entre o cenário-base e os cenários simulados com 3 e 17 pontos de cobrança (Figura 3). Os custos do sistema de cobrança *free-flow* proposto com apenas 3 pórticos em substituição às praças de pedágio, foram estimados em R\$ 30,7 milhões, uma redução de 86% em relação ao cenário-base.

3.5. Simulação dos Cenários de Implantação do Sistema *Free-Flow*

A simulação dos cenários foi feita atualizando, na planilha do EVTEA da concessão da BR-101/RJ/SP, os dados obtidos nas etapas anteriores. Para ambos os cenários simulados, o equilíbrio do fluxo de caixa do projeto foi obtido variando a TKM de pista simples da BR-101/RJ/SP, para a manutenção da TIR original do projeto de 8,47%.

No caso do cenário-1, alterou-se apenas os custos de investimentos e operacionais relativos ao sistema de arrecadação da BR-101/RJ/SP. Enquanto para o cenário 2, além de

alterar os custos, considerando nesse caso o valor relativo à implantação e operação dos 17 pórticos, adicionou-se o momento de transporte de todos os trechos homogêneos no cálculo da receita tarifária.

Em um processo iterativo, a TKM de pista simples foi alterada, considerando a TIR de 8,47%, até o atingimento do equilíbrio econômico-financeiro (zerando o VPL). A TKM de pista dupla, por sua vez, é alterada automaticamente, uma vez que é definida como um percentual da TKM de pista simples.

3.5. Cálculo do Índice de Inadimplência Admissível

O conceito de inadimplência admissível surge a partir da ideia de se ter um saldo positivo no fluxo de caixa do projeto após a alteração do sistema de arrecadação, seja pela redução dos custos de investimento e operação do novo sistema ou pelo aumento na arrecadação de receita devido ao aumento da base de usuários pagantes.

Assim, considera-se um índice máximo admissível de frustração de receita de pedágio, de modo a manter o equilíbrio econômico-financeiro do projeto, para a mesma TIR original do projeto. A fórmula da receita tarifária foi alterada na planilha do EVTEA, conforme apresentado na Equação 4.

$$R = \sum_{j=3}^{30} (1 - I) \times VDMAeq_j \times Tarifa_i \times (1 + DBT_j) \times sazonalidade \quad (4)$$

Em que: I = Índice de inadimplência [%]

Desse modo, o procedimento para o cálculo da receita é o mesmo do cenário-base, porém com a inclusão do parâmetro de inadimplência (I). O índice de inadimplência se refere à fração não paga da receita projetada e deve ser entendido em sentido amplo, para qualquer forma de não pagamento de veículos que atravessem os pórticos do sistema *free-flow*.

Em um processo iterativo na planilha Excel, o índice foi alterado até a obtenção da TIR de 8,47% com a tarifa quilométrica de R\$ 0,0437 para pista simples, quando corresponde ao índice de inadimplência admissível.

Um cenário foi simulado considerando para o 1º ano de cobrança a frustração de receita de 20%. Para tanto, fixou-se esse percentual para o ano 3 e do mesmo modo da obtenção do 1º índice, zerou VPL variando o índice I dos demais anos. E um último cenário, considerando dessa vez o percentual padrão de 20% de frustração de receita anual. O reequilíbrio do fluxo de caixa nesse caso foi obtido através de um processo iterativo da TKM de pista simples, para manter a TIR original do projeto.

4. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

4.1. Análise do Momento de Transporte nos Cenários

O momento de transporte calculado de todos os pontos de cobrança e acumulado ao longo dos 30 anos de concessão foi 22,8% menor no cenário com cobrança por trecho homogêneo em relação ao cenário-base. Este percentual representa um menor potencial de arrecadação em um cenário de cobrança de pedágio sendo feita por segmento homogêneo, não confirmando a expectativa de aumento da base de usuários pagantes. Na Figura 4, é apresentado o momento de transporte do ano de 2023 no cenário-base e no cenário com cobrança por trecho homogêneo (cenário 2).

A redução do momento de transporte no cenário simulado com cobrança em cada um dos 17 trechos homogêneos evidencia a opção no estudo da INOVADUTRA de alocar os pontos de cobrança da BR-101/RJ/SP nos trechos com os maiores volumes de tráfego, apontados no Relatório de Tráfego, objetivando maior montante de receita tarifária para melhor viabilidade do projeto.

Em estudos anteriores de simulação de cobrança *free-flow* foi obtido o resultado esperado, o de aumento do momento de transporte no cenário com cobrança por trecho homogêneo. Por exemplo, Barbosa (2013) obteve um aumento de 2% no momento de transporte em estudo de caso para a concessão estadual da MG-050. Diferentemente da simulação apresentada na presente monografia, o autor citado realizou uma simulação computacional da malha rodoviária. Por sua vez, Schurgelies *et al.* (2022) obtiveram um aumento de 3,6% no cenário com cobrança por trecho homogêneo da BR-101/SC, após recalcular as taxas de fuga do cenário-base. Mas, sem a consideração de fugas, desvios ou inadimplência, o momento de transporte associado ao cenário-base foi de 1,6% maior do que da cobrança por trecho homogêneo.

4.2. Análise da Tarifa Quilométrica para os Cenários

Na Figura 5 são mostradas as TKMs obtidas de pista simples (PS) e pista dupla (PD) para cada cenário simulado. A substituição de praças de pedágio por pórticos (cenário-1 simulado) implicou a redução de 14% da tarifa quilométrica do cenário-base, tendo em vista a redução dos custos do sistema de arrecadação. Enquanto o aumento dos pontos de cobrança com pórticos *free-flow* (cenário 2 simulado) resultou a elevação de 24% da tarifa quilométrica do cenário-base.

As tarifas mostradas na Figura 6 são relativas à categoria 1 de veículos (veículo de passeio de 2 eixos), e foram calculadas a partir das TKMs de pista simples e de pista dupla de cada cenário, dispostas na Figura 5, multiplicadas pelo trecho de cobertura de cada ponto de cobrança, conforme disposto na Equação 1.

Portanto, comparando as tarifas de pedágio pagas para cada cenário, desconsiderando o arredondamento tarifário normalmente aplicado nas tarifas cobradas e a atualização do valor, no caso do cenário-base, o usuário que passar pelos três pontos de cobrança deve desembolsar R\$ 12,29. Se for considerada a cobrança por pórticos, em substituição às praças, o usuário pagaria R\$ 10,62. Já para a cobrança por trecho homogêneo, o usuário que passar pelos 17 pontos de cobrança, ou seja, percorrer todo o trecho concedido pagaria R\$ 15,20.

Apesar do aumento do valor tarifário a ser pago no cenário 2 no caso de percorrer os 270 km de rodovia, é importante destacar que comparando apenas os trajetos entre os trechos homogêneos onde estão localizados os pontos de cobrança do cenário-base ou cenário-1, ou seja, TH 7 – TH13 com extensão de 167,5 km, o valor a ser despendido seria de R\$ 9,19 frente aos R\$ 12,29 e 10,62, dos cenário-base e cenário-1, respectivamente, conforme destacado na Figura 6.

4.3. Análise do índice de Inadimplência

Como apresentado nos estudos citados no item 2, um importante fator de risco que deve ser levado em conta é a evasão de pedágio, que tende a aumentar o percentual de inadimplência por não ter uma barreira física que impeça a continuidade da viagem sem a realização do pagamento devido.

Por um lado, no caso do cenário-2 simulado, como o momento de transporte reduziu com a cobrança por trecho homogêneo, não há margem no fluxo de caixa para suportar qualquer percentual de inadimplência sem haver desequilíbrio econômico-financeiro. Por outro lado, para o cenário-1 simulado é possível aplicar o conceito de inadimplência admissível a fim de se obter o percentual máximo suportado pelo fluxo de caixa de modo a manter a tarifa de pedágio do cenário-base.

Assim, após iterações na planilha de cálculo em Excel, o percentual de inadimplência que igualaria os ganhos com a redução no custo operacional seria de 13,57%. Sendo este calculado de modo linear, do 3º ano concessão, quando foi previsto o início da arrecadação da tarifa de pedágio, até o 30º ano concessão. Ou seja, 13,57% é o limite anual de frustação de

receita projetada que não prejudica o equilíbrio econômico-financeiro do fluxo de caixa do projeto.

Quando comparado o resultado obtido, com outros estudos, por exemplo, a KPMG (2019) obteve índices de evasão variando entre 2% e 15%, considerando apenas os operadores em modelo AETC (*All Electronic Toll Collection*), nos moldes do *free-flow*. Portanto, o índice de inadimplência admissível calculado, no presente estudo para o projeto, pode não ser o suficiente frente ao real índice de evasão observado, o que comprometeria o fluxo de caixa da concessão.

Para a segunda simulação realizada em relação ao índice de inadimplência, considerando para o 1º ano de cobrança o pior cenário de inadimplência do estudo de Benchmarking realizado pela KPMG, de 20% (KPMG, 2019), frente às economias estimadas no presente estudo para o projeto, foi obtido o valor de 13,11% de inadimplência para os demais anos concessão.

Na última simulação feita, considerando dessa vez o percentual fixo de 20% de frustração de receita anual de modo a obter a tarifa de equilíbrio do fluxo de caixa, o resultado foi um aumento de 8% da tarifa quilométrica em relação a do cenário-base. Isto representa o percentual de aumento tarifário que os 80% de usuários adimplentes teriam que suportar frente às inadimplências anuais. Para uma situação de patamar tarifário de R\$ 4,00, o aumento de 8% representaria R\$ 0,32 em cada ponto de cobrança.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Da literatura apresentada, constata-se os inúmeros benefícios relacionados à implantação de sistemas *free-flow* ao redor do mundo (Reichert e Taco, 2023). Dentre os quais convém destacar a justiça tarifária, a melhora da fluidez das vias, a redução de acidentes nas praças de pedágio, a diminuição dos custos operacionais dos veículos e os ganhos ambientais observados em termos de emissões de poluentes. Nesse sentido, a legislação brasileira e as políticas públicas relacionadas à modernização dos sistemas de arrecadação de pedágio têm avançado no intuito de proporcionar ao país os ganhos já observados e experimentados por outras nações que já adotam o *free-flow* em suas rodovias. Para alcançarem o sucesso, esses países tiveram de promover uma série de adequações em sua regulação e em seus normativos, caminho este que deverá ser percorrido também pelo Brasil. Assim, convém mencionar alguns aspectos encontrados nas referências estudadas que

fornecem subsídios interessantes sobre os próximos passos a serem adotados pelo governo brasileiro para a efetiva implementação desse sistema no país.

Dentre os entraves de diferentes naturezas (tecnológica, legal, de *enforcement* e de incentivos) para a adoção do *free-flow* no país, a questão da tecnologia aparenta ser a de menor relevância, uma vez que o Brasil já trabalha com as tecnologias mais usuais para identificação de veículos observadas na literatura, que são o RFID e o OCR (Milenkovic et al., 2018; Vassallo et al., 2020). Alinhado ao incentivo de não cobrança de *tags*, outro mecanismo verificado na literatura e que já está sendo considerado nos contratos de concessão é a oferta de descontos aos usuários que optarem pelo sistema eletrônico de pagamento de pedágio, ainda que tal frustração de receita esteja sendo compartilhada entre todos os usuários da via para que se mantenha o equilíbrio econômico-financeiro dos contratos. Mas o sucesso da implantação desse novo sistema de cobrança tarifária está diretamente relacionado a uma fiscalização efetiva e consequente punição dos evasores desde o início da cobrança eletrônica. Isto será essencial para sinalizar para os usuários infratores as consequências decorrentes do não pagamento da tarifa de pedágio no prazo estabelecido, de modo a contribuir para a redução das inadimplências.

A respeito da adoção do sistema *free-flow* em substituição às praças de pedágio, visando a redução de custos de arrecadação, o menor impacto ambiental e a fluidez no tráfego, as simulações realizadas para o trecho da BR-101/RJ/SP demonstraram que a implantação dos pórticos de cobrança *free-flow* nos mesmos pontos de cobrança originalmente estudados é vantajosa. Como apresentado, obteve-se uma redução tarifária de 14% ou permitindo margem para absorver até 13,5% de frustração de receita anual em função das inadimplências, que tende a ser maior do que no cenário com praça de pedágio. Porém, no que tange ao objetivo de justiça tarifária, a cobrança da tarifa de pedágio sendo feita igual no cenário-base, em apenas 3 pontos da rodovia, não viabiliza uma cobrança por quilômetro percorrido, no caso de o usuário não percorrer a extensão total do trecho.

O resultado da simulação para o caso de uma inadimplência anual de 20%, que com base em uma pesquisa realizada pela KPMG (2019) foi o maior percentual de inadimplência apontado, haveria um aumento de 8% da tarifa quilométrica em relação a do cenário-base, que representa o percentual de aumento tarifário que os 80% de usuários adimplentes teriam que suportar frente às inadimplências anuais.

É importante levar em conta que o estudo da substituição de praças por pórticos foi em um cenário em que as praças de pedágio não existiam. A alteração do sistema de cobrança

quando a praça já está construída, pode não trazer economia ao projeto, uma vez que não terá redução dos custos de investimentos e os custos com demolição e adequação das faixas de tráfego ainda caberão ser considerados.

Por outro lado, a simulação da cobrança por trecho homogêneo na rodovia em estudo, que aumenta 14 pontos de cobrança, apesar de atingir o objetivo de justiça tarifária, implicou a elevação em 24% da tarifa quilométrica do cenário-base. Além do menor potencial de arrecadação em relação ao cenário-base, o aumento do número de equipamentos necessários em função do aumento dos pontos de cobrança acaba por onerar de forma considerável o projeto.

Cabe destacar que o referido aumento da TKM se deu sem considerar qualquer aumento do percentual de inadimplência. Sendo confirmada a tendência de aumento da inadimplência devido à alteração do sistema de cobrança, o aumento de 24% calculado seria ainda maior, uma vez que o equilíbrio econômico-financeiro do projeto deve ser mantido. O aumento tarifário resultante dependeria das premissas da matriz de risco do contrato, que deve definir a alocação do risco de inadimplência.

Assim como no estudo utilizado como cenário-base, muitos outros projetos de concessão rodoviária no Brasil tendem por optar pela alocação de pontos de cobrança em trechos com maior volume de tráfego, objetivando um maior potencial de arrecadação, logo, uma menor tarifa quilométrica. Mas como foi apresentada, essa opção não visa a justiça tarifária, uma vez que muitos usuários que utilizam a rodovia acabam sendo subsidiados por outros.

Entretanto, as conclusões expostas para os cenários simulados de cobrança eletrônica de pedágio não consideraram as economias com os benefícios incrementais já observados desse sistema de cobrança, observados em outras realidades. Esses benefícios contribuem na redução dos custos de congestionamento devido à fila, redução do consumo de combustível e a redução dos custos com acidentes. Embora esses efeitos se tornam maiores à medida que o tráfego aumenta.

Finalmente, deve ser enfatizada a limitação da metodologia adotada para análise do tráfego. A não consideração de qualquer variação da taxa de fuga e, principalmente, a necessidade de consideração do mesmo volume de tráfego do TH 7 para os primeiros seis trechos homogêneos da rodovia em estudo, foram premissas adotadas devido à falta de informações de volumes de tráfego e não utilização de software.

Ainda, cabe frisar que o estudo de caso se refere apenas ao caso específico da BR-101/RJ/SP. Desse modo, os percentuais de inadimplências e de variações tarifárias obtidos dos cenários simulados não são valores universais. Mas o método proposto pode ser aplicado para análise de viabilidade da implantação do sistema *free-flow* em outras rodovias, inclusive, para a melhor alocação de risco contratual acerca da inadimplência decorrente da implantação desse sistema de cobrança.

REFERÊNCIAS

- 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 em Engenharia Mecânica. Universidade de São Paulo. 2010.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT), 2020. Audiência Pública lote NovaDutra - Estudos de Viabilidade Técnica - Relatório de Tráfego. Disponível em: <<https://participant.antt.gov.br/Site/AudienciaPublica/VisualizarAvisoAudienciaPublica.aspx?CodigoAudiencia=410>>. (Acesso em 10/01/2023).
- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT), 2021. Contrato RioSP – BR-116-101-RJ-SP. Disponível em: <<https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/rodovias/concessionarias/lista-de-concessoes/CCR-rio-sp/documentos-de-gestao/riosp-contrato-e-aditivos>>. (Acesso em 10/01/2023).
- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT), 2022. Resolução nº 5.999, de 3 de novembro de 2022. Dispõe sobre as regras para constituição e funcionamento de ambiente regulatório experimental (*Sandbox* Regulatório).
- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT), 2023. Últimas Notícias: *Free-Flow* tem início na BR-101/RJ (Rio-Santos) na segunda-feira (30/1). Disponível em <<https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ultimas-noticias/free-flow-tem-inicio-na-rio-santos-br-101>>. (Acesso em 06/02/2023).
- AGÊNCIA DE TRANSPORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO (ARTESP), 2023. Sistema Ponto a Ponto. Disponível em <<http://www.artesp.sp.gov.br/Style%20Library/extranet/rodovias/sistema-ponto-a-ponto.aspx>>. (Acesso em 31/01/2023).
- BARBOSA, S. H. Rodovias de pedágio aberto ou *free-flow*: perspectivas para a implantação no Brasil. Dissertação de Mestrado em Geotecnia e Transportes. Universidade Federal de Minas Gerais. 2013.
- CCR RioSP, 2023. *Free-flow*. Disponível em: <<https://freeflow.ccrriosp.com.br/>>. (Acesso em 19/01/2023).
- Confederação Nacional do Transporte (CNT). Novas tecnologias de pagamento de pedágio. Disponível em: <<https://cdn.cnt.org.br/diretorioVirtualPrd/bf8665da-3e39-45cf-9fdb-2dbbafc9ddd4.pdf>>. (Acesso em 31/01/2023). 2020.
- ELLIS, T.. High Compliance Free-Flow Road User Charging Systems. *IET and ITS Conference on Road Transport Information and Control – RTIC*. 2012.
- HERAS-MOLINA, et al. (2017). Drivers' adoption of electronic payment in the Spanish toll road network. *Transportation*, v. 46. Nº. 3, pp. 931-955. 2017.
- INSTITUTO BRASIL LOGÍSTICA (IBL). Free-Flow - Desafios Para Implantação De Pedágio De Fluxo Livre no Brasil. Disponível em: <<https://ibl.org.br/wp-content/uploads/2021/05/1Free-Flow-Desafios-para-Implantacao-de-Pedagio-de-Fluxo-Livre-no-Brasil-IBL.pdf>> (Acesso em 29/01/2023). 2021.
- JOU, R-C. e G-L. HUANG (2013). Willingness to pay price for tolls and on-board units for short-distance freeway users who normally avoid toll booths. *Transport Policy* v. 31 (2014), 10-18. 2013,
- JOU, R-C et al. Freeway drivers' willingness-to-pay for a distance-based toll rate. *Transportation Research Part A* nº 46 (2012), 549-559. 2011.
- KPMG. A global benchmark of Toll Operator efficiency. Disponível em: <<https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/cl/pdf/2019-07-kpmg-chile-advisory-toll-benchmarking-study.pdf>>. (Acesso em 12/02/2023). 2019.

- Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997 – Código de Trânsito Brasileiro (CTB). Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19503compilado.htm>. (Acesso em 15/10/2021).
- Lei nº 14.157, de 1º de junho de 2021. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.157-de-1-de-junho-de-2021-323553438>>. (Acesso em 15/10/2021).
- MILENKOVIC, M.; et al. Decision-Support Framework for Selecting the Optimal Road Toll Collection System. *Journal of Advanced Transportation*, v. 2018.
- Resolução CONTRAN nº 984, de 15 de dezembro de 2022. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-contran-n-984-de-15-de-dezembro-de-2022-453560318>>. (Acesso em 11/01/2023).
- Resolução CONTRAN nº 985, de 15 de dezembro de 2022. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-contran-n-985-de-15-de-dezembro-de-2022-453475301>>. (Acesso em 11/01/2023).
- SANTOS, T. S e P. C. M. Ribeiro. Estudo de impacto da implantação do sistema *free-flow* de pedágio eletrônico no Brasil. *XVI Congresso de Ensino e Pesquisa de Engenharia de Transportes do Estado do Rio de Janeiro*, 2018.
- SCHURGELIES, C, et al. *Free-flow* na concessão da BR-101/SC: Proporcionalidade tarifária e estimativa da inadimplência admissível. XII Congresso ABCR Brasvias – Bienal das Rodovias (2022).
- TSENG, PH.; N. PILCHER. Political and technical complexities of electronic toll collection: Lessons from Taiwan. *Case Studies on Transport Policy* v. 10, 444-453. 2022.
- VASSALLO, J. M. et al. Urban Toll Highway Concession System in Santiago, Chile: Lessons Learned after 15 Years. *Journal of Infrastructure Systems*. 2020.
- WILLUMSEN, L. G. London congestion charging and urban tolling in Chile: contrasts and lessons on fairness and project finance. *PIARC Seminar on Road*. 2004.

Tabela 1 - Cotação para as estruturas e sistemas a serem implementados no free-flow da BR-101/RJ/SP. Data-base outubro/2019

Item	Custo de Aquisição [R\$]	Dimensionamento	Aquisição	Reposição parcial
Pórtico para free-flow (estrutura)	72.000,00	1 por ponto de cobrança	Ano 1	Anos 6, 11, 16, 21 e 26
Sistemas para free-flow (câmeras, sensores, gerador, etc.)	997.933,64	1 por ponto de cobrança	Ano 1	Anos 6, 11, 16, 21 e 26
Painel de Mensagem Variável com pórtico	405.899,00	1 por ponto de cobrança	Ano 1	Anos 6, 11, 16, 21 e 26

Tabela 2 - Estimativa de salário e encargos para os funcionários do free-flow. Data-base outubro/2019

Função	Custo Mensal por funcionário [R\$]	Dimensionamento	Turnos (8h)	Multiplicador de férias e ausências
Supervisor de pedágio	8.041,65	1 a cada 150km	1	1
Agente de verificação de imagens	3.489,93	1 posto por turno a cada 2 pontos de cobrança	3	1,47

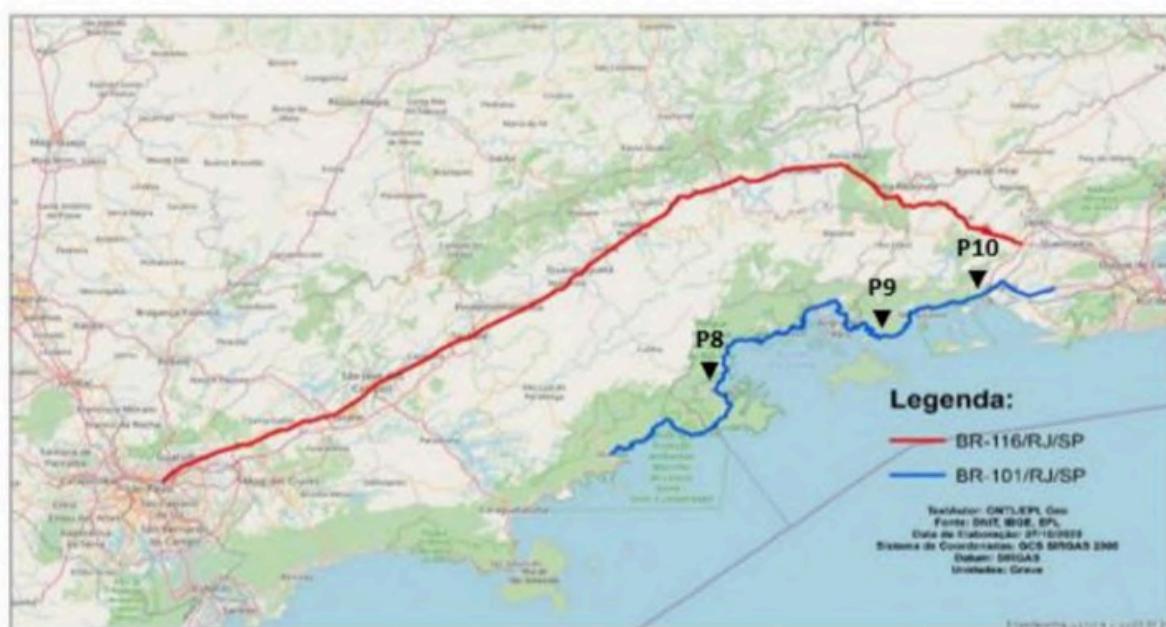


Figura 1: Localização do Trecho da Área de Estudo – Sistema Rodoviário Rio - São Paulo

(Fonte: ANTT 2021)

	TH1	TH2	TH3	TH4	TH5	TH6	TH7	TH8	TH9	TH10	TH11	TH12	TH13	TH14	TH15	TH16	TH17
TH1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11484	0,08577	0,07839	0,08103	0,07131	0,05521	0,06312	0,05632	0,05176	0,04620	0,04546	
	-0,42	-0,70	-0,80	-0,89	-1,15	-1,24	+2,48	+1,93	+1,72	+3,80	+2,97	+1,45	+3,44	+2,37	+1,50	+0,20	0,00
TH2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15530	0,10649	0,09534	0,08925	0,07758	0,05890	0,06628	0,05883	0,05387	0,04787	0,04708	
	-0,27	-0,38	-0,47	-0,73	-0,81	+2,96	+2,35	+2,14	+4,02	+3,39	+1,87	+3,86	+2,79	+1,92	+0,62	+0,42	
TH3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20097	0,12615	0,11081	0,09549	0,08226	0,06155	0,06850	0,06057	0,05533	0,04902	0,04819	
	-0,10	-0,20	-0,45	-0,54	+3,17	+2,62	+2,42	+8,29	+3,66	+2,14	+4,13	+3,06	+2,19	+0,89	+0,70		
TH4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22651	0,13576	0,11815	0,09812	0,08420	0,06264	0,06939	0,06126	0,05591	0,04947	0,04863	
	-0,09	-0,35	-0,44	+3,20	+2,78	+2,32	+6,86	+5,77	+4,25	+4,74	+3,17	+2,30	+1,00	+0,80			
TH5	0,00	0,00	0,25465	0,14538	0,12538	0,10053	0,08597	0,06361	0,07018	0,06188	0,05642	0,04987	0,04902				
	-0,26	-0,35	+3,37	+2,82	+2,61	+6,49	+3,86	+2,34	+4,38	+3,26	+2,39	+1,09	+0,89				
TH6	0,00	0,39421	0,18221	0,15185	0,10809	0,09144	0,06656	0,07254	0,06371	0,05794	0,05105	0,05016					
	-0,09	+3,63	+3,08	+2,87	+8,75	+4,12	+2,60	+4,59	+3,52	+2,65	+1,35	+1,15					
TH7	0,48233	0,19902	0,16334	0,11087	0,09342	0,06760	0,07337	0,06434	0,05846	0,05146	0,05055						
	+3,71	+3,16	+7,96	+6,51	+4,21	+2,68	+4,81	+3,61	+2,73	+1,43	+1,24						
TH8	0,00	0,00	0,06259	0,05168	0,03632	0,05150	0,04487	0,04060	0,03556	0,03491							
	-0,55	-0,75	+1,12	+0,49	-1,03	+0,96	-0,11	-0,98	-2,28	-2,48							
TH9	0,00	0,07679	0,06100	0,04069	0,05574	0,04806	0,04319	0,03753	0,03680								
	-0,20	+1,67	+1,04	-0,48	+1,51	+0,44	-0,43	-1,73	-1,93								
TH10	0,08388	0,06539	0,04259	0,05751	0,04936	0,04424	0,03832	0,03756									
	+1,87	+1,25	-0,28	+1,71	+0,65	-0,23	-1,53	-1,72									
TH11	0,00	0,00	0,04376	0,03498	0,03005	0,02484	0,02421										
	-0,63	-2,15	-0,16	-1,23	-2,10	-3,40	-3,60										
TH12	0,00	0,05133	0,03965	0,03343	0,02711	0,02636											
	-1,52	+0,47	-0,60	-1,47	-2,77	-2,97											
TH13	0,08846	0,05868	0,04602	0,03483	0,03360												
	+1,99	+0,92	+0,05	-1,25	-1,45												
TH14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	-1,07	-1,94	-3,24	-3,44													
TH15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	-0,87	-2,17	-2,37														
TH16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	-1,30	-1,50															
TH17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Legenda
TKM real (R\$/km)
Diferença tarifa paga
-+

Figura 2: Pares entrada-saída do trecho concedido da BR-101/RJ/SP. O primeiro valor é a TKM real no cenário-base; o segundo valor é o que o usuário com automóvel subsidia (+) ou é subsidiado (-)

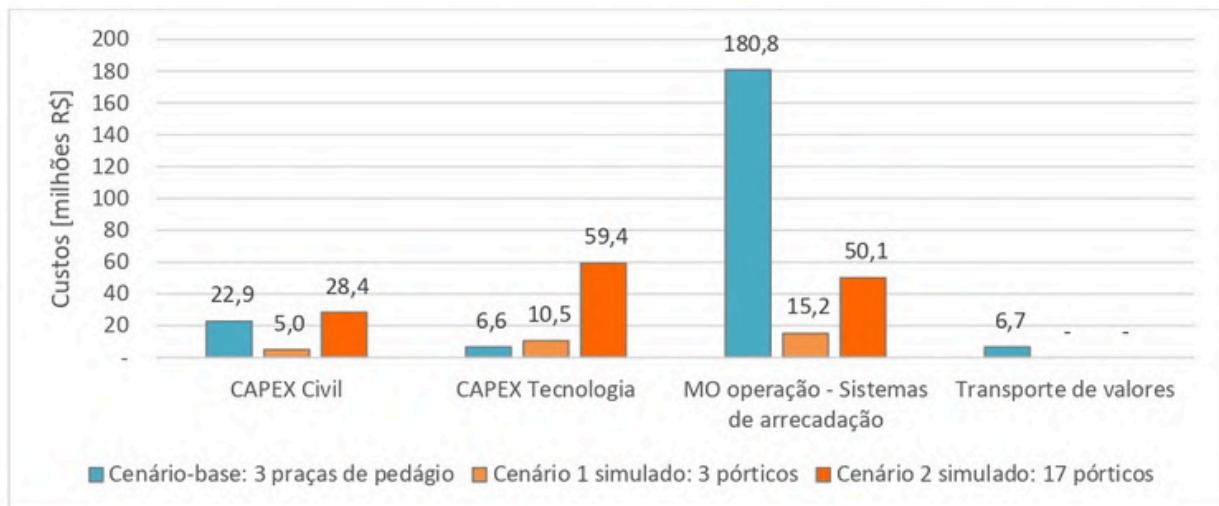


Figura 3: Comparação entre os custos do sistema de cobrança do cenário-base e dos cenários com cobrança *free-flow*. Data-base: out/2019

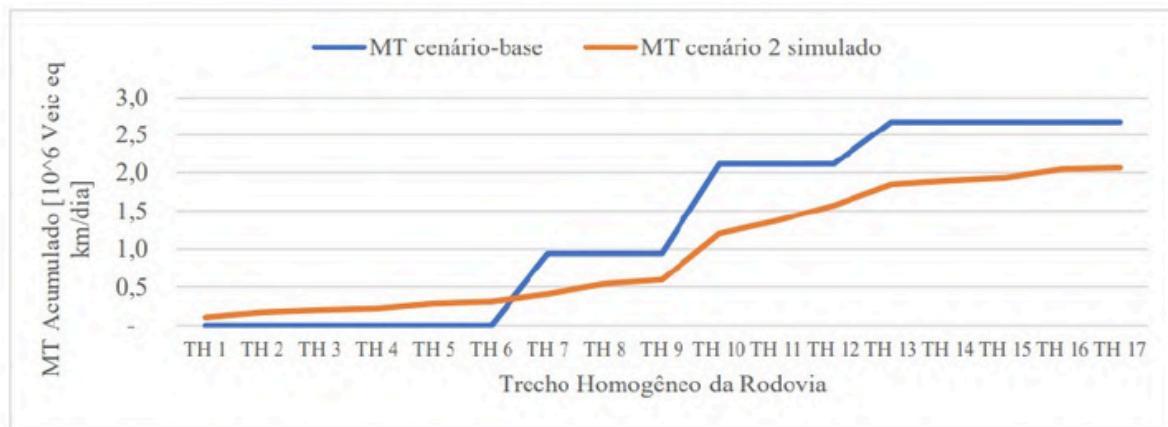


Figura 4: Momento de transporte acumulado para o cenário-base e para o cenário de cobrança por trecho homogêneo, no ano de 2023

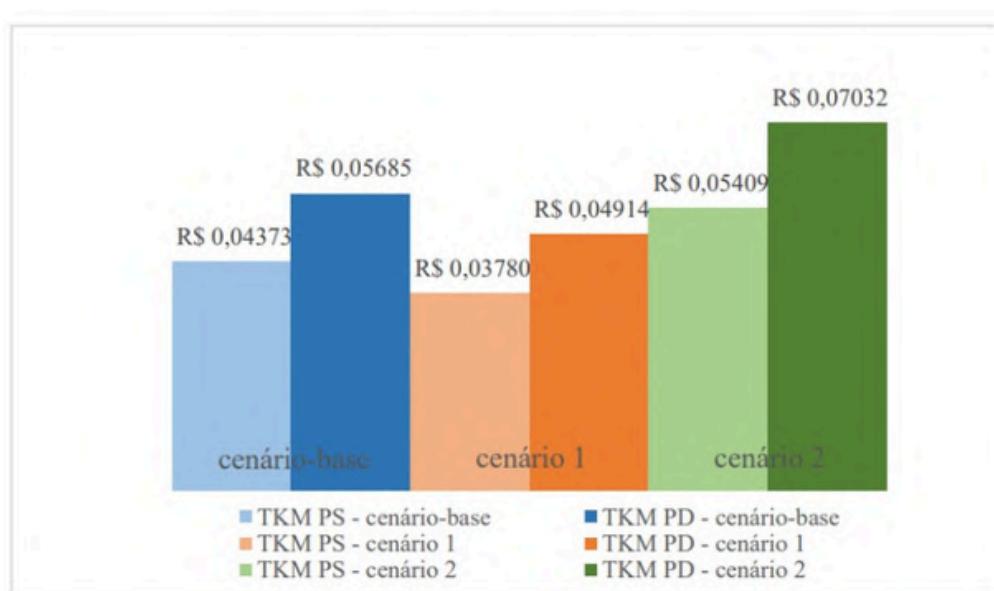


Figura 5 - Comparação entre as TKMs de cada cenário. Data-base: out/2019

Cenário	Tarifa Cobrada no Trecho Homogêneo [R\$] - ano 3																
	TH1	TH2	TH3	TH4	TH5	TH6	TH7	TH8	TH9	TH 10	TH 11	TH 12	TH 13	TH 14	TH 15	TH 16	TH 17
Cenário-base	-	-	-	-	-	-	4,10	-	-	4,09	-	-	4,10	-	-	-	-
Cenário 1: 3 pontos de cobrança	-	-	-	-	-	-	3,54	-	-	3,54	-	-	3,54	-	-	-	-
Cenário 2: Cobrança por TH (17 pontos)	0,65	0,42	0,16	0,14	0,40	0,13	0,60	0,65	0,24	2,64	0,75	1,81	2,50	1,27	1,04	1,55	0,23

Somatório da tarifa paga no trecho percorrido TH7 – TH13:

Cenário-base – R\$ 12,29
Cenário 1 – R\$ 10,62
Cenário 2 – R\$ 9,19

Figura 6: Somatório da tarifa paga no trecho percorrido TH7 - TH13

ANÁLISE DE IMPACTO REGULATÓRIO NA SOLUÇÃO DE CONCESSÕES EM CRISE

RESUMO

O artigo parte de duas constatações: i) o ordenamento jurídico dispõe de diversos instrumentos para a solução de concessões em crise; ii) todos esses instrumentos estão na competência discricionária do regulador, vale dizer, diante de uma concessão em crise, ele pode escolher qualquer deles.

Defende-se, nesse contexto, que a Análise de Impacto Regulatório seria uma ferramenta importante para ao mesmo tempo racionalizar e legitimar a decisão do regulador, atribuindo a ele subsídios para a adoção do instrumento que melhor atenda o interesse público.

AUTORES

Andre Peron Pereira Curiati

3º LUGAR

Categoria I

**INOVAÇÕES JURÍDICO
REGULATÓRIAS EM PROL DA
SUSTENTABILIDADE ECONÔMICA
DOS CONTRATOS**

Análise de Impacto Regulatório na solução de concessões em crise

Introdução: delimitando as concessões em crise

O longo prazo associado a contratos de concessão de infraestrutura produz um paradoxo. De um lado, trata-se de característica essencial para que os investimentos economicamente pesados, geralmente realizados nos primeiros anos da concessão, possam ser devidamente amortizados com a cobrança de tarifas ou contraprestações públicas e outras receitas acessórias, assegurando-se, ainda, uma taxa de retorno à concessionária.

De outro, cria-se uma necessidade de que as partes lidem com eventuais cenários adversos. Reconhece-se que, ainda que o contrato contenha clausulado detalhado e moderno, nem sempre ele será suficiente para responder a todos os eventos que se materializarão ao longo da avença.

Isso diz respeito não apenas a fatores externos à concessão – como uma crise econômica ou sanitária ou até mesmo um fato do princípio – mas, também, sobre o comportamento das partes. É notório o problema da seleção adversa nos leilões de infraestrutura, mas é igualmente relevante que se considere o grau de cumprimento dos contratos pelo próprio Poder Concedente.

Neste contexto, um cenário adverso, a depender de sua magnitude, pode acabar por prejudicar intensamente o bom andamento do contrato, levando-o a uma crise. Segundo Freire (2023a; p. 618), uma *concessão em crise* pode ser caracterizada pela não realização das obrigações de investimento da concessionária, total ou parcialmente, ou pelo não cumprimento dos parâmetros de desempenho contratuais.

Evidentemente, não se trata de uma inexecução pontual e pouco relevante, mas, sim, de um inadimplemento grave e estrutural, que coloque em risco a concessão e dificulte o fornecimento aos usuários das melhorias esperadas com a prestação do serviço. Fosse um descumprimento contratual isolado e de baixo impacto, a própria ideia de “crise” seria afastada, pois onde há algo pontual e irrelevante não há crise. A resposta para esses casos seria a instauração de um processo administrativo para a apuração de irregularidades e, sendo o caso, a aplicação de multas ou advertências.

Os motivos para uma crise contratual podem ser diversos. Pode-se falar da dificuldade da concessionária em obter financiamento, em razão dos investidores estarem enfrentando processos judiciais nos quais são acusados de corrupção (FREIRE, 2023a; p. 618) ou de outros fatores que prejudiquem sua reputação. Como, em regra, a viabilidade econômico-financeira de

uma concessão depende de financiamento, em uma estrutura de *project finance*, a frustração em sua obtenção pode prejudicar a execução dos investimentos previstos.

Além disso, uma crise contratual pode ocorrer em razão da inexequibilidade da proposta vencedora da concessão, especialmente nos leilões em que o critério de seleção é o de menor tarifa, no qual vence quem apresenta o maior deságio à tarifa estabelecida no edital.

Na maior parte das concessões de infraestrutura, a tarifa é a principal fonte de receita da concessionária, que deve ser suficiente para a amortização dos investimentos, custos e despesas da concessão¹ e assegurar um retorno ao investidor com a oportunidade do negócio. Desta forma, propostas agressivas de desconto tarifário podem prejudicar o compromisso concessório, uma vez que a tarifa poderá ser insuficiente para o cumprimento das obrigações de investimento e parâmetros de desempenho, penalizando sua saúde econômico-financeira.

É possível mencionar, ainda, a superveniência de eventos imprevisíveis, que afetam de forma significativa as receitas e despesas das concessionárias, como a crise econômica de 2013 e a pandemia de Covid-19, que repercutiram negativamente na demanda de usuários pelos serviços concedidos, como os de transportes, e no preço de insumos de obras de infraestrutura.

Eventos como esses podem gerar litígios entre regulador e regulado, pois a concessionária sempre tenderá a defender que o evento imprevisível configura risco do Poder Concedente e que, portanto, deve gerar um reequilíbrio econômico-financeiro do contrato. A agência reguladora ou o Poder Concedente, por sua vez, podem entender de forma diversa.

Há situações em que, ainda que o direito a reequilíbrio contratual seja reconhecido pela própria agência reguladora ou Poder Concedente, este não é efetivado por ser inviável técnica ou politicamente (descrédito perante os usuários ou receio de órgãos de controle), gerando uma dívida a ser paga à concessionária.

Em qualquer dos casos, é comum a deflagração de judicializações ou a instauração de procedimentos arbitrais, cuja decisão final se arrasta ao longo da concessão. Com o tempo, o não processamento – sendo isto devido, ou não – ou o atraso do reequilíbrio podem levar à deterioração da capacidade econômico-financeira da concessionária, afetando tanto sua capacidade de investimento quanto sua capacidade de cobrir os custos operacionais, causando inadimplementos contratuais de sua parte (BOGOSSIAN, 2018; p. 4).

¹ Cf., por exemplo, o Edital de Concessão n. 006/2013 da BR-040/DF/GO/MG: Item 9.3 A Proposta Econômica Escrita deverá considerar as seguintes premissas: I. todos os investimentos, tributos, custos e despesas, incluindo, mas não se limitando às financeiras, necessários para a exploração da Concessão [...]

Independentemente de seu evento motivador, a crise contratual acaba gerando um quadro desafiador para a concessão: ao mesmo tempo em que os investimentos e parâmetros de desempenho não são cumpridos, as sanções (em regra, multas) aplicadas pelo regulador como resposta a essas inexecuções também não são recolhidas, pois, a depender da causa da crise, elas tendem a ser igualmente objeto de contestação judicial ou arbitral pelas concessionárias, que alegarão falta de recursos pela materialização de risco que não é seu, gerando um relevante *passivo regulatório*.²

Diante desse cenário, é preciso que Poder Concedente ou agência reguladora adotem medidas que sejam aptas a solucionar esse quadro de crise na concessão.

Este artigo, no primeiro item, pretende apresentar quais são esses possíveis caminhos, chamando a atenção para a discricionariedade inherente à escolha do regulador. Em seguida, considerando a necessidade de que a decisão seja ao mesmo tempo racional e legítima, utiliza-se quatro situações em que a ANTT se deparou com a necessidade de solucionar concessões em crise (“caso ANTT”) para demonstrar como a Análise de Impacto Regulatório pode contribuir na escolha da medida para cada caso concreto. Por fim, propõe-se, a partir do caso ANTT, algumas diretrizes na utilização da Análise de Impacto Regulatório para auxiliar os reguladores em geral na solução de concessões em crise.

1. Os diferentes instrumentos para a solução de concessões em crise e a discricionariedade na decisão do regulador

As diversas medidas previstas no ordenamento jurídico para dar solução a concessões em crise devem ser entendidas como *técnicas regulatórias* e, como tais, intercambiáveis entre si e voltadas, todas elas, à satisfação das finalidades públicas (PALMA, 2021; p. 431).

Em outros termos, diante de um quadro de estrutural inadimplência por parte da concessionária (característica, como visto, inerente a uma crise contratual), o regulador pode escolher a alternativa que considera mais adequada para se atingir o interesse público, desde que haja suficiente motivação (PALMA, 2021; p. 442).

Esse caráter instrumental decorre da discricionariedade atribuída ao regulador na escolha da técnica regulatória. É que o ordenamento jurídico não estabelece uma resposta automática para as infrações graves em contratos de concessão. Nem mesmo a caducidade, que possui

² Para Nasser (2022, p. 606), “o conjunto de valor líquidos normalmente devidos pela concessionária (multas, valores de outorga vencidos e taxas de fiscalização) somado aos valores ilíquidos devidos, tais como montantes de investimento a serem realizados, créditos de reequilíbrio em favor do poder concedente e valor de outorga ainda a vencer, compõem aquilo que se pode chamar de ‘passivo regulatório’ da concessionária”.

natureza sancionatória, é medida cogente, considerando que o art. 38, *caput*, da lei n. 8.987/95 diz que, diante de inexecução total ou parcial do contrato, fica “a critério do Poder Concedente” a declaração de caducidade, que poderá, alternativamente, aplicar outras sanções administrativas. O § 1º, ainda, diz que a caducidade “poderá” ser aplicada – e não “deverá”.

As técnicas regulatórias para enfrentar concessões em crise podem ser classificadas em técnicas unilaterais, bilaterais e trilaterais.³

No primeiro grupo, encontra-se a caducidade e a intervenção (ambas previstas na lei n. 8.987/95), que representam poderes da Administração Pública que a colocam em posição de supremacia perante a concessionária (DI PIETRO, 2019; p. 102) e que, portanto, podem ser utilizadas independentemente de sua aquiescência e de interpelação judicial.

No grupo das técnicas bilaterais estão aquelas que dependem de concordância de ambas as partes – regulador e regulado – para sua materialização e que, em regra, são de iniciativa da própria concessionária. É o caso da relíctitação, da rescisão amigável, do termo de ajustamento de conduta (TAC) e da repactuação do contrato.

As técnicas trilaterais, por fim, são aquelas que não envolvem apenas regulador e concessionária, mas também um terceiro. Neste grupo, estão as soluções de mercado, como a transferência de controle acionário ou da própria concessão, e o *step-in rights*, em que financiadores ou garantidores da concessão assumem seu controle ou administração temporária para promover a reestruturação financeira e assegurar a continuidade da prestação dos serviços.

A tabela 1, constante do Anexo deste documento, apresenta o respaldo legal, a extensão da discricionariedade do regulador, os efeitos gerados e os benefícios e possíveis gargalos associados à utilização dessas medidas. Ressalta-se que não há pretensão de exaustividade, mas, apenas, conferir um panorama geral das principais características de cada uma das técnicas regulatórias aqui tratadas.

É possível, ainda, a utilização concomitante de mais de uma técnica regulatória. Exemplo mais claro disso é a chamada *venda assistida*, em que há uma repactuação do contrato (reprogramação de investimentos, alteração de matriz de riscos, manutenção da tarifa etc.), na medida em que necessário para a retomada do curso saudável da concessão, e, em seguida, uma transferência do controle acionário da concessionária para terceiro, que passará a gerir o ativo.

³ Outras técnicas podem ser consideradas, mas as citadas neste texto são as tradicionalmente mencionadas.

As duas etapas seriam supervisionadas (“assistidas”) e anuídas pelo Poder Concedente com o auxílio de um verificador independente, que garantiriam a lisura no procedimento. Seria uma alternativa à pura repactuação, reduzindo o risco moral, e ao processo moroso de relicitação (MARCATO; COHEN, 2023).

Considerando a variedade de técnicas regulatórias disponíveis na legislação e a discricionariedade atribuída ao regulador, como escolher? Estaria ele integralmente livre nessa decisão? O próximo item busca responder a estas questões.

2. Como racionalizar e legitimar a decisão? O caso ANTT

Embora a legislação atribua discricionariedade ao regulador na tomada de decisão frente a uma concessão em crise, entendo que a escolha da técnica regulatória não deve ser inteiramente livre, mas, sim, antecedida de uma avaliação dos possíveis efeitos positivos e negativos a serem produzidos por cada uma das opções viáveis para o caso. Um instrumento que serve a este propósito, já consolidado na teoria da regulação, é a Análise de Impacto Regulatório (AIR).

Reconhece-se que não há obrigação legal no uso de AIR na escolha de soluções para concessões em dificuldade, já que a legislação se limita a exigir a sua utilização nos atos normativos da Administração Pública.⁴ No entanto, meu argumento é que o regulador teria muito a ganhar ao proceder com essa análise prévia.

Sob o ponto de vista interno (da própria Administração), a AIR *racionaliza* a decisão administrativa, pois confere subsídios para que o regulador utilize a técnica com melhor custo-benefício. De fato, se o ordenamento jurídico dispõe de diversas técnicas que podem ser utilizadas para resolver uma concessão em crise, é ponderado que o regulador adote práticas que o auxiliem na escolha daquela que melhor atenda ao interesse público.

Sob o ponto de vista externo, considerando que se trata de tema sensível (o futuro de uma concessão) e que, portanto, tem o potencial de gerar reações de órgãos de controle e da própria concessionária, a AIR *legitima* a decisão administrativa, evitando ingerências de tribunais de contas, Ministério Público e Judiciário em relação à medida escolhida pelo regulador.

Ainda que haja questionamentos externos, a elaboração da AIR é benéfica por deslocar o foco da fiscalização dos órgãos de controle para a qualidade da AIR e para a motivação adotada

⁴ O decreto n. 10.411/2020, que disciplina a AIR em âmbito federal, assim estabelece: Art. 3º A edição, a alteração ou a revogação de atos normativos de interesse geral de agentes econômicos ou de usuários dos serviços prestados, por órgãos e entidades da administração pública federal direta, autárquica e fundacional será precedida de AIR.

pelo regulador a partir dos impactos das medidas – ou seja, para o processo administrativo –, e não propriamente sobre o mérito da decisão.

Para testar o argumento aqui defendido, é ilustrativa situação recentemente experimentada pela ANTT em relação a algumas concessionárias que integram a 2^a e a 3^a etapas do Programa de Concessões de Rodovias Federais que vinham passando por um severo quadro de inadimplência contratual.⁵ Considerando a possibilidade de se valer de mais de uma técnica regulatória, a Agência realizou AIR para identificar qual medida seria mais vantajosa para o interesse público.

Ao todo, considerando estas duas etapas do Programa, foram realizadas quatro AIR, nas concessões de Autopista Fluminense, Concebra, Rota do Oeste (CRO) e K-Infra.⁶

Em todos os casos, a AIR foi elaborada pela Superintendência de Infraestrutura Rodoviária (SUROD), sendo que em apenas dois deles por solicitação de membros da Diretoria Colegiada – nos demais, a área técnica realizou a análise de ofício, por considerar que seria subsídio importante para a decisão final.

A ANTT reconhece que não há exigência legal, mas opta por realizar a AIR por se tratar de prática salutar considerando que “o ordenamento jurídico possibilita a adoção de mais de uma alternativa no caso concreto e que, por se tratar de atos discricionários, deve ser avaliada a sua oportunidade e conveniência, notadamente quanto à razoabilidade e proporcionalidade”.⁷

Para contextualizar as AIR em análise, o quadro abaixo indica a magnitude da crise de cada uma das quatro concessões, na forma em que descrita no próprio relatório de AIR:

Tabela 2. Panorama geral das AIR em análise

Concessionária	AIR	Magnitude da crise
Autopista Fluminense	AIR n. 7277743/2021	Apesar de apresentar, na ocasião da AIR, uma boa taxa de cumprimento contratual, a projeção do fluxo de caixa da concessão apontava para uma insuficiência de receitas para fazer frente às obrigações de investimento e operacionais exigíveis no prazo remanescente

⁵ Para uma síntese dos fatores que levaram as concessões de rodovias da 2^a e 3^a etapas à situação de crise contratual, remeto o leitor à Freire (2023b).

⁶ Estes casos são mencionados no estudo de Freire (2023b; pp. 21-22) sobre a efetividade dos remédios regulatórios para a solução de concessões de rodovias federais em crise. Como o autor não apresenta a metodologia que utilizou para a identificação dos casos, realizei pedido de LAI (Protocolo n. 50001.024378/2024-42) à ANTT questionando se existiriam outros casos em que a Agência se valeu da AIR para analisar a solução de concessões em crise. Em resposta, a Agência se negou a conceder a informação, sob o argumento de que o pedido seria desproporcional e a coleta das informações prejudicaria as atividades rotineiras da ANTT. De todo modo, os casos mencionados por Freire (2023b) já são suficientes para se avaliar como a AIR pode ser útil para a solução de concessões em crise e, entendo, possuem confiabilidade amostral, considerando que o autor foi Superintendente de Infraestrutura Rodoviária (SUROD) da ANTT – que é a área responsável pela elaboração das AIR objeto de análise.

⁷ Cf. Despacho SEI 12321640 do Diretor-relator no Processo n. 50500.096903/2021-58 (caducidade da K-Infra).

Concebra	AIR n. 5903525/2021	Alta taxa de não execução dos investimentos da concessão, que varia entre 87% e 100%, a depender da obra, e de não cumprimento dos parâmetros de desempenho (grande número de autos de infração e termos de registro de ocorrência lavrados pela ANTT)
CRO	Nota Técnica n. 3350/2021	Diante das inexecuções da concessionária (descumprimento de obrigações de investimento e multas recebidas e não pagas), a ANTT instaurou processo preliminar de caducidade, oportunizando a correção das inconformidades identificadas. Como resposta, a concessionária apresentou proposta de TAC + transferência de controle acionário, que é uma das técnicas consideradas pela ANTT na AIR
K-Infra	AIR s/n (doc. SEI 12498905)	Diante das inexecuções da concessionária, foram celebrados dois TAC – um para postergação dos investimentos inadimplidos e outro para conversão do passivo de multas em novos investimentos. Ambos foram descumpridos e a ANTT instaurou, então, processo preliminar de caducidade, oportunizando a correção das inconformidades. A concessionária não realizou as correções. Na ocasião da AIR, havia um grande passivo regulatório (investimentos não realizados e cerca de 854 milhões em multas não pagas, com processos sancionadores concluídos e em curso)

Fonte: elaboração própria

Para a elaboração das AIR, a ANTT seguiu a estrutura do art. 6º do decreto n. 10.411/2020, que disciplina o conteúdo do relatório de AIR, e as diretrizes de seu Manual de Análise de Impacto Regulatório (3ª edição), aprovado pela Deliberação n. 393/2020. Desta forma, as AIR foram segmentadas nos seguintes itens: problema regulatório; agentes afetados pelo problema; objetivos que se pretende alcançar; alternativas possíveis para o enfrentamento do problema; os possíveis impactos das alternativas identificadas; comparação das alternativas, a partir de seus impactos; e escolha da alternativa que melhor atenda aos objetivos pretendidos.⁸

O *problema regulatório* é similar em todos os casos, estando relacionado, de um lado, à grande inadimplência da concessionária frente às obrigações contratuais – ou à projeção de inadimplência futura, no caso da Autopista – e ao passivo de multas, conforme já destacado na tabela 2, e, de outro, à provável incapacidade da concessionária em retomar os investimentos da concessão, considerando sua situação de insolvência, decorrente, entre outras razões, da insuficiência de recursos para fazer frente aos juros de financiamento de curto prazo contratados (Concebra e CRO) e dificuldade na captação de novos financiamentos e dependência de aporte de controladores (Autopista).

A ANTT identificou quatro *agentes afetados* por esse problema regulatório: usuários da rodovia, Poder Público, a própria concessionária e seus financiadores.

⁸ Alguns passos não foram incluídos, a saber: considerações recebidas em processos de participação social em relação ao tema em análise; mapeamento da experiência internacional; identificação dos efeitos decorrentes da edição, alteração ou revogação do ato normativo; e descrição da estratégia para implementação da alternativa sugerida. Todas elas estão associadas a um ato normativo (que possui caráter geral e em que a AIR é obrigatória) e, talvez por essa razão, não tenham sido consideradas pela ANTT nas AIR em análise.

Os usuários seriam os mais afetados pela situação da concessão, na medida em que são obrigados a pagar as tarifas de pedágio mas não recebem contraprestação efetiva no que diz respeito à qualidade das rodovias e prestação do serviço.

O Poder Público, por sua vez, seria atingido em seus diversos âmbitos: ANTT (que deve fiscalizar a concessão e agir para solucionar o problema), Ministério dos Transportes (responsável pela política pública de transportes), PRF (tende a ser mais demandada em razão da degradação da rodovia) e até mesmo o DNIT, que pode ser obrigado a gerir a rodovia caso o contrato de concessão seja extinto.

A concessionária e os financiadores, por fim, também são prejudicados pela inexecução contratual por não observarem o retorno econômico esperado com a exploração da concessão, seja pelo passivo regulatório que supera a arrecadação de receitas (concessionária), seja pelo não recebimento dos juros pelos financiamentos contratados (financiadores).

Considerando, então, o problema regulatório e os agentes afetados, a ANTT definiu a continuidade do serviço público – com a retomada, no menor tempo possível, dos investimentos da concessão e do cumprimento dos parâmetros de desempenho e a quitação do passivo de multas –, como o *objetivo a ser alcançado* por sua ação regulatória.

Para a seleção das *alternativas* possíveis para enfrentar o problema regulatório e atingir o objetivo traçado, o Manual de Análise de Impacto Regulatório da ANTT estabelece três diretrizes principais: considerar uma não ação (manutenção da situação atual); mapear todas as alternativas possíveis (sendo no mínimo duas além da não ação); e, a partir do mapeamento anterior, excluir aquelas inviáveis, motivando o descarte.⁹

Nestes termos, as quatro AIR em análise consideraram, inicialmente, as seguintes alternativas, não integralmente coincidentes, conforme o quadro abaixo:

Tabela 3. Técnicas consideradas inicialmente nas AIR em análise

Concessionária	Técnicas consideradas inicialmente na AIR
Autopista Fluminense	Não fazer nada, caducidade ou relicitação
Concebra	Não fazer nada, caducidade, relicitação ou intervenção
CRO	Não fazer nada, caducidade, relicitação ou TAC + transferência do controle da concessionária
K-Infra	Não fazer nada, caducidade, relicitação ou intervenção

Fonte: elaboração própria

⁹ Cf. Manual de Análise de Impacto Regulatório (p. 24). Disponível em: <https://encurtador.com.br/dSEFD>. Acesso em: 21 jun. 2024.

A intervenção foi descartada nas AIR de K-Infra e Concebra logo no início da análise (sem sequer ter seus impactos aferidos), uma vez que a área técnica entendeu que essa alternativa demandaria que a ANTT realizasse, com recursos da própria concessão, uma nova administração apta a cumprir as obrigações contratuais inadimplidas. No entanto, como um dos problemas enfrentados pela concessionária poderia ser justamente a falta de recursos, a intervenção não seria adequada para resolver o problema regulatório.

A opção de “não fazer nada” também foi descartada em todas as AIR, já que a área técnica entendeu que uma “não ação” poderia não apenas manter a má situação de prestação do serviço, como também agravá-la ainda mais. Neste caso, porém, foram considerados os impactos da omissão regulatória, para fins comparativos com as alternativas comissivas.

Vale mencionar, também, que, não obstante a caducidade tenha sido considerada nos casos de Concebra e CRO, a medida não poderia ser utilizada pela ANTT em virtude de impedimentos por força de decisões arbitrais. A relicitação do trecho administrado pela CRO igualmente não seria possível, considerando que a concessionária, na ocasião da elaboração da AIR, não havia ainda apresentado pleito de devolução amigável.

Esses fatores, portanto, pesaram em desfavor da utilização da caducidade e da relicitação nos casos mencionados, pois seria necessário aguardar decisão favorável à ANTT no processo arbitral (caducidade) e o requerimento da concessionária (rellicitação). Ou seja, o fator tempo acabou sendo agregado à AIR.

Mapeadas as alternativas regulatórias, a área técnica procedeu com uma análise prospectiva dos *possíveis impactos* produzidos pela adoção de cada uma delas aos diferentes agentes afetados, separando-os em impactos positivos e impactos negativos.

Nas AIR das concessões de Autopista Fluminense, Concebra e K-Infra, a análise se limitou à caducidade e à relicitação, conforme demonstra o quadro abaixo:

Tabela 4. Principais impactos positivos e negativos da caducidade e da relicitação, segundo as AIR

Caducidade	Relicitação
<ul style="list-style-type: none">• Liberação da infraestrutura para desenvolvimento de nova concessão com novo operador (P)• Incertezas quanto ao tempo de duração do processo de caducidade, já que é litigioso, durante o qual os usuários continuarão a pagar as tarifas sem acesso a um serviço de qualidade (N)• Custo regulatório no cálculo da indenização devida à concessionária pelos bens reversíveis não amortizados (N)	<ul style="list-style-type: none">• Previsibilidade e maior celeridade no prazo e nos procedimentos para realização de nova licitação, sem a necessidade de solução de continuidade entre as concessões (atual e futura) (P)• Assegura a prestação de serviço mínimo pela concessionária atual até que novo operador assuma o ativo (P)• Concessionária receberá a tarifa (receita) no patamar necessário para a prestação do serviço mínimo;

<ul style="list-style-type: none"> • Financiadores receberão, ao menos em parte, seu crédito com o pagamento da indenização pelo Poder Concedente (P) • Prejuízo reputacional ao grupo econômico da concessão e proibição da concessionária, pelo período de cinco anos, de receber novas outorgas da ANTT (art. 78-J da lei n. 10.233/01) (N) • Usuários deixarão de pagar tarifa com a extinção da concessão (P) • Usuários terão de conviver com um serviço de baixa qualidade até a concessão por novo operador (N) • Possível demora na realização de nova licitação e de solução de continuidade (N) 	<ul style="list-style-type: none"> usuários pagarão apenas o correspondente aos serviços observados na rodovia (P) • Liberação da infraestrutura para desenvolvimento de nova concessão com novo operador (P) • Custo regulatório no cálculo da indenização devida à concessionária pelos bens reversíveis não amortizados e das tarifas praticada e calculada (N) • Transferência do dever de pagar a indenização ao futuro operador (P) • Financiadores receberão, ao menos em parte, seu crédito com o pagamento da indenização devida à concessionária (P)
---	---

Legenda: Impacto positivo (P) Impacto negativo (N)

Fonte: elaboração própria

Comparando os possíveis impactos das duas técnicas regulatórias, a área técnica, nos casos de Autopista Fluminense e Concebra, concluiu que a rellicitação seria mais vantajosa que a caducidade. A análise foi realizada sob um ponto de vista estritamente conceitual, vale dizer, comparando as características mais relevantes de ambas as medidas.

Sob este aspecto, a conclusão da área técnica não poderia ser outra, pois a rellicitação foi pensada justamente como uma alternativa à caducidade e, portanto, suas etapas foram desenhadas para evitar os percalços associados a uma extinção unilateral e litigiosa da concessão. Conforme dispõe a exposição de motivos da Medida Provisória n. 752/16, que deu origem a essa figura jurídica,

“trata-se de alternativa inovadora de ‘devolução coordenada e negociada’ da concessão, evitando-se o processo de caducidade, muitas vezes moroso e com longa disputa judicial, em que, normalmente, os usuários da concessão são os principais penalizados pela má prestação do serviço até a conclusão do processo”¹⁰

A AIR que analisa a situação da K-Infra, porém, vai em outro sentido. Apesar de reconhecer os benefícios conceituais da rellicitação frente à caducidade, a área técnica questiona a capacidade da concessionária de executar os serviços essenciais no período de rellicitação, até que novo operador assuma a rodovia.

Considerando o histórico da concessionária, de descumprimento de dois TAC e de não correção das inexecuções contratuais no prazo concedido pela ANTT nos autos do processo preliminar de caducidade, nada indicaria que nas novas condições de rellicitação o comportamento seria diferente.

¹⁰ Cf. exposição de motivos da Medida Provisória n. 735/16, convertida posteriormente na lei n. 13.360/2016. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/Exm/Exm-MP-735-16.pdf. Acesso em: 20 jun. 2024.

Além do mais, a área técnica estimou que não seria necessário que o Poder Concedente pagasse qualquer quantia a título de indenização por investimentos em bens reversíveis não amortizados, visto que o passivo de multas – aplicadas a partir de processos concluídos e em curso – superaria o crédito devido à concessionária.

Por essa razões, no caso específico da K-Infra, entendeu-se que a caducidade seria a melhor medida para resolver o problema regulatório. Isso foi feito, é importante destacar, sem que houvesse manifestação do DNIT sobre sua capacidade operacional e financeira de gerir a rodovia até a seleção de nova concessionária.

Na AIR da CRO foi considerada, além da caducidade e da relíctação, a celebração de um TAC conjugado com a transferência de controle acionário da concessionária.

Nesta terceira alternativa, a ideia seria que as partes pactuassem, via TAC, a renúncia dos pleitos arbitrais e a postergação dos investimentos da concessão, com a manutenção do patamar tarifário vigente, e, para fazer frente a essas obrigações, fosse realizada transferência do controle da concessionária a um terceiro com capacidade econômico-financeira para injetar recursos na concessão, viabilizando a retomada de seu andamento saudável. O passivo de multas, ainda, seria diluído na tarifa de pedágio após a celebração do TAC, em prol da modicidade tarifária.

O quadro abaixo apresenta os principais impactos das medidas:

Tabela 5. Principais impactos positivos e negativos das alternativas, segundo a AIR da CRO

Caducidade	Relíctação	TAC + transferência de controle
<ul style="list-style-type: none"> • Não fruição dos investimentos até que o DNIT/novo operador assuma a gestão da rodovia (N) • Obstáculos fiscais na assunção da rodovia pelo DNIT (N) • Pagamento da tarifa pelos usuários acima do patamar tido como devido pela ANTT (N) • Incremento da litigância entre as partes (N) • Possibilidade de os financiadores recuperarem o crédito, ao menos parcialmente (P) • Necessidade de que o Poder Concedente pague à concessionária indenização por bens reversíveis não amortizados em cenário de crise fiscal (N) • Desconto do passivo de multas na indenização a ser paga (P) 	<ul style="list-style-type: none"> • Até que seja concluída a relíctação e selecionado novo operador, os usuários não terão acesso aos investimentos (N) • Fruição dos serviços essenciais até a seleção de nova concessionária (P) • Pagamento da tarifa pelos usuários acima do patamar tido como devido pela ANTT (N) • Redução de litigância entre as partes (P) • Possibilidade de os financiadores recuperarem o crédito (P) • Transferência do dever de pagar a indenização ao futuro operador (P) • Desconto do passivo de multas na indenização a ser paga (P) 	<ul style="list-style-type: none"> • Fruição mais célere dos investimentos pactuados (P) • Pagamento de tarifa pelos usuários acima do patamar tido como devido pela ANTT, com compensação por desconto pelo passivo de multas a posteriori (P) • Redução de litigância entre as partes (P) • Desnecessidade de modelagem de nova licitação, ante recursos limitados (P) • Maior possibilidade de os financiadores recuperarem o crédito (P) • Desnecessidade de que o Poder Concedente pague à concessionária indenização por bens reversíveis não amortizados em cenário de crise fiscal (P) • Ingresso de novo controlador da concessionária, afastando-se o atual (P) • Desconto do passivo de multas na tarifa posteriormente à celebração do TAC (P)

Legenda: Impacto positivo (P) Impacto negativo (N)

Fonte: elaboração própria

Portanto, a área técnica entendeu que a única alternativa com o potencial de resolver integralmente o problema regulatório seria justamente a celebração do TAC com a transferência do controle, ao passo que a caducidade poderia apresentar efeitos contrários ao pretendidos (agravar o problema) e a relicitação resolveria o problema apenas parcialmente. A extinção contratual, ainda, estaria condicionada a fatores externos – reversão da decisão arbitral que impedia a caducidade e requerimento de relicitação por parte da concessionária.

3. O que o caso ANTT tem a nos ensinar? Propostas de ação para utilização da AIR

A partir da experiência da ANTT no uso de AIR para a solução de concessões em crise, este item pretende apresentar algumas propostas de ação para que os reguladores, em âmbito federal ou subnacional, utilizem a ferramenta a seu favor quando se depararem com situação semelhante. Minha pretensão, evidentemente, não é esgotar o tema, mas apresentar contribuições para o debate acadêmico e a prática dos reguladores nacionais.

Entendo que o caso ANTT tem mérito em diversas perspectivas. No entanto, alguns passos devem ser repensados para a boa utilização da AIR. Abaixo, apresento propostas para tanto:

1ª proposta. Não é preciso incluir na AIR todas as técnicas regulatórias disponíveis na legislação, mas apenas aquelas viáveis. Porém, é necessário motivar o descarte

Evidentemente, não é necessário que o regulador inclua na AIR todas as técnicas regulatórias à sua disposição. Fazer isso poderia comprometer a qualidade da análise, diante do grande leque disponível no ordenamento jurídico (ver Anexo).

Contudo, entendo ser importante que haja uma motivação, expressa e clara, sobre a razão de determinadas técnicas serem excluídas da análise. Isso é relevante, em especial, para assegurar a racionalidade e a legitimidade da decisão regulatória, os dois grandes objetivos da AIR.

A motivação pode variar a depender da técnica regulatória. No caso da relicitação e da transferência de controle acionário, é suficiente mencionar que não houve pleito por parte da concessionária. De fato, se ela não procurou o regulador para relatar a concessão, não há razão para essa medida ser considerada na AIR, já que o pedido de devolução amigável é de iniciativa exclusiva da concessionária. O mesmo se aplica na transferência de controle acionário, já que não é papel do regulador ir ao mercado procurar *players* interessados em assumir a concessão.

Em outras situações, porém, a motivação deve ser um pouco mais robusta, ainda que não necessariamente exaustiva. O regulador precisa explicar porque não está considerando na AIR técnicas como repactuação, rescisão amigável, TAC e *step-in rights*, que podem ser de sua iniciativa, ainda que não dependam integralmente dele.

As três primeiras podem ser propostas pelo regulador à concessionária caso entenda que seriam efetivas para o interesse público, e a quarta, apesar de trilateral, pode ser realizada independentemente de concordância da concessionária, pois constitui prerrogativa dos financiadores e garantidores da concessão. Assim, basta que o regulador os comunique sobre a situação da concessão e eles poderiam assumir a curadoria da concessionária, cumpridos os requisitos do art. 27-A da lei n. 8.987/95 e demais previstos em contrato.

É importante mencionar, ainda, que, caso a técnica esteja inviável por força de decisão judicial ou arbitral, entendo que não deve ser incluída na AIR. Não faz sentido considerar na análise medida que, caso seja a melhor para o interesse público em comparação com as demais, não poderá ser utilizada de fato. A recomendação é que, nestes casos, a técnica seja descartada e, caso posteriormente viabilizada pela superação da decisão externa, seja realizada nova AIR.

2ª proposta. A análise conceitual não é suficiente na AIR. Não devem existir técnicas regulatórias ex-ante preferenciais

A AIR não se presta a realizar comparações conceituais entre as medidas. Fosse isso, ela poderia ser substituída por uma nota técnica mais genérica que expusesse os prós e contras de cada alternativa e, a partir disso, subsidiasse o regulador na escolha da mais adequada.

Em verdade, a AIR deve ser utilizada para análise dos possíveis impactos das diferentes alternativas disponíveis sobre os agentes afetados, considerando as circunstâncias do caso concreto. Em outros termos, é aferir o comportamento do direito na prática, e não na teoria.

Desta forma, entendo que uma AIR tal como feita nos casos de Autopista e Concebra deve ser evitada: ali, a área técnica se limitou a cotejar a caducidade com a relíctação, apresentando as principais características de cada uma. Nessa análise mais conceitual, é evidente que a relíctação seria melhor, já que ela foi criada justamente como uma alternativa à caducidade.

Por outro lado, a AIR na concessão da K-Infra é um exemplo interessante de avaliação efetiva dos possíveis impactos das alternativas. Apesar de, conceitualmente, a relíctação ser medida mais vantajosa, a área técnica reconhece que, diante do histórico da concessionária, havia um indicativo de que ela não prestaria os serviços essenciais na forma em que ajustado entre as partes, no período de relíctação.

Outro fator considerando foi a desnecessidade de que o Poder Concedente pagasse qualquer indenização pelos bens reversíveis não amortizados, pois o passivo de multas superaria o crédito devido à concessionária. Esses dois fatores fizeram com que a área técnica entendesse que a caducidade seria a melhor alternativa para o caso.

Isso leva à conclusão de que é inadequado afirmar que existem técnicas regulatórias ex-ante preferenciais, ainda que, conceitualmente, uma pareça mais vantajosa que as demais.

3^a proposta. A experiência da técnica em outras concessões deve ser considerada na AIR

Uma forma de se estimar a efetividade da técnica regulatória é a partir da análise de sua implementação em outras concessões. Esse *benchmarking* pode trazer ganhos interessantes à AIR e evitar a utilização de medidas que, ainda que desenhadas com boas intenções, acabaram não atingindo seus objetivos ou que enfrentaram questionamentos por órgãos de controle.

Novamente, o exemplo da relicitação vem a calhar. Sabe-se que a medida foi criada para ser célere e amigável, evitando litígios entre regulador e regulado. Portanto, uma alternativa à caducidade, que seria litigiosa e morosa. A realidade, porém, mostrou que esses benefícios associados à relicitação não se efetivaram.

Desde a criação do instituto, em 2016, apenas duas relicitações foram concluídas (Aeroporto de São Gonçalo e um trecho da BR-040). Conforme a literatura, essa mora associada à relicitação decorre da extensa governança para a aprovação da medida (AVELAR, 2023) – agência reguladora, Ministério, Conselho do PPI, decreto do Presidente e TCU – e pelo impasse entre reguladores e TCU na quantificação da indenização (ROLT; FERRAZ, 2022).

As AIR de Autopista e Concebra, porém, desconsideraram essa circunstância. À época da realização das análises (2021), aliás, o cenário era ainda pior, dado que nenhuma relicitação havia sido concluída até então. Tivesse esse fator sido considerado, talvez a área técnica adotasse conclusão diferente.

4^a proposta. Os efeitos de cada técnica regulatória devem ser estimados a partir de dados

A análise dos possíveis efeitos produzidos por cada técnica regulatória não pode ser feita senão a partir de dados reais da concessão, que considerem os passivos regulatórios, o histórico da concessionária (colaboração com a regulação) e a capacidade de adaptação que usuários e Poder Público terão a partir da implementação da medida. Não basta, como já se disse, que a AIR se limite a dialogar com as características conceituais das diferentes medidas, sendo necessário avaliar seu impacto na realidade.

Por isso, não obstante os méritos já destacados na AIR da K-Infra, entendo que a área técnica andou mal ao concluir que a caducidade seria a melhor técnica para o problema regulatório sem conhecer a situação operacional e financeira do DNIT, que passaria, então, a gerir o serviço. Menciona-se na AIR que o Departamento foi notificado para manifestação, mas, até aquele momento, ainda não havia respondido.

Esse dado, me parece, é imprescindível para a decisão pela caducidade. Afinal, se o DNIT não tiver condições para lidar com a rodovia, talvez o melhor fosse optar pela rellicitação, ainda que correndo o risco de o serviço mínimo não ser prestado pela concessionária, em razão dos demais potenciais benefícios da medida.

O mesmo racional se aplica à indenização a ser paga pelo Poder Concedente à concessionária, que a área técnica menciona que seria integralmente compensada pelo passivo de multas. Porém, o montante que foi considerado para esse cálculo diz respeito não apenas aos processos transitados em julgado, mas também os em curso. Uma vez que a concessionária não pode ser considerada culpada até o trânsito em julgado, seria mais adequado que a AIR considerasse apenas as multas já exigíveis nessa análise – ou seja, os dados reais.

Conclusão

Este artigo buscou demonstrar como a AIR pode ser uma ferramenta útil para que o regulador, diante de uma concessão em crise, escolha a técnica regulatória que melhor atenda ao interesse público – sendo a decisão ao mesmo tempo racional e legítima.

Para isso, o caso ANTT é um exemplo bastante ilustrativo e pode ser um espelho para os reguladores de todas as esferas de governo. No entanto, é preciso ressaltar que a Agência não está imune a críticas, dado que alguns elementos nas AIR analisadas podem ser aprimorados. As propostas de ação, neste sentido, visam endereçar esses gargalos, ao apresentar diretrizes gerais para a boa utilização de AIR.

Trata-se de tema emergente e que merece maior atenção – nem mesmo a ANTT possui, ainda, uma diretriz formal sobre a utilização da AIR para a solução de concessões em crise.¹¹ Espero que este artigo tenha contribuído de alguma forma para essa agenda de pesquisa.

¹¹ Em resposta ao recurso administrativo que interpus contra a decisão da ANTT que negou acesso à informação, conforme explicado na nota de rodapé 6, a Agência mencionou que “não há diretriz formal da ANTT que estabeleça a obrigatoriedade ou recomendação de elaboração de Análise de Impacto Regulatório – AIR para fins de tratamento de concessões em crise. Assim, o procedimento regulatório adotado para o caso em questão, a AIR, deu-se apenas como um método para avaliar a melhor solução para o estudo dessa situação específica”.

Bibliografia

- AVELAR, Mariana. Os entraves das rellicitações e as inovações em tempos de crise. **Tecnológico**, 2023. Disponível em: <https://www.tecnologistica.com.br/br/artigos/geral/17322/os-entraves-das-relicitacoes-e-as-inovacoes-em-tempos-de-crise/>. Acesso: 21 jun. 2024
- BOGOSSIAN, André Martins. **O caso dos contratos “irreequilibráveis” de concessão comum e PPP: o que fazer quando não há nada mais a fazer?**, 2018.
- DI PIETRO, Maria Sylvia Zanella. **Parcerias na Administração Pública: concessão, permissão, franquia, terceirização, parceria público-privada**. Rio de Janeiro: Forense, 2019.
- FREIRE, André Luiz. **Direito dos Contratos Administrativos**. São Paulo: RT, 2023a.
- FREIRE, André Luís Macagnan Freire. **Efetividade dos remédios regulatórios para concessões em crise: estudo de caso do setor de infraestrutura rodoviária federal**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) – Universidade de Brasília. Brasília, p. 61, 2023b. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/37644/1/2023_AndreLuisMacagnanFreire_tcc.pdf. Acesso: 8 jun. 2024
- MARCATO, Fernando; COHEN, Isadora. Venda assistida como caminho alternativo à rellicitação de concessões federais em dificuldade. **Agência Infra**, 2023. Disponível em: <https://agenciainfra.com/blog/venda-assistida-como-caminho-alternativo-a-relicitacao-de-concessoes-federais-em-dificuldade/>. Acesso: 12 jun. 2024
- NASSER, Maria Virginia N. do A. Mesquita. Anotações sobre a renegociação do passivo regulatório da concessionária de serviço no âmbito de sua recuperação judicial. In: ENEI, José Virgílio Lopes Enei; DAL POZZO, Augusto Neves. **Tratado sobre o setor de rodovias no Direito brasileiro**. São Paulo, 1ª Edição, Editora Contracorrente, p. 605 a 628, 2022.
- PALMA, Juliana Bonacorsi de. Identidade das sanções administrativas nas concessões de serviço público. In: ISSA, Rafael Hamze; JURKSAITIS, Guilherme Jardim; TAFUR, Diego Jacome Valois. Experiências Práticas em Concessões e PPP: **Estudos em homenagem aos 25 anos da Lei de Concessões**. São Paulo, 1ª Edição, Editora Quartier Latin do Brasil, p. 425 a 457, 2021.

RIBEIRO, Mauricio Portugal. Comentários ao estudo sobre contratação incompleta de projetos de infraestrutura publicado por Nobrega, Véras e Turolla. **Agência Infra**, 2023. Disponível em: <https://agenciainfra.com/blog/infradebate-comentarios-ao-estudo-sobre-contratacao-incompleta-de-projetos-de-infraestrutura-publicado-por-nobrega-veras-e-turolla/>. Acesso: 8 jun. 2024

ROLT, Amanda; FERRAZ, Daniela. A morosidade nas rellicitações. **Agência Infra**, 2022. Disponível em: <https://agenciainfra.com/blog/infradebate-a-morosidade-nas-relicitacoes/>. Acesso: 10 jun. 2024

Anexo Único

Tabela 1. Principais técnicas regulatórias para solucionar concessões em crises presentes no ordenamento jurídico

Grupo	Técnica	Respaldo legal/Discretionalidade	Efeitos para a concessão	Benefícios	Possíveis gargalos
Unilateral	Caducidade	Art. 38 da lei n. 8.987/95 “A inexecução total ou parcial do contrato acarretará, <u>a critério do poder concedente</u> , a declaração de caducidade da concessão ou a aplicação das sanções contratuais [...].” “A caducidade da concessão <u>poderá</u> ser declarada pelo poder concedente quando [...]”	Extinção	Poder Concedente terá oportunidade de delegar o serviço a nova concessionária, com o potencial de gerar o ativo de infraestrutura de forma mais adequada.	<ul style="list-style-type: none"> • Por ser medida unilateral, está sujeita a litigiosidade entre regulador e regulado, o que pode atrasar a resolução do problema; • Exige dispêndio de recursos públicos (operação do serviço pelo Poder Concedente até a assunção por novo operador privado e pagamento de indenização pelos investimentos em bens reversíveis à concessionária), que nem sempre estarão disponíveis considerando as amarras orçamentárias e prioridades do Poder Público.
	Intervenção	Arts. 32 a 34 da lei n. 8.987/95 “O poder concedente <u>poderá</u> intervir na concessão [...]”	Extinção ou Manutenção ¹²	Pode ser utilizada para a correção de rumos na concessão, fazendo-a retornar à situação de regularidade e cumprimento das normas contratuais, regulamentares e legais.	Sendo a crise causada justamente pela falta de recursos da própria concessão, a realização de nova administração pelo Poder Concedente exigirá aportes públicos na concessão, que nem sempre estarão disponíveis considerando as amarras orçamentárias e prioridades do Poder Público.
Bilateral	Reclamação	Arts. 13 a 20 da lei n. 13.448/17 “o órgão ou a entidade competente <u>poderá</u> realizar, observadas as condições fixadas nesta Lei, a reclamação [...]”	Extinção	A medida tende a ser mais célere que a extinção litigiosa (caducidade), por ser uma extinção amigável; fornece solução de continuidade para o serviço, já que a concessionária continuará a prestá-lo no que for essencial até que novo operador assuma o ativo e, por fim, retira o encargo	Apesar de seus potenciais benefícios, a reclamação se mostrou medida morosa e litigiosa, especialmente pela extensa governança instituída pela lei para a aprovação da reclamação (AVELAR, 2023) – agência reguladora, Ministério, CPPI, decreto do Presidente e TCU – e pelo impasse em relação à quantificação da

¹² O art. 34 da lei n. 8.987/95 estabelece que, cessada a intervenção, a concessão será ou extinta ou retornará à concessionária.

				de pagar a indenização ao Concedente, pois esta será paga pelo novo operador.	indenização, entre reguladores e TCU (ROLT; FERRAZ, 2022).
Rescisão amigável	Art. 138, II, da lei n. 14.133/21 “A extinção do contrato poderá ser: [...] II – consensual, por acordo entre as partes [...].”	Extinção	Permite um afastamento, no caso de concessões de rodovias, ferrovias e aeroportos, do regime da rellicitação e seus gargalos, e uma composição entre as partes sobre as condições da rescisão.	A medida tende a se sujeitar a questionamentos por parte dos órgãos de controle por não estar inserida expressamente no regime das concessões (mas, sim, na lei geral de licitações) e em relação às condições da rescisão, que não estão claras na lei geral de licitações.	
TAC	Art. 26 da LINDB, art. 5º, §6º da Lei da ACP e resoluções específicas de agências reguladoras “[...] a autoridade administrativa poderá [...] celebrar compromisso [...].” “Os órgãos públicos legitimados poderão tomar dos interessados compromisso de ajustamento de sua conduta”	Manutenção	Os TAC podem ter diversos objetos, mas sua utilização em concessões em crise pode ser útil para a postergação de investimentos, dando fôlego para que a concessionária obtenha caixa em prazo mais alargado; e conversão de multas pendentes de recolhimento em investimentos, a serem realizados em cronograma ajustado entre as partes	O TAC exige que a concessionária obtenha recursos para fazer frente aos investimentos (postergados ou incluídos na concessão a partir da conversão das multas), o que pode ser complexo considerando a reputação do investidor (obtenção de financiamento) ou a situação da concessão (arrecadação de receitas)	
Repactuação	Não há respaldo legal claro, mas a literatura entende que a repactuação seria possível a partir do art. 26 da LINDB (FREIRE, 2023a; p. 619-622), do poder de alteração unilateral do contrato por interesse público e da possibilidade de repactuação das cláusulas financeiras, ambas previstas nas leis de licitações (COUTINHO, 2020, pp. 71-72; BOGOSSIAN, 2018; p. 8) “O regime jurídico dos contratos instituído por esta Lei confere à Administração, em relação a eles, as prerrogativas de: I – modificá-los,	Manutenção	A depender de como for ajustada entre as partes, tem o potencial de ser medida mais benéfica do que a extinção contratual. Os termos da repactuação podem ser bastante amplos, englobando desde a reprogramação de investimentos da concessão até a reestruturação das cláusulas econômicas do contrato, como a matriz de riscos (RIBEIRO, 2023). Como condição para a repactuação, é possível se exigir o equacionamento do passivo regulatório e a manutenção da tarifa vigente, que tende a ser menor se em	<ul style="list-style-type: none"> • Não havendo respaldo legal claro, a repactuação tende a se sujeitar a fortes questionamentos dos órgãos de controle, que procurarão entender como essa medida é mais vantajosa em comparação com as demais; • É preciso que se observe o risco moral associado à repactuação, dado que esta técnica acaba premiando a concessionária transgressora – com a reestruturação do contrato e sua manutenção na prestação do serviço. Deve-se cuidar para que a repactuação não faça com que as demais concessionárias se tornem relapsas na prestação do serviço ou nos lances dos futuros leilões na esperança de que seus contratos também sejam repactuados; 	

		<p>unilateralmente, para melhor adequação às finalidades de interesse público [...].”</p> <p>“As cláusulas econômico-financeiras e monetárias dos contratos não poderão ser alteradas sem prévia concordância do contratado”.</p>		<p>comparação àquela obtida a partir de novo leilão – que será necessário nos casos de caducidade, relicitação e rescisão amigável.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • A aprovação da repactuação pode ser demorada, muitas vezes sendo necessário o aval da agência reguladora, Poder Concedente e tribunais de contas.
Trilateral	Transferência controle/outorga	Arts. 27 e 27-A da lei n. 8.987/95	Manutenção	<p>A transferência para novo investidor ou financiador/garantidor da concessão com condições econômico-financeiras é interessante para a retomada dos investimentos e demais obrigações contratuais. A medida tende a ser mais célere do que a extinção contratual e a repactuação, pois envolve apenas o aval do Poder Concedente ou agência reguladora</p>	<ul style="list-style-type: none"> • É necessário que existam interessados no mercado (ou que os financiadores e garantidores estejam interessados) na aquisição da concessão e sua reestruturação financeira; • Especificamente no caso do <i>step-in rights</i>, como os garantidores e financiadores não possuem expertise em concessões, possivelmente será necessária uma nova transferência do ativo, o que pode gerar atrasos na retomada dos investimentos.
	<i>Step-in rights</i>	Nestes casos, ainda que não haja discricionariedade explícita na legislação, o plano de transferência/administração temporária terá de ser aprovado pelo Poder Concedente, que continuará tendo competência para a aplicação das demais medidas e deverá ponderar a mais vantajosa para o interesse público. ¹³			

Fonte: elaboração própria

¹³ No caso da ANTT, por exemplo, a decisão sobre a transferência da titularidade da outorga deve considerar “o interesse público, os objetivos dos usuários, das empresas concessionárias” (arts. 20, II, “b” c/c 30, §1º, da lei n. 10.233/01).



Categoria II

BENEFÍCIOS DAS AÇÕES DE SUSTENTABILIDADE NAS CONCESSÕES DE RODOVIAS

IMPACTOS ECONÔMICOS E DE SEGURANÇA NAS ESTRADAS DE INVESTIMENTOS EM INFRAESTRUTURA: EVIDÊNCIAS PARA UMA CONCESSÃO DE RODOVIAS ESTADUAL

RESUMO

Este artigo explora o impacto do investimento em infraestrutura rodoviária através do modelo de concessão em São Paulo nas economias locais e na segurança viária. Utilizando metodologias de diferenças em diferenças e controle sintético, nosso estudo avalia os efeitos desses investimentos no consumo residencial de eletricidade e na incidência de acidentes fatais de trânsito. Nossos resultados revelam um impacto positivo das concessões rodoviárias na renda local, com um aumento variando entre 3,0% e 5,0%, ou R\$ 1.266 a R\$ 2.161 no PIB per capita, com base na correlação entre PIB e consumo de eletricidade. Além disso, observa-se uma redução significativa de 76% nos acidentes fatais após a implementação da concessão. Por último, calculamos o valor presente líquido (VPL) do impacto econômico resultante da redução de acidentes em estradas operadas por concessão, estimado em mais de R\$ 444 milhões ao longo do período de concessão. Os resultados sugerem um impacto econômico positivo substancial da prestação de serviços públicos e privados. Este estudo representa a primeira avaliação com metodologia rigorosa de análise de causalidade dos impactos de uma concessão estadual sobre renda e a violência no trânsito e também propõe uma metodologia robusta que pode ser replicada em outras avaliações. As conclusões obtidas oferecem valiosas contribuições para a formulação de políticas públicas, proporcionando evidências concretas para embasar decisões futuras relacionadas a concessões e melhorias de infraestrutura.

AUTORES

Andre Giavina Bianchi, Enlinson Mattos, Joelson Oliveira Sampaio, Marcos Vinicio Wink

1º LUGAR

Categoria II

BENEFÍCIOS DAS AÇÕES DE SUSTENTABILIDADE NAS CONCESSÕES DE RODOVIAS

IMPACTOS ECONÔMICOS E DE SEGURANÇA NAS ESTRADAS DE INVESTIMENTOS EM INFRAESTRUTURA: EVIDÊNCIAS PARA UMA CONCESSÃO DE RODOVIAS ESTADUAL

1. Introdução

O Brasil é um país com dimensões continentais, sendo o quinto lugar em extensão territorial com aproximadamente 8.516.000 km², o que representa cerca de 48% de toda a América do Sul. Apesar da grande extensão territorial, o Brasil é, em grande parte, conectado por rodovias, que são, em sua maioria, públicas e de baixa qualidade. A densidade de rodovias pavimentadas do Brasil é de apenas 25,1 km/1.000 km²,¹ muito inferior a países como EUA e China que têm 437,8 e 452,1 e menos da metade do que seus pares como México (70,0) e Rússia (54,3). Este gargalo de infraestrutura é considerado um obstáculo a produtividade, eficiência de mercado e, consequentemente, crescimento econômico (Karpowicz et. al, 2018).

A ineficiência da infraestrutura de logística (portos, rodovias e ferrovias), além do complexo sistema tributário e burocracia no processo de exportação, fazem com que o custo logístico do Brasil seja superior a seus pares, impactando de maneira significativa sua competitividade. Se estima que no Brasil o custo de logística represente aproximadamente 25% do custo total do produto, em contraste com os Estados Unidos onde este percentual é de 10% (GUASCH, 2004).

Este déficit de infraestrutura é particularmente impactante no Brasil, que tem uma vocação agrícola, com grandes distâncias entre a zona produtora, os centros de consumo e os portos, que são responsáveis pela maioria do volume de exportação das *commodities* (minério de ferro, soja, celulose e outros). Considerando o caso de rodovias federais apenas, Romano e Sampaio (2023) analisaram os impactos econômicos da concessão no Brasil, utilizando a metodologia de difference-in-differences com tratamento escalonado. Eles encontraram aumento na arrecadação de impostos em municípios não metropolitanos cruzados pelas rodovias e impacto positivo no PIB do setor de serviços nos municípios com concessões iniciais.

Além da questão econômica e social, a precariedade das estradas é um dos fatores responsáveis por tornar o Brasil o terceiro país no mundo com mais mortes no trânsito (41 mil mortes estimadas) e um dos países fora do continente Africano com mais mortes por essa causa por 100.000 habitantes (19,7) (WHO, 2018). O custo dos acidentes de trânsito no Brasil é um custo silencioso que deteriora as finanças públicas, consumindo cerca de 30% (FIESC, 2017) do orçamento dos hospitais públicos e retirando milhares de jovens do mercado de trabalho. Carvalho (2020) estima que no Brasil este custo, somente em rodovias, chegue a R\$ 40 bilhões por ano², representando a perda de 45 mil vidas por ano e deixando mais de 300 mil pessoas com lesões graves.

O grande investimento feito pelo setor privado em rodovias federais no Brasil no período 2007-2017 foi estudado por Alves et. al (2021). Os autores exploram o fato de as concessões de rodovias não terem sido realizadas em todos os estados brasileiros para estimar o impacto causal da concessão de rodovias sobre acidentes fatais de

¹ Dados de 2021 do relatório anual da Confederação Nacional de Transporte (CNT)

² Se for considerado os custos dos acidentes urbanos, a estimativa chega a R\$ 50 bilhões.

trânsito. Segundo os autores, as estradas do grupo tratado tiveram, em média, 16 mortes a menos por ano, em mil acidentes, do que rodovias administradas pelo setor público.

Embora existam estudos que analisem os efeitos de concessões de rodovias federais no Brasil, não há, na literatura, trabalhos que avaliem os impactos causais de concessões estaduais. Este estudo busca preencher essa lacuna na literatura empírica e metodológica ao avaliar os efeitos de uma concessão estadual sobre economias locais e a segurança nas estradas. Utilizando um método de estimação de causalidade, esta pesquisa oferece uma análise detalhada e precisa das consequências econômicas e de segurança decorrentes da implementação da concessão, contribuindo para um melhor entendimento das implicações dessas intervenções.

2. Objetivos

Este artigo tem como objetivo investigar se o investimento em infraestrutura rodoviária, através do modelo de concessão em São Paulo, impacta positivamente as economias locais e a segurança nas estradas. Para isso, são utilizadas, como estratégias de identificação, técnicas de *Difference in Difference* e Controle Sintético. São avaliados os impactos na renda, medida pelo consumo de energia elétrica residencial, e na redução de acidentes fatais. Além disso, o estudo propõe um exercício para o cálculo do Valor Presente Líquido do impacto econômico da redução de acidentes nas estradas concessionadas.

3. Métodos

3.1 Descrição da concessão ViaPaulista

A ViaPaulista busca criar um eixo logístico no Estado de São Paulo, conectando de maneira eficiente os Estados do Paraná, o interior do Estado de São Paulo e o Sul de Minas Gerais.³ O contrato de concessão da ViaPaulista engloba dois trechos. O trecho norte, que anteriormente estava concessionado para a Autovias (trecho vermelho da figura 1) e o trecho sul, administrado anteriormente pelo Estado, através do Departamento de Estradas e Rodagem do Estado de São Paulo (DER) (trecho azul da figura 1).

³ São Paulo é o Estado brasileiro mais populoso com mais de 20% da população total. Somados, São Paulo, Paraná e Minas Gerais possuem mais de 37% da população brasileira.

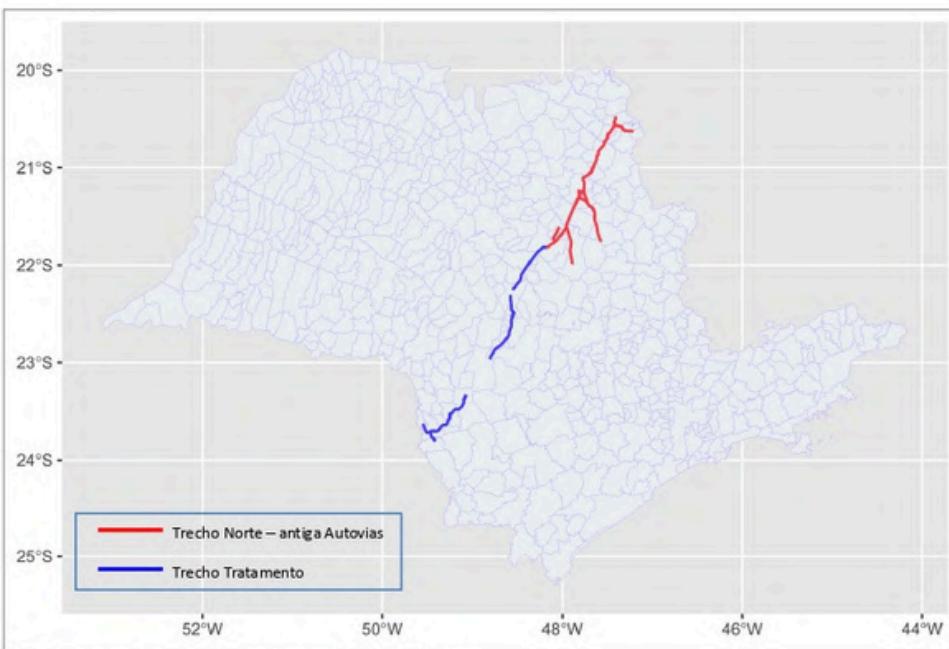


Figura 1 – Mapa da Concessão – ViaPaulista
Fonte: Elaboração própria

Como o objetivo do trabalho é estudar os impactos da migração da administração de uma rodovia da gestão pública estadual para a privada, o estudo se concentrará na avaliação do impacto sobre o indicador de renda apropriada nos 17 municípios, identificados na tabela 9 do anexo, que passaram a receber os investimentos da concessão (trecho sul destacado em rosa na figura 2 do anexo). Além do estudo nos municípios também são estudados os impactos sobre acidentes nas rodovias concessionadas SP 255 e SP 281.

As concessionárias de rodovia recolhem o ISS de dois grupos distintos para os municípios lindeiros. A figura 3 anexa mostra a evolução do repasse do ISS para os municípios do grupo de tratamento, onde é possível notar que o repasse do “ISS Pedágios” só inicia de maneira significativa no ano de 2019, com a inauguração da maioria das praças e, a partir desta data, tem uma trajetória constante. Já o “ISS de terceiros” tem um pico em 2018 com as obras do Programa de Intervenção Inicial (PII) e depois uma pequena queda.

Importante ressaltar que os municípios de tratamento, que são cortados pela concessão e que não estavam anteriormente concessionados (figura 4 anexa), receberão as maiores frações do ISS de Terceiros por concentrarem a maioria das obras.

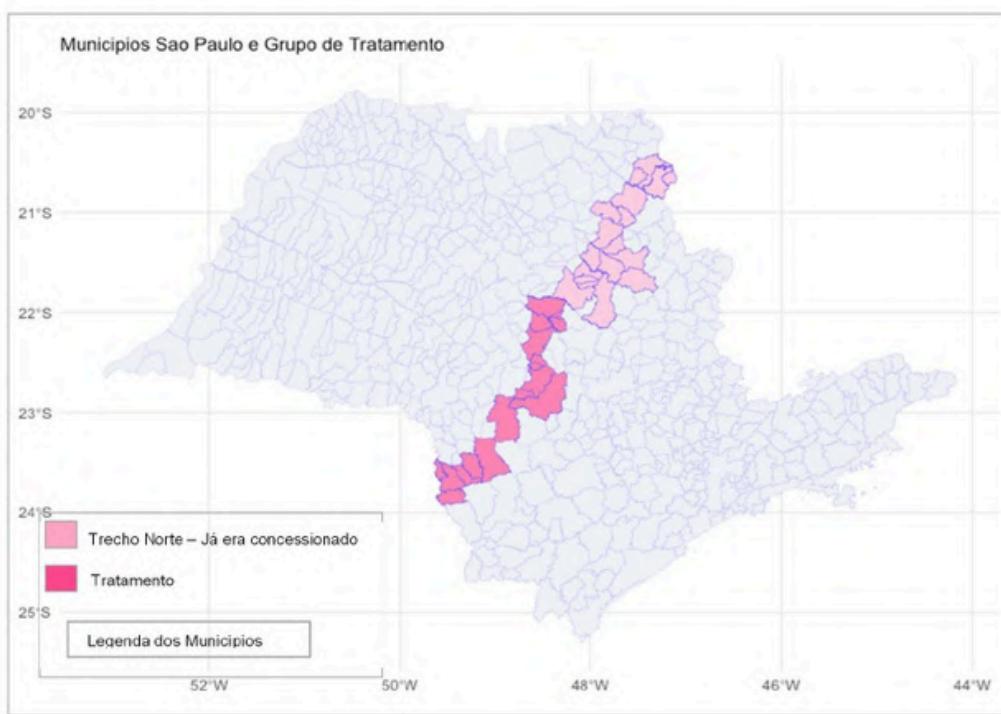


Figura 4 – Localização dos Municípios que recebem ISS da concessão
Fonte: Elaboração própria.

Em quatro anos de concessão, conforme dados da ViaPaulista, foram repassados, pela concessionária, R\$ 83.013.604⁴ para os municípios do grupo Norte (R\$ 54.775.546) e os municípios de tratamento (R\$ 28.238.058). Os valores entre 2018-2021, deflacionados para o ano de 2017, por municípios, são apresentados nas tabelas 10 e 11 do anexo.

3.2 Dados

Grande parte dos dados do trabalho foram extraídos do SEADE, uma fundação vinculada à Secretaria de Governo do Estado de São Paulo, que centraliza uma extensa base de dados socioeconômicos e demográficos. A tabela 1 (anexa) resume a periodicidade e a fonte das principais variáveis que serão utilizadas no trabalho.

Para medir o crescimento da renda dos municípios do Estado de São Paulo que receberam os benefícios da concessão serão utilizados os dados do consumo de energia elétrica residencial. Os indicadores econômicos do PIB municipal, disponibilizados pelo SEADE, apresentam os números apenas até o ano de 2019, com uma defasagem de dois anos da divulgação do PIB Regional. Como forma alternativa para capturar o impacto econômico, no período posterior, onde não há dados do PIB ainda disponibilizados, portanto, serão utilizados os consumos de energia elétrica residenciais como aproximação. Este tipo de variável captura a renda apropriada do município e vem sendo bastante

⁴ Valores em moeda corrente do ano do recolhimento.

utilizada na literatura (HENDERSON; STOREYGARD; WEIL, 2012; XIE et al., 2016). A tabela 12, no anexo, mostra a alta correlação positiva entre os valores médios de PIB per capita e a energia residencial per capita dos municípios em todos os grupos (tratado e controles).

Os dados sobre fatalidades estão disponíveis desde 2015 e serão utilizados no trabalho.

A figura 5 apresenta os dados de 522 rodovias administradas pelo DER (Departamento de Estrada e Rodagem do Estado de SP) durante os anos de 2015 e 2021. A análise do gráfico das fatalidades do DER indica que houve uma pequena redução do número de fatalidades no ano de 2020, ocasionado, possivelmente, pela pandemia do COVID 19. Houve também um crescimento da proporção de fatalidades com motocicletas em relação aos demais modais.

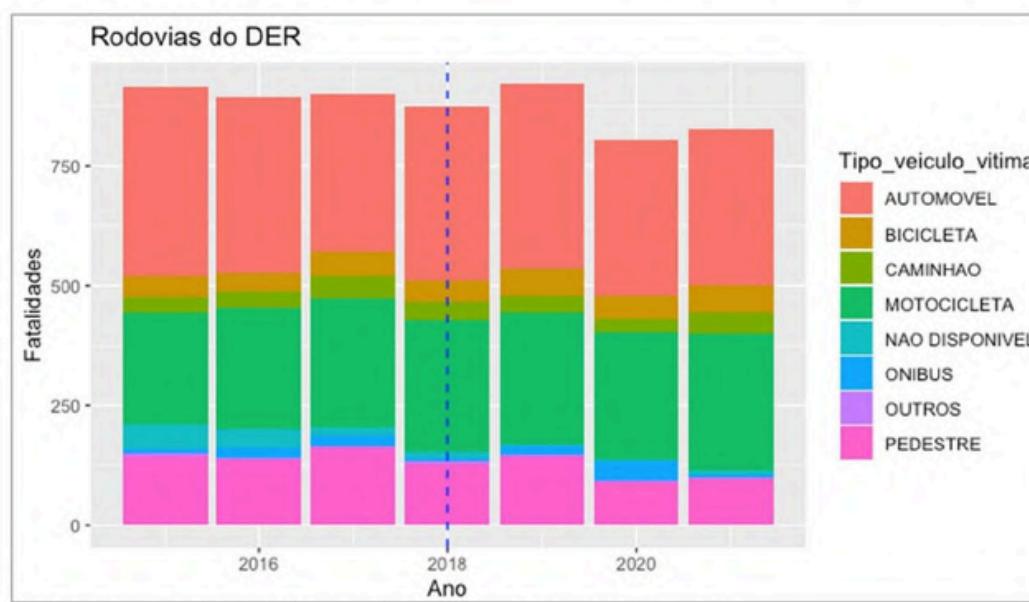


Figura 5 – Evolução das fatalidades nas rodovias administradas pelo DER

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Infosiga

Quando se analisa as fatalidades das rodovias tratadas, na figura 6, é possível perceber um comportamento bem distinto em relação às rodovias do DER (figura 5), com uma redução de aproximadamente 45%, comparando o período de 2015 (pré intervenção) ao ano de 2021. No anexo, se encontra a figura 15 que apresenta as evoluções dos acidentes fatais, por turno e por tipo de veículo.

É possível perceber também que, além da redução do número absoluto de fatalidades, houve alteração do perfil das vítimas. Antes da intervenção, a maioria das fatalidades (65%) ocorria com usuários de automóveis e a quantidade de pedestres e motociclistas representava 25% do total (os outros tipos como caminhões, ônibus e ciclistas representavam os 10% restantes). No ano de 2021, com a redução do número absoluto das fatalidades, os motociclistas e pedestres passaram a representar 46% do total. Isto pode indicar que a intervenção teve efeito principalmente na redução das fatalidades nos usuários de longa distância da rodovia (automóveis, caminhões e ônibus).

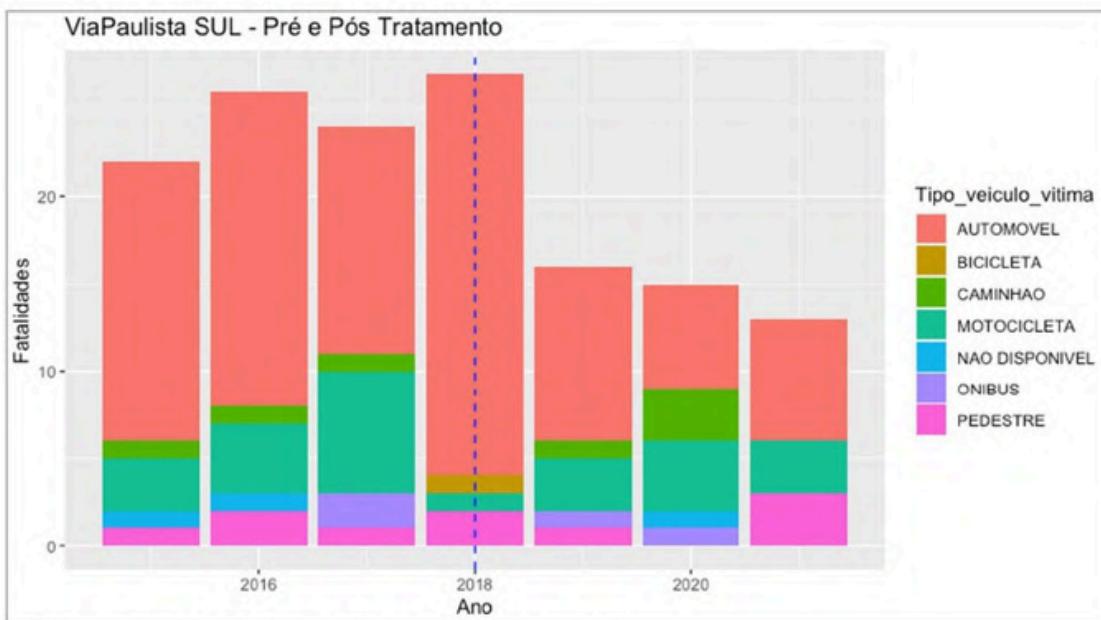


Figura 6 – Fatalidades por tipo de veículo no trecho de tratamento
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Infosiga

3.3 Estratégia Empírica

3.3.1 Mensuração dos efeitos sobre a renda apropriada

Para avaliar os efeitos da concessão sobre a renda apropriada dos municípios impactados, o trabalho utiliza diversas composições de grupos controles em um modelo de diferenças em diferença descrito pela equação 1:

$$\log(Energia\ Residencial_{i,t}) = \alpha + \delta_i + \gamma_t + \theta Dummy_{i,t} + \beta \mathbf{X}_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

em que $Energia\ Residencial_{i,t}$ é variável de consumo de energia residencial per capita (em MWh) no Município i e no ano t , δ_i e γ_t são os efeitos fixos de município e de tempo, respectivamente. A variável $Dummy_{i,t}$ identifica com 1 se o Município i recebeu o tratamento no ano t , caso contrário recebe zero (grupo controle). θ é o coeficiente de interesse que fornece o impacto causal da intervenção sobre a medida de renda municipal. Além disso, o vetor $\mathbf{X}_{i,t}$ é composto por variáveis de controle (percentual de população com menos de 15 anos, densidade populacional, grau de urbanização e número de consumidores de energia residencial e comercial) e, por fim, $\varepsilon_{i,t}$ é o termo de erro aleatório. Como o contrato de concessão foi assinado no final de 2017 e o primeiro ano da concessão foi dedicado ao PII (Programa de Intervenção Inicial) da rodovia, o ano de 2018 será considerado o ano inicial do tratamento.

Para garantir a maior robustez dos resultados, a equação (1) foi estimada com 4 composições diferentes de grupos controles. O grupo controle 1 é composto pelos municípios a 60km do eixo sul da rodovia. Esses municípios

não recebem repasse de ISS. Os municípios do trecho norte da rodovia, já pertencentes a uma concessão antes de 2017, formam o grupo de controle 2. O terceiro grupo de controle são os municípios distantes a 60 km do trecho concessionado norte. Esses municípios, assim como o grupo de controle 1, não recebem ISS da concessão. A figura 7 localiza geograficamente esses três grupos controle, além dos municípios tratados.

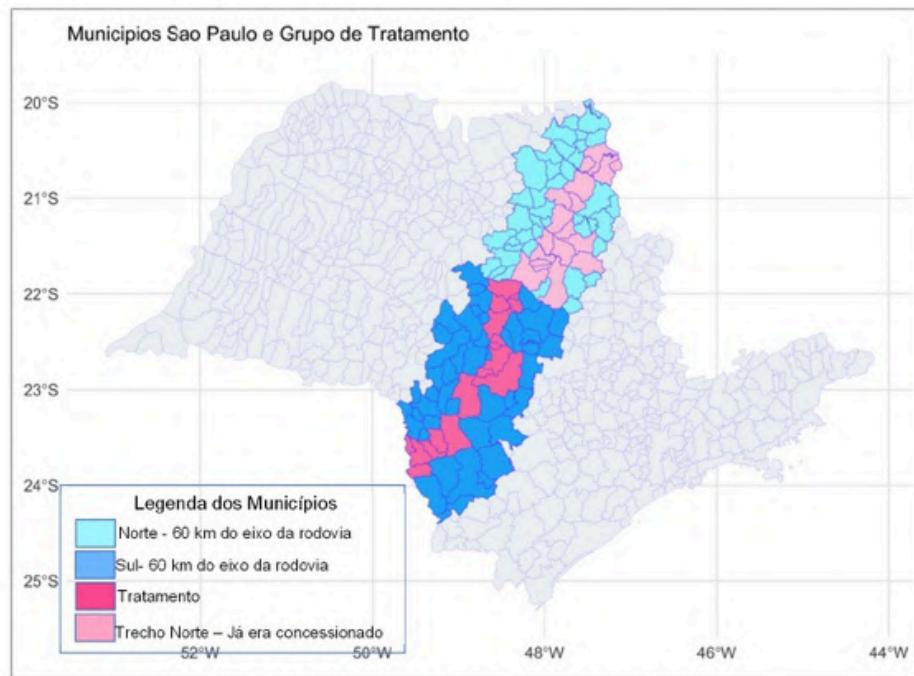


Figura 7 – Localização dos Municípios da concessão e municípios lindeiros
Fonte: Elaboração própria.

Por fim, o grupo de controle 4 é composto por 48 municípios contrafactualmente com características similares aquelas do grupo tratamento, construído através de filtros dos 7 critérios descritos na tabela 2 anexa. Estes 48 municípios, com características semelhantes ao grupo de tratamento, estão espalhados no Estado de São Paulo, conforme ilustrado na figura 8.



Figura 8 – Localização dos Municípios de tratamento e contrafactual
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do SEADE

A tabela 3, em anexo, sintetiza as características para o ano de 2017 dos 4 grupos de controle e do grupo de tratamento. Os dados mostram que a média dos PIB per capita dos municípios dos grupos de controle 1 e 4 são mais parecidas com a dos municípios tratados.

3.2.2 Mensuração dos efeitos sobre acidentes fatais

Diferentemente da mensuração dos efeitos da concessão sobre a renda apropriada, que é realizada para um grupo de municípios tratados, a avaliação do impacto sobre os acidentes fatais é feita apenas sobre uma unidade: a rodovia tratada. Dessa forma, foi construído um controle sintético, a partir da metodologia proposta por Abadie e Gardeazabal (2003).⁵ Para a construção da estimativa por controle sintético, utilizou-se duas possibilidades de período anterior à intervenção: 1- os anos 2016-2017⁶ e 2- o período 2016-2018.

As rodovias de tratamento são os trechos definidos no contrato de concessão, que compreendem segmentos das rodovias SP 255, SP 281 e SP249 destacados na figura 1. Por sua vez, as rodovias doadoras (possíveis rodovias que poderão compor o controle sintético) são restritas ao Estado de São Paulo. As covariadas⁷ propostas são próximas às utilizadas nos estudos de Vassallo (2009) e de Christiano, Magro e Ramírez (2015), são elas: número médio diário e proporção de veículos que trafegam na rodovia, por tipo (automóvel, motocicleta e caminhão).

⁵ Pacote do r Synth

⁶ Os pesos atribuídos as rodovias doadoras nessa especificação podem ser vistos na tabela 13 do anexo.

⁷ A base disponível das covariadas vem do DER e, diferentemente da base do Infosiga, só tem dados disponíveis a partir de 2016.

O método de controle sintético busca minimizar a diferença entre o resultado obtido pelo grupo do tratamento com o resultado simulado pelo grupo de rodovias sintética.

Como resultado do modelo, o vetor w foi calibrado e conseguiu aproximar as covariadas do grupo sintético com o grupo de tratamento, conforme mostrado na tabela 4 anexa.

Para mensurar a qualidade da seleção do grupo de tratamento em relação ao grupo de controle, foi realizado o teste de razão de erro de previsão média quadrática pós/pré-tratamento. O resultado indicou um valor-p alto (0,875), ou seja, os dois grupos podem ser considerados estaticamente iguais o que demonstrou uma boa qualidade da seleção do modelo sintético, com os pesos demonstrados na tabela 5 anexa.

4. Resultados

4.1 Efeitos sobre a renda apropriada

Embora o principal resultado econômico esperado pela intervenção seja sobre a renda dos municípios impactados, há uma defasagem temporal na divulgação da base de dados de PIB municipal de dois anos. Dessa forma, será utilizado o consumo de energia elétrica residencial dos municípios como proxy de renda apropriada municipal. Como já discutido, essa variável tem sido utilizada frequentemente na literatura.

A tabela 6 apresenta os impactos estimados sobre o consumo de energia elétrica residencial per capita (em log). Os efeitos da concessão, considerando as quatro diferentes composições do grupo de comparação, foram de um aumento médio entre 0,029 e 0,049 sobre o log do consumo de energia elétrica residencial per capita (em MWh). Os coeficientes são estatisticamente significativos a, pelo menos 1%, para os três primeiros grupos controle.

Tabela 6 –Efeitos da concessão – Estimativas Diff in Diff

Variável dependente: log(Consumo de Energia Elétrica Residencial Per Capita (MWh))				
	Controle 1 - 60km Sul	Controle 2 - Trecho Norte	Controle 3 - 60km Norte	Controle 4 - Similares
Coeficiente (θ)	0,031*** (0,011)	0,049*** (0,012)	0,029*** (0,011)	0,046 (0,030)
Observações	441	245	406	455

Nota: Erros robustos clusterizados em nível municipal em parênteses; * $p<0.1$; ** $p<0.05$; *** $p<0.01$; coeficientes (θ) estimados conforme a equação 1.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do SEADE

Com o objetivo de simplificar a interpretação dos resultados, a tabela 7 apresenta os efeitos econômicos da concessão, calculados a partir dos impactos estimados da tabela 6 e utilizando, como base, os valores de consumo de energia residencial per capita e PIB per capita verificados no ano de 2017, último ano pré-intervenção, do grupo tratamento (tabela 3 de estatísticas descritivas). As estimativas mostram que a concessão ampliou o consumo de

energia elétrica residencial per capita em um valor entre 0,021 MWh⁸ e 0,036MWh, dependendo do grupo controle escolhido. Isso equivale a uma variação entre 3,0% e 5,0% na medida de renda apropriada. Considerando a elasticidade de 58.946 (tabela 11 do anexo) estimada entre PIB e consumo de energia residencial, é possível calcular que o impacto da concessão sobre o PIB per capita foi positivo, com valor entre R\$1.266 e R\$2.161, o que equivale a um aumento entre 4,7% e 8,1%. Essas evidências, considerando tempo decorrido da intervenção, indicam aderência com os resultados obtidos por Donaldson (2018). As evidências indicam, portanto, que o modelo de concessão de rodovias da ViaPaulista trouxe benefícios econômicos aos municípios impactados, mesmo com a análise restrita a apenas 4 anos após a intervenção (2018-2021).

Tabela 7 –Efeitos econômicos da concessão

	Controle 1 - 60km Sul	Controle 2 - Trecho Norte	Controle 3 - 60km Norte	Controle 4 - Similares
Consumo de Energia Elétrica Residencial Per Capita	0,023MWh 3,2%	0,036 MWh 5,0%	0,021 MWh 3,0%	0,034 MWh 4,7%
PIB per capita	R\$1.355 5,1%	R\$2.161 8,1%	R\$1.266 4,7%	R\$2.026 7,6%

Nota: Efeitos calculados a partir dos impactos estimados na tabela 6 e da base de valores médios de 2017 (tabela 3)
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do SEADE

Uma hipótese fundamental para que os coeficientes estimados tenham interpretações de impactos causais é que o consumo médio de energia elétrica residencial per capita para os grupos tratado e controle tenham trajetórias similares no período anterior à intervenção. Isso indica que, caso não houvesse a concessão, as tendências sobre a variável de interesse de ambos os grupos continuariam semelhantes. É possível verificar pela figura 9 que, nas quatro regressões, a premissa de tendências paralelas no período pré intervenção foi respeitada. A trajetória do grupo tratado parece aproximar-se da trajetória do grupo controle apenas após a intervenção. Ou seja, há evidências estatísticas que explicam o crescimento do consumo de energia elétrica residencial ocasionado pelo tratamento (concessão rodoviária).

⁸ O cálculo desse efeito é dado por $EXP(\ln(0,73) + 0,029) - 0,73 = 0,021$, em que 0,73 é o consumo residencial de energia per capita MWh médio do grupo tratado em 2017 e 0,025 é o impacto estimado em log para o respectivo grupo controle.

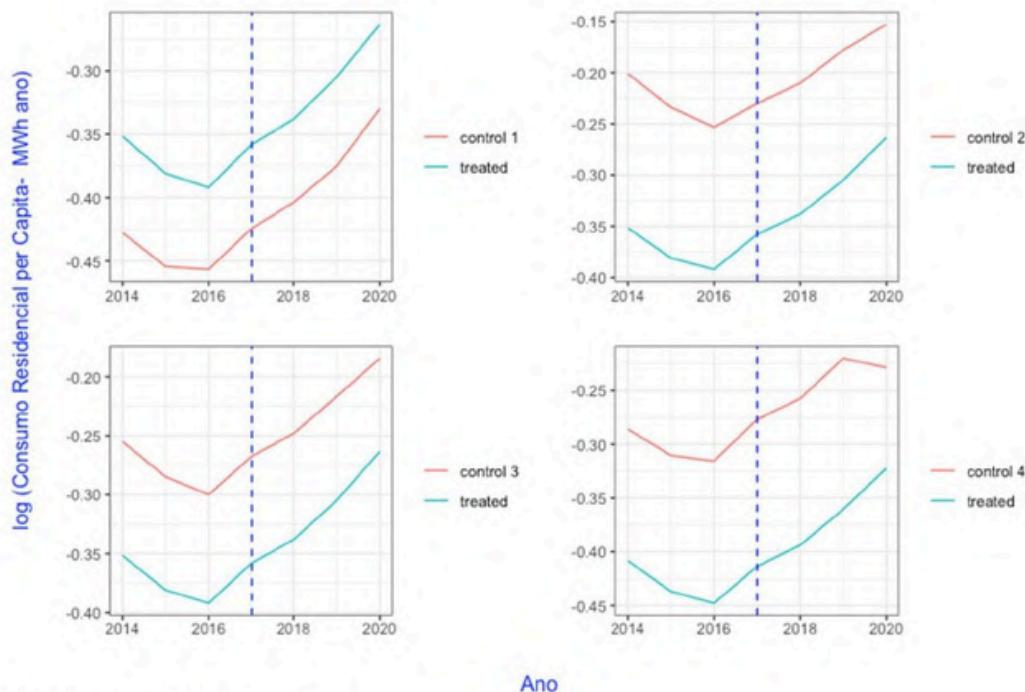


Figura 9 – Tendências paralelas
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do SEADE

4.2 Efeitos sobre a fatalidades no trânsito

A figura 10 apresenta a comparação da evolução do número de fatalidades no trânsito entre as rodovias do grupo tratado e as do grupo de controle (normalizado em 2016), construída a partir da metodologia de controle sintético. Nesse caso, foi considerado como período pré-intervenção os anos anteriores a assinatura do contrato (2016 e 2017). Verifica-se que as fatalidades seguem trajetórias similares no período pré-intervenção.

Embora a figura apresente a trajetória do grupo controle normalizada para o valor observado no grupo tratado em 2016, é possível calcular o *gap* de fatalidades entre os grupos (figura 11 anexa). Observa-se que havia, no período pré-intervenção, mais fatalidades nas rodovias do grupo tratado, com pico no ano de 2018, mas a diferença foi sendo constantemente reduzida ao longo dos anos. Considerando o ano de 2021, verifica-se uma queda superior a 13 fatalidades por ano após a intervenção, comparando com o *gap* médio do período pré-intervenção.

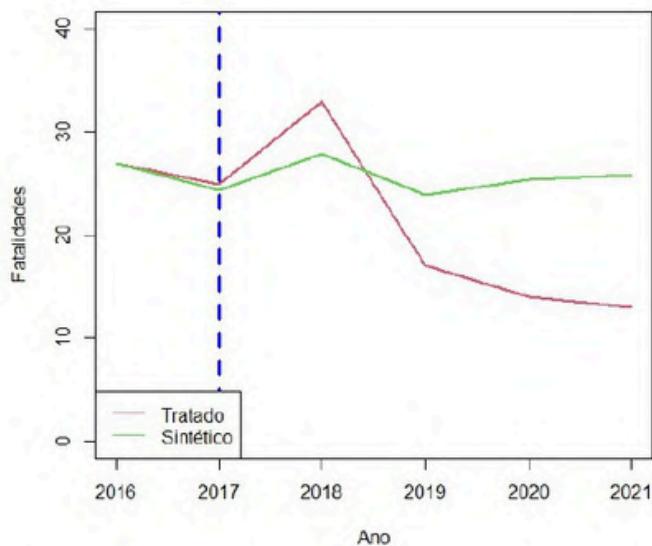


Figura 10 – Evolução do número de fatalidades, considerando o primeiro ano da intervenção em 2018 (normalizado em 2016).
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Infosiga

Uma outra estratégia de estimação utilizada foi considerar como período pré-intervenção os anos 2016-2018. Os resultados estão presentes na figura 12. Conforme já havia sido discutido anteriormente, o número de acidentes fatais aumenta no grupo tratado no primeiro ano de contrato. Após a intervenção (em 2018, nessa especificação), no entanto, observa-se uma queda acentuada do número acidentes fatais, enquanto o valor permanece semelhante para o grupo controle.

Analizado a evolução do *gap* (figura 13 anexa), verifica-se uma redução mais acentuada da distância entre os grupos nesta especificação. Considerando a média do período 2016-2018, observa-se que no último ano da série (2021) houve o maior impacto, aproximadamente 14 acidentes fatais a menos nas rodovias concessionadas. Este número é semelhante ao encontrado na especificação anterior e equivale a uma redução de aproximadamente 76% no número de acidentes fatais. O aumento de impacto ao longo dos anos está em linha com o observado por Alves et. al (2021).

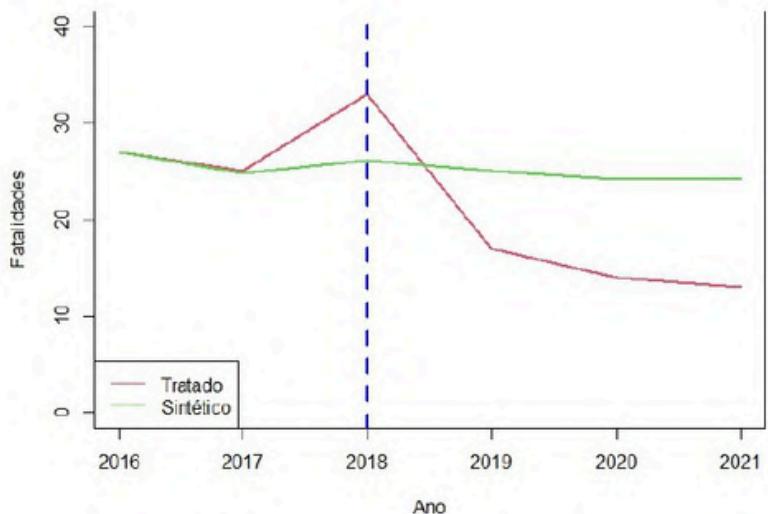


Figura 12 – Evolução do número de fatalidades, considerando o primeiro ano da intervenção em 2019 (normalizado em 2016).
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Infosiga

A figura 14 anexa mostra graficamente os resultados do teste de placebo. A rodovia de tratamento (linha preta) apresenta um comportamento diferenciado, com uma importante redução após o ano de 2018. Essa é uma evidência de que houve, de fato, um efeito sobre redução de fatalidades nas rodovias causados pela concessão.

Conforme discutido anteriormente, a violência no trânsito gera um impacto negativo nas finanças públicas e na produtividade do Estado. A partir da estimativa sobre impacto nas fatalidades, obtida pela estratégia empírica de controle sintético (redução de aproximadamente 14 fatalidades com a concessão), e dos dados da ViaPaulista, apresentados na tabela 14 do anexo, sobre a relação entre acidentes fatais e demais acidentes no período 2019-2021 (para cada fatalidade existem 1,61 vítimas graves, 6,66 vítimas leves e 4,57 vítimas ilesas), foi realizado um exercício de cálculo do impacto econômico da concessão para o Estado. Como premissa, a redução de fatalidades foi perpetuada para todo período remanescente da concessão, até 2047.

Para os custos dos acidentes, foram utilizados os valores calculados por Carvalho (2020), em que cada fatalidade, acidente com vítima e acidente sem vítima custa para o Estado R\$ 1.010.003, R\$ 146.980 e R\$ 35.699 respectivamente. Ou seja, apenas em redução de acidentes com fatalidade, por exemplo, existe um benefício econômico de R\$14,140 milhões ($R\$ 1.010.003 \times 14$ fatalidades evitadas) para o Estado. O valor do impacto econômico para cada ano foi descontado pela taxa juros da NTNBB do dia 31 de dezembro de 2021⁹, gerando o Valor Presente Líquido do impacto econômico.

⁹ A tabela 15 do anexo mostra a curva de juros que foi utilizada para o desconto. A curva foi construída através dos títulos NTNBBs disponíveis e interpolada por splines.

Considerando a redução das fatalidades na rodovia após a intervenção, foi estimado um benefício econômico para o Estado de mais de R\$ 444 milhões, conforme tabela 8 do anexo. Essa estimativa pode ser considerada conservadora, uma vez que as melhorias futuras de duplicação tendem a ampliar a redução de fatalidades anuais em relação ao período pré concessão.

5 Considerações Finais

O presente estudo teve o objetivo de examinar o impacto da concessão de rodovias estaduais ocorridas em São Paulo sobre as economias locais e sobre a segurança nas estradas. Como fonte de variação exógena da renda, a pesquisa explorou o fato de que o modelo de concessão avaliado ocorreu apenas em algumas localidades e, dessa forma, aplicou-se a estratégia de diferença em diferenças com 4 composições distintas de grupo controle. Para estimar os impactos sobre a redução de acidentes fatais nas rodovias concessionadas, a metodologia utilizada foi a de controle sintético.

Os resultados indicam que a concessão impactou positivamente a renda apropriada pelos municípios cortados pelas rodovias em um valor entre 3,0% e 5,0%, dependendo da composição do grupo de controle. Este impacto equivale a um acréscimo de valor entre R\$1.266 e R\$2.161 no PIB per capita, considerando a relação estimada entre PIB e consumo de energia elétrica. Com relação aos impactos sobre segurança no trânsito, as estimativas apontam uma redução crescente do número de fatalidades nas rodovias concessionadas. Considerando o último ano da série de dados (2021), foi estimada uma redução entre 13 e 14 mortes nas estradas concessionadas, dependendo da definição do período de início da intervenção. Essa redução de acidentes nas estradas equivale, a partir de um exercício de cálculo do Valor Presente Líquido, a um benefício econômico para o Estado de mais de R\$ 444 milhões ao longo de todo o período de concessão.

Este estudo representa a primeira avaliação com metodologia rigorosa de análise de causalidade dos impactos de uma concessão estadual sobre renda e a violência no trânsito. Ao focar nessa concessão específica, o trabalho não apenas elucida seus efeitos econômicos e de segurança, mas também propõe uma metodologia robusta que pode ser replicada em outras avaliações. As conclusões obtidas oferecem valiosas contribuições para a formulação de políticas públicas, proporcionando evidências concretas para embasar decisões futuras relacionadas a concessões e melhorias de infraestrutura.

As limitações do presente estudo são decorrentes, especialmente, da disponibilidade de informações. Existe uma defasagem de dois anos para a divulgação do PIB dos municípios, em relação ao PIB Estadual, o que inviabilizou sua utilização. Ainda, os indicadores de acidentes não fatais não foram utilizados por ter uma série de dados iniciadas apenas em 2019. Por fim, ressalta-se que a previsão de investimentos em obras melhoria acontecerão até 2025. Dessa forma, futuros estudos poderão investigar o efeito total do modelo de concessão da ViaPaulista nas rodovias de São Paulo.

Referências

- ABADIE, Alberto; GARDEAZABAL, Javier. The Economic Costs of Conflict: A case study of the basque country. *The American Economic Review*, v. 93, n. 1, p. 113-132, 2003.
- ALVES, P. J., EMANUEI, L., & Pereira, R. H. Highway concessions and road safety: Evidence from Brazil. *Research in transportation economics*, v. 90. 2021.
- CHRISTIANO, Thais Rangel Guilherme; MAGRO, José Manuel Vassallo; RAMÍREZ, Blanca del Valle Arenas. Implementation of safety based incentives in public private partnerships (PPPS): An empirical analysis for the Case of Spain. *Transportation Research*, v. 46, n. 8, p. 1153-1404, 2015.
- CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. Saiba quais são as melhores ligações rodoviárias do Brasil. 21ª edição da Pesquisa CNT de Rodovias. 2018. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/saiba-quais-sao-melhores-ligacoes-rodoviarias-brasil>. Acesso em 06/10/2023.
- DONALDSON, Dave. Railroads of the Raj: Estimating the impact of transportation infrastructure. *American Economic Review*, v. 108, n. 4-5, p. 899-934, 2018.
- FIESC - FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SANTA CATARINA. *Proposta do projeto humanização das rodovias Catarinenses*. Região Oeste. 11 ago. 2017. Disponível em: <https://fiesc.com.br/pt-br/publicacoes-e-estatisticas/proposta-do-projeto-humanizacao-das-rodovias-catarinense-regiao-oeste>. Acesso em: 23 mar. 2022.
- GUASCH, J. Luis. *Granting and renegotiating infrastructure concessions: Doing it right*. Washington D.C.: World Bank Publications, 2004.
- IPEA. Rodovias brasileiras: gargalos, investimentos, concessões e preocupações com o futuro. *Comunicados do IPEA*, v.52, 2010.
- CARVALHO, Carlos Henrique Ribeiro de. Custos dos acidentes de trânsito no Brasil: estimativa simplificada com base na atualização das pesquisas do IPEA sobre custos de acidentes nos aglomerados urbanos e rodovias, IPEA. 2020.
- HENDERSON, J. Vernon; STOREYGARD, Adam; WEIL, David N. Measuring economic growth from outer space. *American economic review*, v. 102, n. 2, p. 994-1028, 2012.

KARPOWICZ, Izabela, GÓES, Carlos and GARCIA-ESCRIBANO, Mercedes. Filling the gap: Infrastructure investment in Brazil. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*. v. 2 n.2, 2018.

ROMANO, P. R., & SAMPAIO, R. M. B. Road concessions: Evidence of the effects of improving the transport infrastructure on economic development in Brazil. *Transport Policy*, 2023.

SEADE - SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. *Impacto dos acidentes fatais de trânsito na expectativa de vida no estado de São Paulo*. São Paulo: SEADE, 2018.

VASSALLO, José Manuel. *Do Public Private Partnership promote road safety*. Madri: University Research Sponsorship Programme, 2009.

WORLD BANK. *LPI Global Rankings 2018*. Disponível em: <https://lpi.worldbank.org/international/global?sort=asc&order=Infrastructure#datatable>. Acesso em: 20 jun. 2022.

World Health Organization. *Global status report on road safety 2018*.

XIE, Michael et al. Transfer learning from deep features for remote sensing and poverty mapping. *Analys 30º AAAI Conference on Artificial Intelligence*. Phoenix, Arizona USA, Feb. 12-17, 2016, p. 3929-3935.

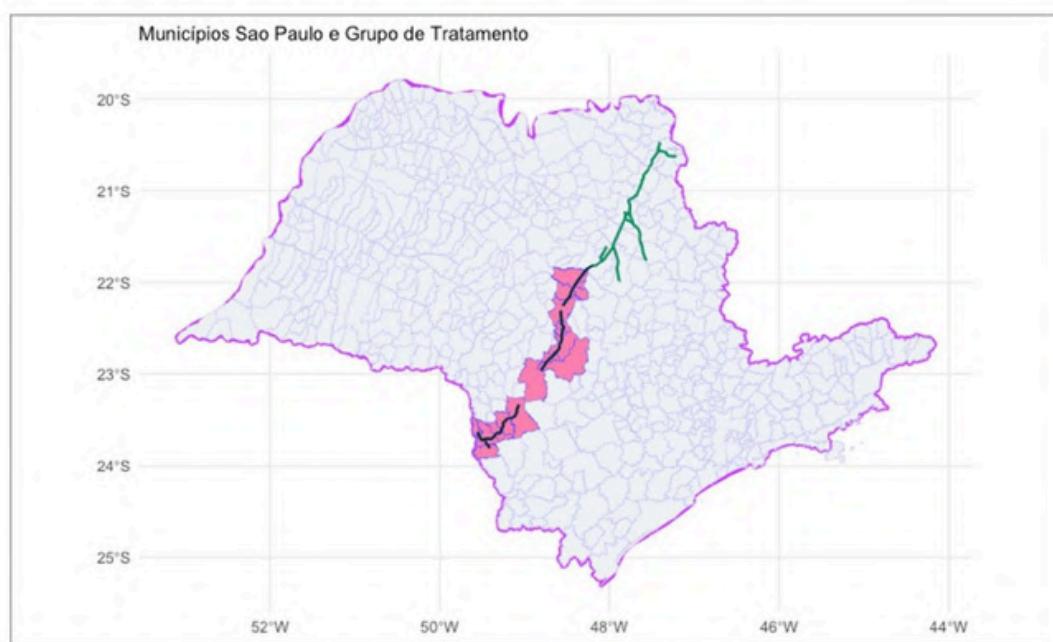


Figura 2 – Mapa da Concessão – ViaPaulista e municípios de tratamento

Fonte: Elaboração própria.

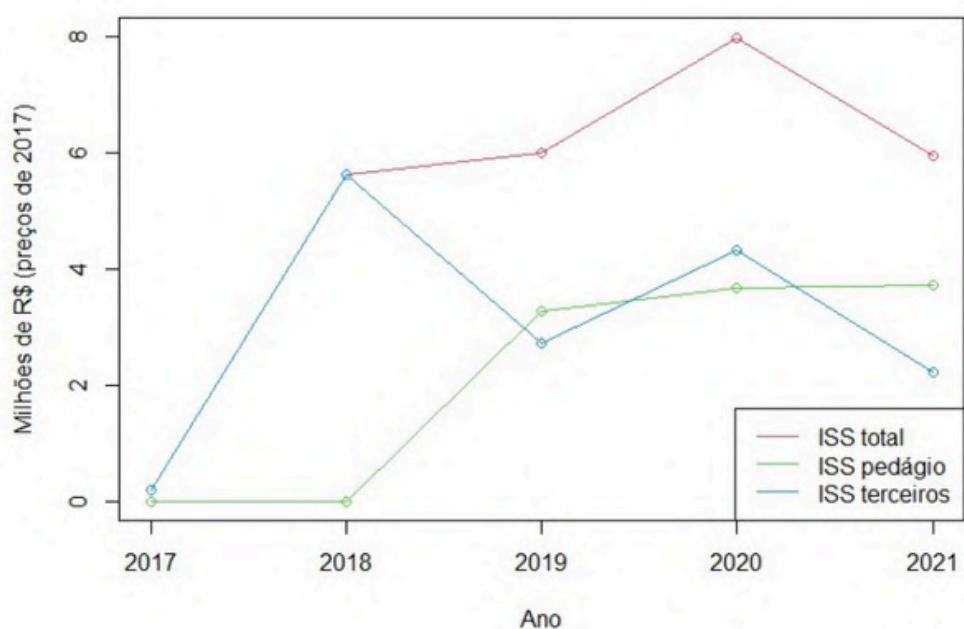


Figura 3 – Evolução do ISS recolhido por tipo e por Grupo de Municípios de Tratamento

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ViaPaulista

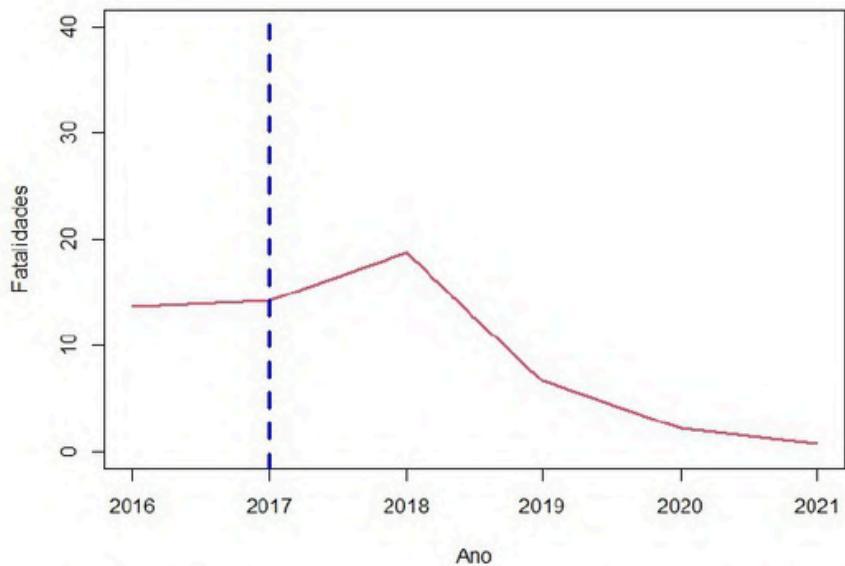


Figura 11 – Evolução do *gap* do número de fatalidades, considerando o primeiro ano da intervenção em 2018.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Infosiga

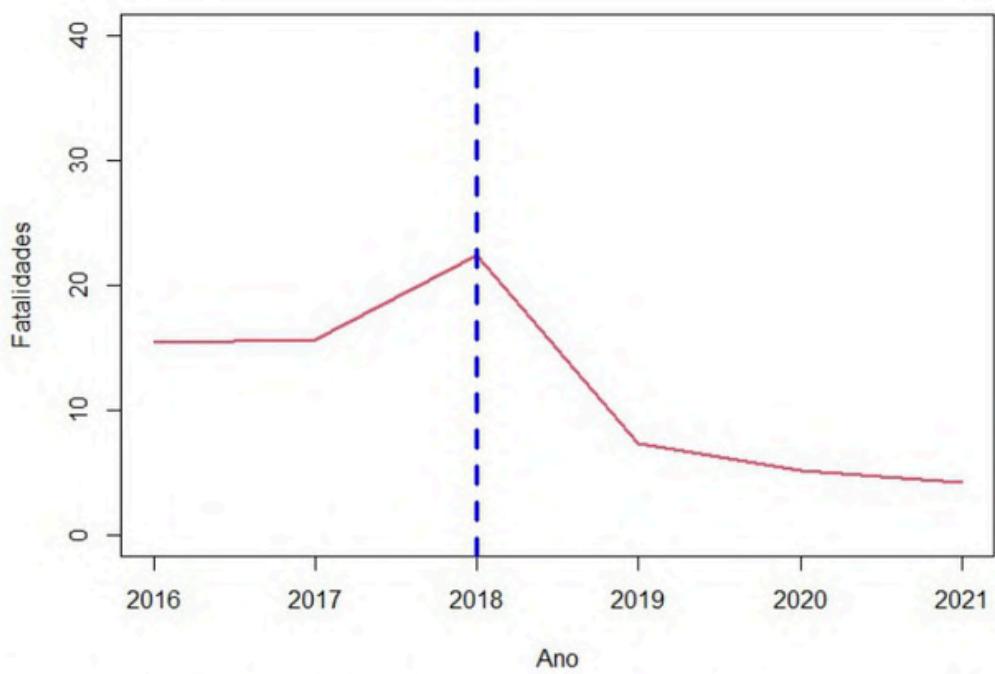


Figura 13 – Evolução do *gap* do número de fatalidades, considerando o primeiro ano da intervenção em 2019.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Infosiga

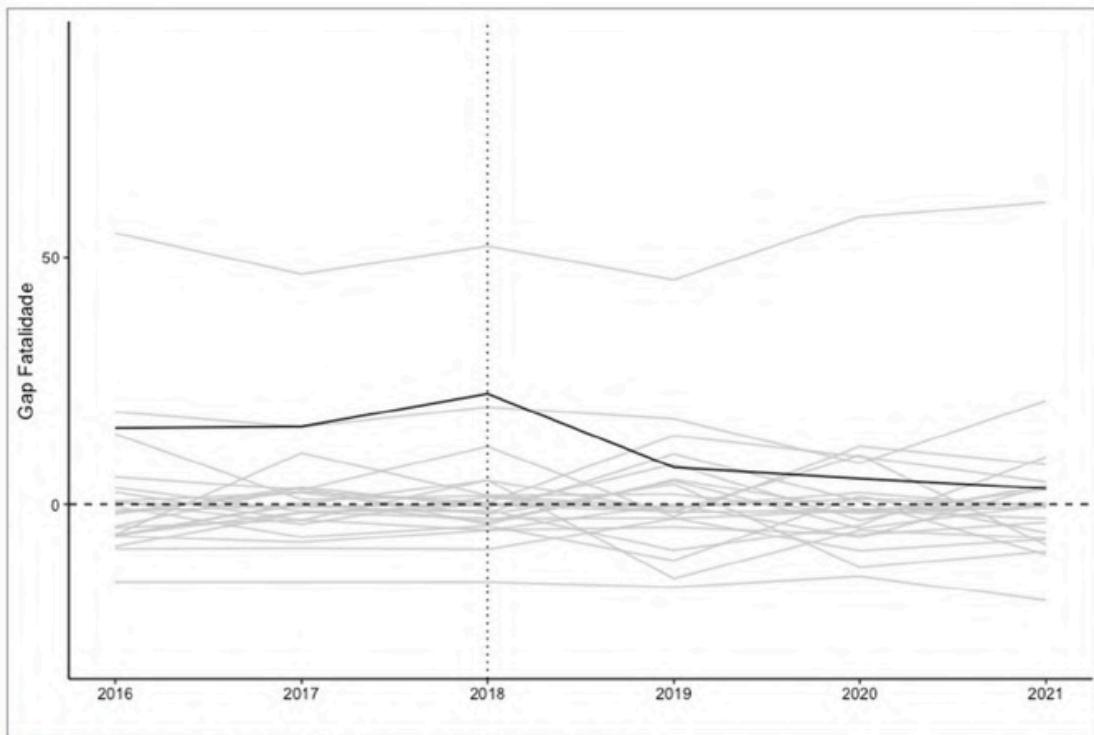


Figura 314 – Resultado do Teste de Placebo - Controle Sintético

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Infosiga

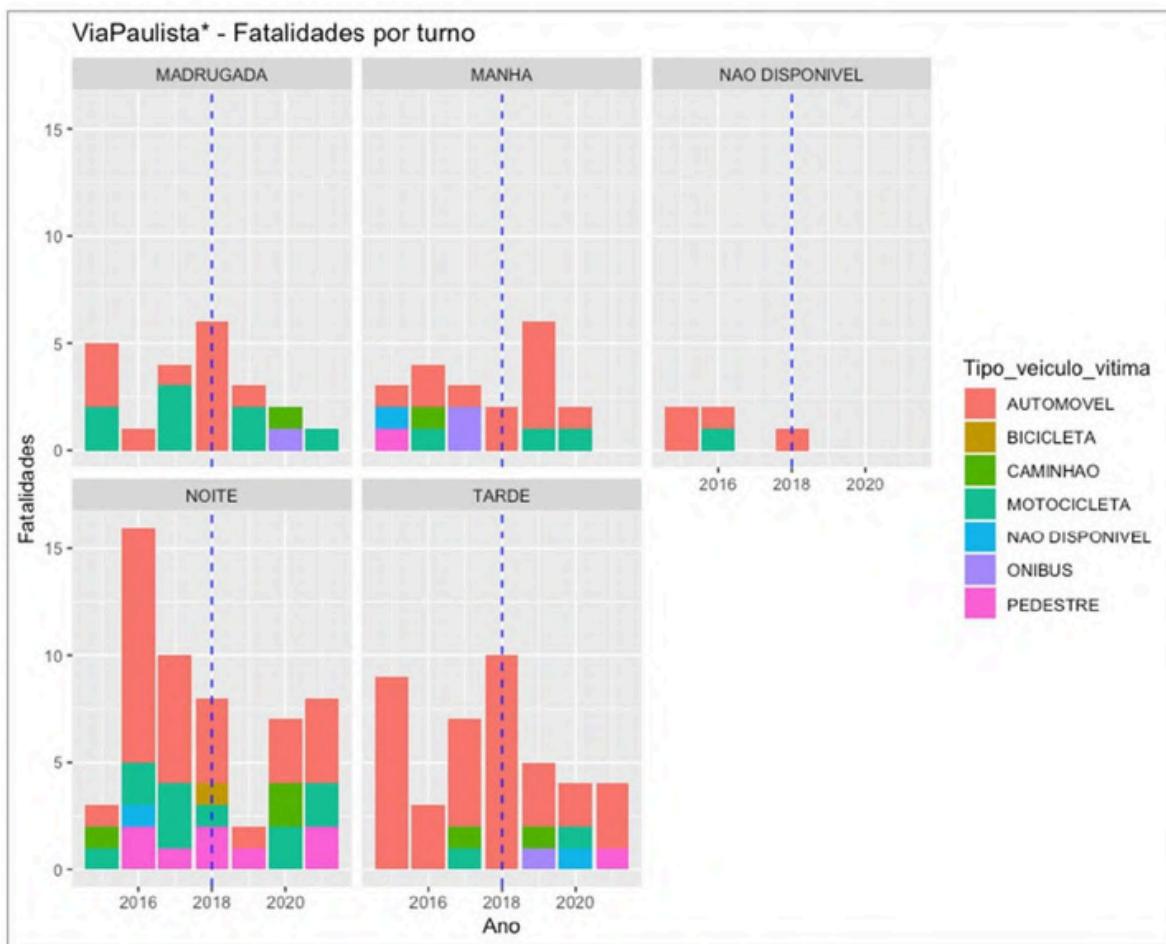


Figura 15 – Análise fatalidades do trecho sul da ViaPaulista por turno
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do INFOSIGA

Tabela 1 – Fonte dos dados

Dados	Fonte	Periodicidade	Início da Série	Fim da Série
PIB Municipal	SEADE	Anual	2002	2019
Energia Elétrica	SEADE	Anual	2001	2020
Faixa etária	SEADE	Anual	2017	2021
População	SEADE	Anual	2017	2021
Emprego	SEADE	Anual	2020	2021
Sexo	SEADE	Anual	2017	2021
ISS	Dados empresa	Anual	2017	2021
Fluxo Veicular	DER	Anual	2016	2021
Acidentes fatais	INFOSIGA	Anual	2015	2021

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 2 – Estatísticas básicas dos Municípios de tratamento – dados de 2017

	Mínimo	1ºQ	Média	3ºQ	Máximo
PIB Público (R\$ Mil)	11,747	24,528	129,966	141,093	526,008
PIB Privado (R\$ Mil)	11,743	31,034	543,686	573,962	2,793,319
PIB Indústria (R\$ Mil)	2,183	9,912	187,001	202,879	963,890
População	1,653	5,817	34,299	35,001	142,860
PIB per capita (R\$)	11,658	19,144	26,724	30,607	73,049
Urbanização (%)	63.0	79.9	88.4	96.6	99.4
Densidade (Hab/Km ²)	15.1	23.6	71.4	71.1	244.5

Critério de Filtro

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do SEADE

Tabela 3 – Estatísticas Descritivas dos grupos de tratamento e controle, municípios de São Paulo, 2017.

Indicadores	Grupo	Mín	1o Q	Média	3o. Q	Máx
População	Tratamento	1.653	5.817	34.299	35.001	142.860
	Controle 1 - 60km Sul	2.497	6.204	26.185	23.661	358.619
	Controle 2 - Trecho Norte	6.167	11.201	97.859	54.734	661.997
	Controle 3- 60km Norte	2.041	7.141	25.850	38.010	119.010
	Controle 4 - Similares	7.218	10.698	16.577	22.792	33.486
Urbanização (%)	Tratamento	63,04	79,91	88,37	96,56	99,43
	Controle 1 - 60km Sul	44,5	78,07	85,22	92,71	98,33
	Controle 2 - Trecho Norte	78,48	86,27	92,29	98,22	99,72
	Controle 3- 60km Norte	68,5	87,31	91,06	97,75	99,41
	Controle 4 - Similares	81,35	86,32	89,57	93,16	96,36
Densidade Populacional (Habitantes/km2)	Tratamento	15,07	23,56	71,45	71,09	244,47
	Controle 1 - 60km Sul	7,18	20,41	49,51	53,46	537,11
	Controle 2 - Trecho Norte	17,64	30,29	163,16	183,31	1017,02
	Controle 3- 60km Norte	13,78	22,15	78,76	115,38	339,71
	Controle 4 - Similares	24,74	32,76	41,19	48,12	68,11
PIB (em R\$ 1.000,00)	Tratamento	43.662	116.475	1.020.847	1.142.143	4.582.888
	Controle 1 - 60km Sul	47.538	159.396	845.410	729.164	13.869.778
	Controle 2 - Trecho Norte	80.120	279.868	3.959.649	1.500.062	32.670.177
	Controle 3- 60km Norte	56.034	163.895	921.205	1.220.293	5.514.148
	Controle 4 - Similares	154.592	238.609	396.118	540.218	818.978
PIB per capita (em R\$)	Tratamento	11.658	19.144	26.724	30.607	73.049
	Controle 1 - 60km Sul	12.723	19.330	28.129	33.724	80.640
	Controle 2 - Trecho Norte	12.992	24.938	35.066	39.158	104.392
	Controle 3- 60km Norte	13.697	21.811	35.494	39.117	186.515
	Controle 4 - Similares	19.290	21.433	23.850	26.506	30.251
Consumo de Energia Residencial (MWh)	Tratamento	1.153	3.282	27.658	29.955	131.556
	Controle 1 - 60km Sul	1.249	4.107	20.897	18.135	359.709
	Controle 2 - Trecho Norte	3.688	8.188	96.759	47.578	728.286
	Controle 3- 60km Norte	1.620	5.309	20.906	28.505	118.794
	Controle 4 - Similares	4.196	7.984	12.903	16.861	36.450
Consumo de Energia Residencial Per Capita (MWh ano/per capita)	Tratamento	0,45	0,59	0,73	0,87	1,24
	Controle 1 - 60km Sul	0,30	0,56	0,68	0,78	1,09
	Controle 2 - Trecho Norte	0,58	0,71	0,81	0,92	1,10
	Controle 3- 60km Norte	0,59	0,69	0,78	0,85	1,54
	Controle 4 - Similares	0,47	0,68	0,76	0,84	1,92
População inferior a 15 anos (%)	Tratamento	15,79	18,9	19,33	20,43	21,17
	Controle 1 - 60km Sul	16,44	18,58	20,22	21,68	25,84
	Controle 2 - Trecho Norte	16,01	17,8	19,47	20,81	23,88
	Controle 3- 60km Norte	16,8	17,82	19,52	21,07	22,75
	Controle 4 - Similares	13,46	16,25	17,95	19,39	23,88
Salário Médio (R\$)	Tratamento	1.631	1.915	2.115	2.304	2.973
	Controle 1 - 60km Sul	1.380	1.894	2.046	2.176	2.747
	Controle 2 - Trecho Norte	1.863	2.109	2.431	2.667	3.249
	Controle 3- 60km Norte	1.590	2.063	2.437	2.629	5.800
	Controle 4 - Similares	1.574	1.945	2.137	2.218	3.248
Empregados Formais	Tratamento	402	1.159	8.741	8.526	41.032
	Controle 1 - 60km Sul	399	1.343	6.829	5.136	121.528
	Controle 2 - Trecho Norte	652	2.093	29.302	14.123	222.877
	Controle 3- 60km Norte	395	1.105	6.444	7.756	39.879
	Controle 4 - Similares	757	1.797	3.301	4.818	7.934

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do SEADE

Tabela 14 – Resultado das Covariadas, por tipo de veículo no período pré-tratamento (2016-2018) – Grupo Sintético e Tratamento

	Tratamento	Sintético	Amostra completa
Passeio (Nº médio diário)	3,363	3,363	4,914

Comercial (Nº médio diário)	989	989	840
Moto (Nº médio diário)	146	164	256
Total (Nº médio diário)	4,498	4,516	6,010
Passeio (Proporção)	75%	75%	80%
Comercial (Proporção)	22%	22%	16%
Moto (Proporção)	3%	3%	4%

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Infosiga

Tabela 25 – Lista das rodovias doadoras, respectivos pesos para a construção do Sintético, considerando o primeiro ano da intervenção em 2019, e fatalidades no período de 2016 a 2021

Rodovia	w. weights	Fatalidades no Período			Variação (2019-21)/(2016-18)
		2016 a 2018	2019 a 2021	2016 a 2021	
SP 8	1.5%	29	30	59	3%
SP 23	1.7%	16	11	27	-31%
SP 31	2.2%	38	39	77	3%
SP 55	1.6%	215	221	436	3%
SP 63	2.3%	25	16	41	-36%
SP 79	0.8%	47	62	109	32%
SP 88	1.9%	43	38	81	-12%
SP 98	2.3%	54	34	88	-37%
SP 123	2.4%	15	29	44	93%
SP 125	2.6%	40	27	67	-33%
SP 225	3.7%	17	24	41	41%
SP 270	1.3%	106	102	208	-4%
SP 274	2.1%	7	8	15	14%
SP 310	13.3%	54	32	86	-41%
SP 322	2.6%	20	29	49	45%
SP 326	11.7%	12	10	22	-17%
SP 332	1.7%	51	58	109	14%
SP 333	0.0%	15	23	38	53%
SP 334	32.0%	19	19	38	0%
SP 344	2.4%	9	11	20	22%
SP 351	6.2%	41	38	79	-7%
SP 354	2.4%	23	37	60	61%
SP 360	1.3%	50	25	75	-50%
TOTAL	100.0%	946	923	1,869	-2%
SP 255		85	44	129	-48%

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Infosiga

Tabela 9 – Municípios – ViaPaulista

Municípios do trecho sul	Municípios do trecho norte
Avaré	Américo Brasiliense
Barão de Antonina	Araraquara
Barra Bonita	Batatais
Boa Esperança do Sul	Brodowski
Bocaina	Cravinhos
Botucatu	Franca
Coronel Mamede	Guatapará
Dourado	Itirapuã
Igaraçu do Tietê	Jardinópolis
Itaí	Luís Antônio
Itaporanga	Patrocínio Paulista
Jaú	Restinga
Pratânia	Ribeirão Preto
Riversul	Rincão
São Manuel	Santa Lúcia
Taquarituba	Santa Rita do Passa Quatro
Trabiju	São Carlos
	São Simão

Fonte: elaboração própria

Tabela 10 – ISS recolhido em Reais (R\$) por tipo e por Grupo de Municípios do Trecho Norte

MUNICÍPIO	ISS PEDÁGIO	ISS TERCEIROS	ISS TOTAL
Américo Brasiliense	852,156	447,325	1,299,482
Araraquara	1,662,084	645,954	2,308,039
Batatais	3,016,905	525,418	3,542,323
Brodowski	1,268,081	123,116	1,391,198
Cravinhos	4,507,881	273,972	4,781,853
Franca	3,510,209	299,541	3,809,750
Guatapará	946,001	244,372	1,190,374
Itirapuã	278,933	75,536	354,469
Jardinópolis	1,138,872	99,510	1,238,382
Luiz Antônio	548,104	105,092	653,197
Patrocínio Paulista	2,186,106	251,622	2,437,728
Restinga	1,224,272	435,267	1,659,539
Ribeirão Preto	6,434,633	1,056,822	7,491,455
Rincão	646,076	500,057	1,146,133
Santa Lúcia	626,996	143,665	770,661
Santa Rita do Passa Quatro	5,961,124	367,207	6,328,330
São Carlos	660,742	478,156	1,138,898
São Simão	6,775,138	444,189	7,219,327
TOTAL	42,244,314	6,516,821	48,761,136

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ViaPaulista

Nota: Anos de 2018, 2019, 2020 e 2021. Deflacionados para moeda de 2017.

Tabela 11– ISS recolhido em Reais (R\$) por tipo e por Grupo de Municípios do Trecho Sul

Município	ISS Pedágio	ISS terceiros	ISS Total
Avaré	29,329	78,811	108,140
Barão de Antonina	74,679	52,349	127,028
Barra Bonita	705,081	776,493	1,481,574
Boa Esperança do Sul	1,099,607	1,818,376	2,917,984
Bocaina	708,327	1,312,923	2,021,251
Botucatu	473,010	915,455	1,388,465
Coronel Mamede	650,755	2,120,547	2,771,301
Dourado	85,103	54,056	139,158
Igaraçu do Tietê	566,238	398,087	964,325
Itaí	782,469	2,071,962	2,854,431
Itaporanga	1,172,578	1,633,153	2,805,731
Jaú	1,304,732	836,857	2,141,589
Pratânia	589,967	571,801	1,161,767
Riversul	235,880	483,515	719,395
São Manuel	1,240,757	785,290	2,026,048
Taquarituba	767,841	1,161,749	1,929,589
Trabiju	182,962	31,625	214,586
TOTAL	10,669,316	15,103,048	25,772,364

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ViaPaulista

Nota: Anos de 2018, 2019, 2020 e 2021. Deflacionados para moeda de 2017.

Tabela 12 – Regressão do PIB per Capita com Consumo de Energia Residencial Per Capita nos municípios dos grupos tratado e controle – Anos de 2009 a 2017

	Tratamento	Variável dependente: PIB per capita (em R\$)			
		Controle 1 - 60km Sul	Controle 2 - Trecho Norte	Controle 3 - 60km Norte	Controle 4 - Similares
Consumo de Energia Residencial per capita (MWh)	58,946*** (11,301)	29,980*** (4,525)	29,513** (9,261)	40,499*** (11,532)	24,829*** (6,744)
R2	0,795	0,862	0,592	0,638	0,991
Observações	9	9	9	9	9

Fonte: Elaboração própria

Tabela 13 – Lista das rodovias doadoras e respectivos pesos para a construção do Sintético, considerando o primeiro ano da intervenção em 2018

Rodovia	w. weights
SP 8	1,7%
SP 23	1,5%
SP 31	1,6%
SP 55	1,5%
SP 63	2,1%

SP 79	1,6%
SP 88	1,1%
SP 98	1,5%
SP 123	1,8%
SP 125	2,1%
SP 225	5,2%
SP 270	1,1%
SP 274	2,1%
SP 310	8,1%
SP 322	2,4%
SP 326	1,9%
SP 332	1,3%
SP 333	0,0%
SP 334	3,3%
SP 344	8,0%
SP 351	46,0%
SP 354	2,1%
SP 360	1,9%
TOTAL	100%

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do INFOSIGA

Tabela 14 – Número e relação de acidentes, por tipo, 2019-2021.

Ano	Vítimas graves	Vítimas Leves	Vítimas iletras	Fatalidades	Graves/fatalidades	Leves/fatalidades	Ilélos/fatalidades
2019	19	103	68	16	1,19	6,44	4,25
2020	28	99	74	15	1,87	6,60	4,93
2021	24	91	59	13	1,85	7,00	4,54
TOTAL	71	293	201	44	1,61	6,66	4,57

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ViaPaulista

Tabela 15 – taxa de Juros NTNBB de 31 de dezembro de 2021

Data	Dias	Juros
31/12/21	0	
31/12/22	365	4.944010887
31/12/23	730	5.399569735
31/12/24	1096	5.560430915
31/12/25	1461	5.581007958
31/12/26	1826	5.597381066
31/12/27	2191	5.685161677
31/12/28	2557	5.720783578
31/12/29	2922	5.690347737
31/12/30	3287	5.686618745
31/12/31	3652	5.737123776

31/12/32	4018	5.765112042
31/12/33	4383	5.774982627
31/12/34	4748	5.782272008
31/12/35	5113	5.789506524
31/12/36	5479	5.795661957
31/12/37	5844	5.801305124
31/12/38	6209	5.807304357
31/12/39	6574	5.814509718
31/12/40	6940	5.824401033
31/12/41	7305	5.84194654
31/12/42	7670	5.863696041
31/12/43	8035	5.884141704
31/12/44	8401	5.897798645
31/12/45	8766	5.90206592
31/12/46	9131	5.90494229
31/12/47	9496	5.907251641

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da Bloomberg

Tabela 8 – Valor Presente Líquido dos acidentes (em milhão de R\$)

Ano	Vidas Salvas	Vítimas Graves	Vítimas Leves	Vítimas Ilesas	TOTAL	VPL
2022	14,140	3,320	13,703	2,283	33,446	31,870
2023	14,140	3,320	13,703	2,283	33,446	30,107
2024	14,140	3,320	13,703	2,283	33,446	28,434
2025	14,140	3,320	13,703	2,283	33,446	26,916
2026	14,140	3,320	13,703	2,283	33,446	25,473
2027	14,140	3,320	13,703	2,283	33,446	24,003
2028	14,140	3,320	13,703	2,283	33,446	22,658
2029	14,140	3,320	13,703	2,283	33,446	21,481
2030	14,140	3,320	13,703	2,283	33,446	20,331
2031	14,140	3,320	13,703	2,283	33,446	19,146
2032	14,140	3,320	13,703	2,283	33,446	18,054
2033	14,140	3,320	13,703	2,283	33,446	17,051
2034	14,140	3,320	13,703	2,283	33,446	16,106
2035	14,140	3,320	13,703	2,283	33,446	15,211
2036	14,140	3,320	13,703	2,283	33,446	14,366
2037	14,140	3,320	13,703	2,283	33,446	13,567
2038	14,140	3,320	13,703	2,283	33,446	12,811
2039	14,140	3,320	13,703	2,283	33,446	12,093
2040	14,140	3,320	13,703	2,283	33,446	11,408
2041	14,140	3,320	13,703	2,283	33,446	10,745
2042	14,140	3,320	13,703	2,283	33,446	10,108
2043	14,140	3,320	13,703	2,283	33,446	9,507
2044	14,140	3,320	13,703	2,283	33,446	8,953
2045	14,140	3,320	13,703	2,283	33,446	8,446
2046	14,140	3,320	13,703	2,283	33,446	7,970
2047	14,140	3,320	13,703	2,283	33,446	7,521
TOTAL					33,446	444,336

UMA ANÁLISE SOBRE OS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS E A POLÍTICA DE SUSTENTABILIDADE DAS NOVAS CONCESSÕES DE RODOVIAS NO BRASIL

RESUMO

Investir em rodovias é crucial para o desenvolvimento econômico. Por outro lado, a construção e melhoria das rodovias tendem a aumentar as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), devido ao crescimento na demanda por transporte, ao uso intensivo de máquinas e equipamentos, e ao desmatamento, entre outros impactos ambientais. Isso contribui para o aquecimento global e as mudanças climáticas. Portanto, é crucial promover práticas sustentáveis no setor de transporte rodoviário para assegurar que os benefícios esperados pelo desenvolvimento das rodovias não sejam anulados pelos danos socioambientais decorrentes da degradação ambiental. O presente estudo contribui para a discussão sobre a sustentabilidade ambiental das concessões rodoviárias no Brasil em algumas vertentes. Primeiro, avalia-se os impactos socioambientais dos investimentos planejados nas Novas Concessões Rodoviárias Federais. Para isso, expande-se o estudo de Medeiros et al. (2024), o qual calcula, a partir de modelos econômétricos, os impactos dos investimentos em rodovias sobre as emissões de GEE no Brasil. Segundo, calcula-se a porcentagem das receitas das concessionárias que deveriam ser alocadas para iniciativas ambientais, visando garantir a sustentabilidade ambiental das concessões. Os resultados revelam que os investimentos em rodovias das Novas Concessões podem gerar impactos socioambientais adversos de até R\$ 1,17 bilhões. A medida proposta no Novo Modelo de Concessões, que destina 1% das receitas das concessionárias para iniciativas de sustentabilidade, não seria suficiente para cobrir os danos ambientais resultantes do desenvolvimento da infraestrutura, dada a atual magnitude das emissões de GEE no país. Para zerar o déficit socioambiental das rodovias, seria necessário que a porcentagem das receitas das concessionárias fosse superior a 1,5%. Os recursos deveriam ser ainda maiores para financiar investimentos na resiliência climática das rodovias. Além disso, é crucial articular essas medidas com políticas ambientais mais abrangentes, como o controle do desmatamento, para assegurar a sustentabilidade ambiental das Novas Concessões. Por fim, os resultados apontam para heterogeneidades regionais relevantes nos impactos socioambientais do desenvolvimento das rodovias, com algumas concessões superavitárias e outras deficitárias em termos socioambientais. Nesse sentido, é importante discutir mecanismos para tornar o sistema de transporte rodoviário superavitário do ponto de vista ambiental como, por exemplo, a partir de “subsídios-cruzados ambientais”.

AUTORES

Victor Medeiros, Rafael Saulo Marques Ribeiro

2º LUGAR

C a t e g o r i a II

**BENEFÍCIOS DAS AÇÕES DE
SUSTENTABILIDADE NAS
CONCESSÕES DE RODOVIAS**

2º PRÊMIO MELHORES RODOVIAS DO BRASIL – CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA

Melhores Rodovias do Brasil – ABCR (Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias)

CATEGORIA II: BENEFÍCIOS DAS AÇÕES DE SUSTENTABILIDADE NAS CONCESSÕES DE RODOVIAS

UMA ANÁLISE SOBRE OS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS E A POLÍTICA DE SUSTENTABILIDADE DAS NOVAS CONCESSÕES DE RODOVIAS NO BRASIL

Resumo

Investir em rodovias é crucial para o desenvolvimento econômico. Por outro lado, a construção e melhoria das rodovias tendem a aumentar as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), devido ao crescimento na demanda por transporte, ao uso intensivo de máquinas e equipamentos, e ao desmatamento, entre outros impactos ambientais. Isso contribui para o aquecimento global e as mudanças climáticas. Portanto, é crucial promover práticas sustentáveis no setor de transporte rodoviário para assegurar que os benefícios esperados pelo desenvolvimento das rodovias não sejam anulados pelos danos socioambientais decorrentes da degradação ambiental. O presente estudo contribui para a discussão sobre a sustentabilidade ambiental das concessões rodoviárias no Brasil em algumas vertentes. Primeiro, avalia-se os impactos socioambientais dos investimentos planejados nas Novas Concessões Rodoviárias Federais. Para isso, expande-se o estudo de Medeiros *et al.* (2024), o qual calcula, a partir de modelos econométricos, os impactos dos investimentos em rodovias sobre as emissões de GEE no Brasil. Segundo, calcula-se a porcentagem das receitas das concessionárias que deveriam ser alocadas para iniciativas ambientais, visando garantir a sustentabilidade ambiental das concessões. Os resultados revelam que os investimentos em rodovias das Novas Concessões podem gerar impactos socioambientais adversos de até R\$ 1,17 bilhões. A medida proposta no Novo Modelo de Concessões, que destina 1% das receitas das concessionárias para iniciativas

de sustentabilidade, não seria suficiente para cobrir os danos ambientais resultantes do desenvolvimento da infraestrutura, dada a atual magnitude das emissões de GEE no país. Para zerar o déficit socioambiental das rodovias, seria necessário que a porcentagem das receitas das concessionárias fosse superior a 1,5%. Os recursos deveriam ser ainda maiores para financiar investimentos na resiliência climática das rodovias. Além disso, é crucial articular essas medidas com políticas ambientais mais abrangentes, como o controle do desmatamento, para assegurar a sustentabilidade ambiental das Novas Concessões. Por fim, os resultados apontam para heterogeneidades regionais relevantes nos impactos socioambientais do desenvolvimento das rodovias, com algumas concessões superavitárias e outras deficitárias em termos socioambientais. Nesse sentido, é importante discutir mecanismos para tornar o sistema de transporte rodoviário superavitário do ponto de vista ambiental como, por exemplo, a partir de “subsídios-cruzados ambientais”.

Palavras-chave: Novas Concessões Rodoviárias; Impactos Socioambientais; Investimentos em Rodovias; Mecanismos de Sustentabilidade; Financiamento Verde.

Uma análise sobre os impactos socioambientais e a política de sustentabilidade das Novas Concessões de rodovias no Brasil

1. Introdução

Investimentos em rodovias são fundamentais para a redução dos tempos de viagem e custos de transportes, o crescimento da produtividade, a expansão de mercados internos e externos e os ganhos de competitividade, e a redução dos níveis de desigualdade e pobreza (Baum-Snow *et al.*, 2020; Bird e Straub, 2020; Foster *et al.*, 2023a, 2023b; Medeiros *et al.*, 2021a, 2022; Straub, 2011). Por outro lado, a construção e o aperfeiçoamento das rodovias tendem a gerar aumento das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) a partir da ampliação da demanda por transportes, do uso de máquinas e equipamentos, do desflorestamento, entre outras variáveis ambientais, contribuindo para o aquecimento global e as mudanças climáticas (Luo *et al.*, 2018; Medeiros *et al.*, 2024; Xie *et al.*, 2017). Portanto, a promoção de ações sustentáveis no setor de transporte rodoviário é essencial para garantir que os benefícios esperados pelo desenvolvimento das estradas não sejam contrabalançados por prejuízos socioambientais ocasionados pela degradação do meio ambiente.

As concessões rodoviárias têm se mostrado uma forma eficiente e efetiva para a expansão dos investimentos em infraestrutura no país de maneira ambientalmente correta (Araújo, 2022; Zegras e Grillo, 2014). Estima-se que as Novas Concessões Rodoviária Federais investirão cerca de R\$ 88,1 bilhões nos próximos anos¹. Além disso, as concessionárias têm demonstrado capacidade técnica e *expertise* para promover boas práticas ambientais de forma eficaz, as quais podem ser comprovadas pelo estabelecimento de políticas ambientais institucionais, certificações ambientais, planos de preservação da biodiversidade, ações sociais e educacionais, entre outras ações².

Nesse contexto, o presente estudo contribui para a discussão sobre a sustentabilidade ambiental das concessões rodoviárias brasileiras em algumas vertentes. Primeiro, projeta-se os impactos socioambientais dos investimentos previstos das Novas Concessões, fornecendo insumos para a formulação de medidas de mitigação e compensação ambiental. Segundo, calcula-se os recursos, baseados em porcentagens das receitas das concessionárias, que deveriam ser destinados para ações de meio ambiente de forma a garantir a sustentabilidade ambiental das concessões. Com isso, dialoga-se com medidas atualmente em discussão no âmbito do Novo Modelo de Concessões e da agenda de descarbonização do setor de transportes, fornecendo uma medida prática e que poderia ser aplicada ou aperfeiçoada de forma célere. Por fim, o trabalho fornece *insights* acerca do potencial de políticas complementares de meio ambiente, como o controle do desmatamento, para a redução dos custos ambientais dos investimentos rodoviários, e as diferenças regionais dos impactos

¹ <https://www.gov.br/casacivil/pt-br/novopac/transporte-eficiente-e-sustentavel/rodovias>.

² <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/rodovias/relatorios/acompanhamento-ambiental-das-concessoes-rodoviarias-1>.

socioambientais das rodovias, identificando potencialidades para medidas como “subsídios-cruzados ambientais”.

O artigo é estruturado em mais quatro seções, além dessa breve introdução. A segunda seção disserta sobre os principais fatores que motivaram o estudo, bem como os objetivos propostos pelo presente artigo. A terceira seção descreve os métodos utilizados. A quarta seção exibe os resultados encontrados, contextualizando-os no âmbito das políticas rodoviárias e das novas concessões. A quinta seção conclui.

2. Motivação e Objetivos

As mudanças climáticas têm impactado a sociedade de maneira cada vez mais intensa. Eventos climáticos extremos, como o aumento da temperatura, alagamentos, inundações e deslizamentos de terra, têm sido cada vez mais recorrentes. O desenvolvimento do setor de transportes, e mais especificamente das rodovias, por sua vez, impacta e é impactado por essas alterações no meio ambiente (Emodi *et al.*, 2022; Georgatzi *et al.*, 2023; Ghannouchi *et al.*, 2023; Luo *et al.*, 2018).

Por um lado, as rodovias expandem diretamente as emissões de GEE ocasionadas por materiais e equipamentos em sua fase de construção e manutenção (Han *et al.*, 2017; Lin *et al.*, 2017). Uma vez que as vias são construídas ou aperfeiçoadas, a demanda por transportes tende a aumentar, com consequente expansão das emissões de GEE relacionadas à queima de combustíveis (Churchill *et al.*, 2021; Li e Lu, 2022; Xiao *et l.*, 2023; Yao *et al.*, 2023). Além disso, diversos estudos têm comprovado que o desenvolvimento rodoviário tende a alargar o desmatamento, com potenciais efeitos adversos sobre a fauna, flora, poluição das águas, entre outras variáveis ecológicas e ambientais (Asher *et al.*, 2020; Awad *et al.*, 2023; Lin e Chen, 2020). A Figura A1 no Apêndice descreve os mecanismos diretos e indiretos pelos quais os investimentos em rodovias podem afetar as emissões de GEE.

Por outro lado, as mudanças climáticas têm impactado a infraestrutura rodoviária nacional. Um exemplo de ampla magnitude pode ser visto na tragédia ocasionada pelas chuvas intensas no Rio Grande do Sul (RS), em que ocorreram diversos bloqueios em rodovias federais e estaduais, muitas delas com trechos completamente destruídos (Medeiros e Ribeiro, 2024). Estimativas do governo do RS apontam que serão necessários entre R\$3 bilhões e R\$ 10 bilhões para a reconstrução e adaptação climática das rodovias do estado. Além disso, o Governo Federal destinou R\$ 1 bilhão para a recuperação das vias federais, valor o qual deve ser incrementado com o avanço dos estudos dos custos para as rodovias impactadas.

Nesse sentido, avaliar os impactos gerados e sofridos pelas rodovias é crucial para a promoção de investimentos eficientes e ambientalmente corretos no país. A questão ganha ainda mais relevância

no atual cenário, com uma série de Novas Concessões incluídas no *pipeline* de projetos do Governo Federal, muitas das quais com leilão previsto ainda em 2024³. Considerando apenas as concessões do Cronograma 2023/2024, os investimentos estimados se aproximam de R\$ 80 bilhões. Enquanto esses recursos são fundamentais para o desenvolvimento econômico do país, eles deverão gerar impactos socioambientais não desprezíveis, como os custos socioambientais das emissões de GEE.

Nesse sentido, importantes mecanismos têm emergido na agenda de descarbonização do setor de transporte rodoviário. Por exemplo, diversas medidas institucionais têm sido propostas ou aprimoradas no âmbito do Novo Programa de Aceleração do Crescimento (PAC)⁴, incluindo mecanismos de inovação em instrumentos do crédito para projetos estruturantes – como o Novo Fundo Clima e a abertura da linha de crédito Finem/Fundo Clima –, de aperfeiçoamento da legislação e regulação sobre debêntures incentivadas – a partir da adição de novos setores e modalidades de incentivo a emissões, ampliação das fontes de recursos e facilitação do processo de emissão das debentures–, o novo modelo de financiamento de recuperação de áreas degradadas – com a estruturação de um fundo a ser gerido pelo BNDES e criação de mecanismos de garantias para tomadores do fundo –, e o aprimoramento dos regimes especiais de incentivo da infraestrutura e da indústria química – com incentivos voltados a produção e armazenamento de novos combustíveis renováveis.

Mais especificamente no âmbito das Novas Concessões, o Novo Modelo de Concessão prevê a destinação de 1% da receita obtida pela concessionária para projetos de mitigação ou adaptação climática⁵. A medida deve movimentar cerca de R\$ 300 milhões por ano, sendo um importante mecanismo para o financiamento de investimentos sustentáveis nas Novas Concessões Rodoviárias Federais.

Nesse contexto, dada a urgência da necessidade de avaliação dos custos socioambientais dos investimentos das Novas Concessões e de proposição de mecanismos para o promoção de investimentos voltados para a sustentabilidade ambiental no setor, o presente trabalho busca contribuir para essa discussão em duas vertentes. Primeiro, estima-se os impactos socioambientais dos investimentos das Novas Concessões. O objetivo é fornecer parâmetros que representem os benefícios (prejuízos evitados) esperados com investimentos sustentáveis nos novos projetos. Segundo, projeta-se as porcentagens das receitas das concessionárias necessárias para compensar os potenciais impactos socioambientais dos investimentos nas rodovias. O objetivo dessa contribuição é fornecer uma medida prática – e que pode ser implementada ou aperfeiçoada de forma inteligível, no âmbito das Novas Concessões, uma vez que já está na pauta de discussão dos principais agentes

³ <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/concessoes/rodovias>.

⁴ <https://www.gov.br/casacivil/pt-br/novopac/medidas-institucionais>.

⁵ <https://epbr.com.br/papel-do-governo-e-induzir-agenda-de-descarbonizacao-diz-secretario-dos-transportes/>.

do setor – para mensurar os recursos necessários para a promoção da sustentabilidade ambiental das Novas Concessões. Além disso, discute-se potenciais impactos de medidas complementares de meio ambiente, como a redução do desmatamento, e as diferenças regionais em termos de impactos socioambientais dos investimentos rodoviários.

3. Métodos

3.1. Estimação dos impactos ambientais dos investimentos em infraestrutura rodoviária

Para a aferição dos custos ambientais dos investimentos em rodovias das Novas Concessões, utilizamos o estudo de Medeiros *et al.* (2024). O artigo⁶ estima os impactos ambientais dos investimentos em infraestrutura rodoviária, em termos de custos sociais do carbono (CSC), para municípios do Brasil. Tais impactos, por sua vez, são utilizados para gerar “taxas de desconto ambiental” regionalizadas, fornecendo um insumo para a inclusão dos custos ambientais na discussão sobre a rentabilidade e a sustentabilidade dos investimentos em rodovias no país.

Medeiros *et al.* (2024) conduzem o estudo em algumas etapas. Primeiro, os autores estimam o impacto dos investimentos em infraestrutura sobre as emissões de GEE ao nível dos municípios brasileiros entre 2007 e 2018. Para isso, os autores utilizaram dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) e dados georreferenciados de investimentos em rodovias federais no país⁷, além de diversas outras bases de dados⁸ capturando indicadores socioeconômicos.

Para o cálculo dos impactos ambientais dos investimentos em infraestrutura rodoviária, Medeiros *et al.* (2024) utilizam modelos econométricos⁹ para estimar a seguinte equação:

$$\Delta \text{EmissõesGEE}_{is} = \beta_0 + \alpha * \text{InvestimentosRodoviários}_{is} + \beta' X_{is} + \theta_s + u_{is} \quad (1)$$

Em que EmissõesGEE_{is} é medida como as emissões de CO₂ equivalente (ton), i representa os municípios brasileiros, s indica os estados, X_{is} é um vetor de variáveis de controle, θ_s é um vetor de efeitos fixos estaduais, u_{is} são os erros aleatórios e Δ representa a variação entre 2007 e 2018. O interesse está no parâmetro α , que mede o impacto dos investimentos em rodovias ($\text{InvestimentosRodoviários}_{is}$), também entre 2007 e 2018, sobre as emissões de GEE. As variáveis

⁶ Para maiores detalhes sobre a metodologia e base de dados utilizadas pelo estudo, recomenda-se a leitura dos Capítulo 2 e 4 de Medeiros (2024).

⁷ Detalhes sobre os procedimentos realizados para a medição dos investimentos em rodovias federais, por município, entre 2007 e 2024, podem ser obtidos no Capítulo 2 e nos Apêndices da Tese (Medeiros, 2024).

⁸ Como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), MAPBIOMAS, Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), entre outras.

⁹ Os autores utilizam estimadores de variáveis instrumentais (IV) para a estimação do modelo da Equação 1, os quais corrigem vieses advindos de erros de medida das variáveis e de variáveis omitidas no modelo. Para isso, são propostos diversos instrumentos considerando a natureza não aleatório dos investimentos em rodovias, e os principais custos geográficos, ambientais e físico-humanos de projetos de infraestrutura.

são medidas em termos logarítmicos, de forma que α representa a elasticidade das emissões de CO₂ equivalente com relação aos investimentos rodoviários.

Os resultados de Medeiros *et al.* (2024) apontam que um aumento de 1% nos investimentos em rodovias gera, em média¹⁰, um incremento de 0.025% nas emissões de GEE. Os resultados incidem sobre diversos setores de emissão, como energia, mudança no uso do solo, resíduos, processos industriais e agricultura, indicando a existência de amplos impactos (*wider impacts*) (Rosik e Wójcik, 2022) dos investimentos em rodovias sobre a economia e o meio ambiente, os quais vão além do aumento esperado nas emissões de GEE promovido pela expansão da demanda por transportes. Em geral, esses efeitos mais amplos não são incluídos em Análises de Custo-Benefício (ACB) de projetos de infraestrutura, e sua mensuração constitui uma importante contribuição para a literatura especializada. A partir da elasticidade estimada, os autores calculam métricas para identificar o quanto esses danos ambientais podem prejudicar a rentabilidade dos investimentos rodoviários no país.

3.2. Cálculo da taxa de desconto ambiental dos investimentos em rodovias

A segunda etapa do estudo de Medeiros *et al.* (2024) consiste no cálculo de taxas de desconto ambientais para as Regiões Geográficas Imediatas (RGI)¹¹ do país. A taxa de desconto ambiental (ERR), é calculada conforme a equação abaixo:

$$ERR_r = \alpha * \frac{EmissõesCO2_r^{CSC}}{EstoqueInfraestrutura_r} \quad (2)$$

Em que α é a elasticidade estimada pela Equação 1, $EmissõesCO2_r^{CSC}$ são as emissões de CO₂ equivalente, em termos monetários, e $EstoqueInfraestrutura_r$, mede o estoque de infraestrutura, em termos monetários, para cada RGI (r).

Os níveis de emissões de GEE são obtidos do banco de dados do SEEG, medidos em toneladas. Para a monetização da medida, Medeiros *et al.* (2024) utilizam o parâmetro de Custo Social do Carbono (CSC), o qual é uma estimativa do custo, em dólares, dos danos causados por cada tonelada adicional de emissão de carbono. As estimativas de CSC avaliam os impactos das emissões de carbono sobre os resultados de saúde, a produção agrícola e os valores das propriedades, por exemplo. Para maior robustez, os autores consideraram diferentes valores para o CSC, os quais foram mensurados por estudos considerando distintos países (Ministério da Economia, 2022; Rennert *et al.*,

¹⁰ Os autores ainda encontram uma série de heterogeneidades nos impactos ambientais dos investimentos em rodovias. Por exemplo, os impactos são maiores em regiões menos desenvolvidas, com menor densidade populacional, intensidade tecnológica e estoque de infraestrutura. Por outro lado, os impactos são maiores para regiões com maior potencial de desmatamento. Esses resultados indicam que a construção de rodovias em regiões menos desmatadas como, por exemplo, a Amazônia Legal, tendem a gerar um incremento maior nas emissões e GEE, em comparação com regiões mais degradadas ambientalmente como o Sul e Sudeste.

¹¹ A agregação busca fornecer uma medida mais adequado para a formulação de políticas públicas rodoviárias com enfoque regional, além de corrigir problemas de *outliers* ao nível de municípios.

2022; Ricke *et al.*, 2018; UNEP, 2014). A partir da média desses estudos, e a conversão de dólares americanos para reais brasileiros¹², os autores chegam a um valor de R\$ 283,3 por tonelada de CO₂ emitido. Esse valor, por fim, é multiplicado pelos níveis de emissões de CO₂ equivalente (ton), resultando em um valor monetário para os níveis de emissões de GEE.

O estoque de infraestrutura, por sua vez, é medido em três etapas, seguindo Medeiros *et al.* (2021b). Primeiro, utiliza-se dados de extensão (km) das rodovias do país, consolidados por estado, do Sistema Nacional de Viação (SNV), disponibilizado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Segundo, a extensão das rodovias é ponderada por um índice de qualidade¹³, calculado a partir da Pesquisa CNT de Rodovias da Confederação Nacional do Transporte (CNT). Por fim, o estoque de rodovias é monetizado utilizando as estimativas setoriais de Frischtak e Mourão (2017). Em valores de 2024, esse estoque se aproxima de R\$ 453 bilhões. Esse valor é, por fim, alocado para cada RGI considerando a extensão e o índice de qualidade das vias. Com os valores de α , de emissões e do estoque de infraestrutura monetizados, Medeiros *et al.* (2024) calculam a ERR para cada RGI do país.

No presente estudo, mensura-se a taxa de desconto ambiental ao nível dos estados brasileiros. Escolheu-se esse procedimento para fornecer uma medida coerente com as Novas Concessões Rodoviárias Federais, muitas das quais apresentam seus segmentos dentro de um mesmo estado. Além disso, a agregação por Unidade da Federação é parcimoniosa e fornece uma medida coesa para avaliações futuras, incluindo concessões estaduais.

As taxas de desconto ambiental para os estados analisados são exibidas na Figura 1. Como se observa, há heterogeneidades regionais relevantes nos custos ambientais dos investimentos em rodovias no país. Por exemplo, estados mais urbanizados, como o Paraná, apresentam taxa de desconto ambiental abaixo de 2%, enquanto no Mato Grosso e Rondônia, esse valor ultrapassa 5%. Isso acontece porque as emissões de CO₂, relativamente ao estoque e a qualidade da infraestrutura, são superiores nesses estados. Em outros termos, dada a extensão e a qualidade das rodovias, esses estados emitem mais CO₂, em comparação com os demais estados avaliados. Isso ocorre, em partes, devido ao alto nível de emissões no setor de mudança de uso do solo (MUS) nessas localidades. Na Figura A2 do Apêndice são exibidos os níveis de emissão de GEE por estado e setor de emissão, indicando o Mato Grosso e Rondônia na primeira e quarta colocação em termos dos estados que mais emitem GEE no país, respectivamente. Portanto, os efeitos mais amplos dos investimentos em

¹² Utilizou-se uma taxa de câmbio de R\$/US\$ de 5,17.

¹³ O índice é mensurado da seguinte forma:

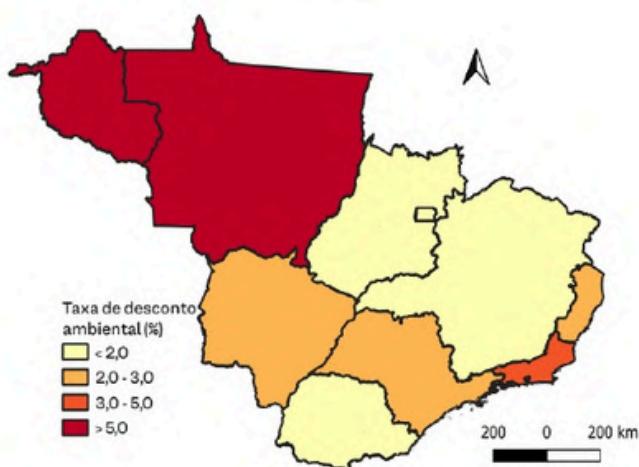
Índice de Qualidade Geral =
$$\frac{(1 \cdot \text{Péssimokm} + 2 \cdot \text{Ruimkm} + 3 \cdot \text{Regularkm} + 4 \cdot \text{Bomkm} + 5 \cdot \text{Ótimokm})}{\text{Totalkm}}$$

Devido a limitação de dados, especialmente para as rodovias estaduais, os autores utilizaram dados de 2021.

rodovias sobre variáveis como o desmatamento são críticos para mensurar os custos sociais do desenvolvimento da infraestrutura.

Como testes de robustez, recalcula-se a taxa de desconto ambiental considerando diferentes níveis de emissões de GEE. Nesse caso, atenta-se, principalmente, para o setor de MUS, o qual é o principal contribuinte para as emissões de GEE do país¹⁴. Assume-se reduções de 25%, 50%, 75% e 100% nas emissões do setor de MUS. Além disso, supõe-se um cenário alternativo em que se considera apenas o nível de emissões do setor de energia, o qual é em grande parte explicado pela queima de combustíveis fósseis no setor de transportes, e desconsidera as emissões em todos os demais setores. Esse nível de emissões representaria, portanto, apenas os impactos dos investimentos das novas concessões sobre o aumento de demanda por transportes, negligenciado qualquer efeito mais amplo do desenvolvimento das rodovias¹⁵. O Quadro A1 no Apêndice sintetiza os diferentes cenários assumidos.

Figura 1. Taxa de Desconto Ambiental (%) nos estados das Novas Concessões Rodoviárias avaliadas



Fonte: Elaboração própria a partir de Medeiros *et al.* (2024).

Essas variações são importantes pois fornecem uma representação de quais seriam os custos socioambientais dos investimentos rodoviários em cenários onde o desmatamento, por exemplo, é mais (menos) controlado. Logo, produz-se *insights* sobre a importância da articulação entre autoridades do setor de transportes e organismos responsáveis pelas políticas públicas de meio ambiente e mudança do clima.

¹⁴ Cabe ressaltar que, mesmo excluindo as emissões do setor de mudança no uso do solo, Mato Grosso e Rondônia seguem apresentando as maiores taxas de desconto ambiental (Figura A3 no Apêndice).

¹⁵ A Tabela A1 no Apêndice exibe a média da razão entre as emissões de GEE e o estoque de infraestrutura, considerando os estados avaliados, sob os diferentes níveis de emissões de GEE.

3.3. Projeção dos custos socioambientais das Novas Concessões Rodoviárias

O exercício proposto no presente trabalho consiste na projeção dos custos socioambientais das Novas Concessões Rodoviárias Federais, utilizando as taxas de desconto ambiental calculadas por Medeiros *et al.* (2024) agregadas ao nível estadual conforme exibido na Figura 1. A base de dados sobre as Novas Concessões foi criada a partir de documentos do Ministério dos Transportes (MT)¹⁶. Os documentos incluem os valores de investimentos (CAPEX), despesas operacionais (OPEX) e receitas, além da extensão (km) das vias, entre outras informações relevantes. Optou-se por avaliar as concessões incluídas no Cronograma 2023/2024 do MT com o intuito de fornecer contribuições empíricas para a melhoria dos mecanismos ambientais que podem estar presentes nos contratos das Novas Concessões, uma vez que existem medidas atualmente em discussão. Além disso, acredita-se que parte relevante dos investimentos dessas concessionárias deve ser feito nos próximos anos, o que torna a projeção dos impactos socioambientais mais assertiva e menos sujeita a vieses temporais. Cabe ressaltar que os projetos avaliados contêm informações ainda sob revisão, as quais devem ser estudadas e potencialmente modificadas. Nesse sentido, as projeções propostas adiante devem ser tomadas com cautela.

A Figura 2 exibe informações econômico-financeiras das concessões analisadas¹⁷. Os investimentos somam cerca de R\$ 40,1 bilhões em valor presente líquido (VPL), representando, em média, aproximadamente 50,8% das receitas projetadas das concessionárias. As receitas, por sua vez, totalizam R\$ 78,1 bilhões em VPL.

Os recursos das Novas Concessões representam um acréscimo relevante no setor de transportes, o qual recebeu cerca de R\$ 41,4 bilhões em investimentos em 2023 e apresenta uma carência anual de investimentos de R\$ 201 bilhões (ABDIB, 2023). Por um lado, esses investimentos geram renda, empregos e arrecadação, aumentam a produtividade e a competitividade, resultados fundamentais para o desenvolvimento econômico do país. Por outro lado, o desenvolvimento da infraestrutura contribui para a expansão das emissões de GEE e, consequentemente, dos custos sociais do carbono.

Para calcular os custos socioambientais dos investimentos previstos pelas Novas Concessões avaliadas, utiliza-se os valores de CAPEX (em VPL) dos projetos. Em seguida, tais valores são multiplicados pelas taxas de desconto ambiental (ERR) calculadas por Medeiros *et al.* (2024), e agregadas ao nível estadual. Portanto, as concessões possuem custos ambientais referentes ao(s) estado(s) que percorrem. Para aquelas concessões que possuem rodovias cruzando mais de um estado¹⁸, calculou-se a extensão de rodovias em cada UF. As proporções foram, então, multiplicadas

¹⁶ Maiores detalhes em <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/concessoes/rodovias>.

¹⁷ O projeto de concessão da BR-070/174/364/MT/RO foi excluído devido a indisponibilidade de informações críticas para o exercício empírico.

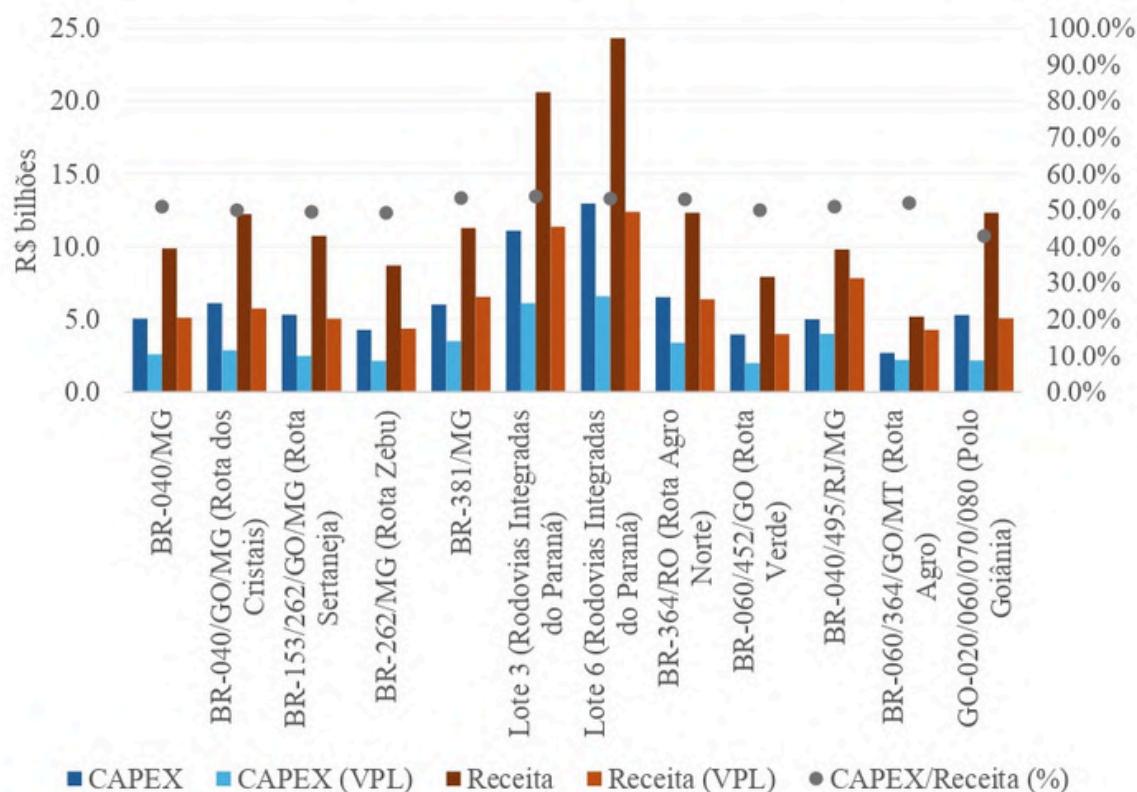
¹⁸ São os casos das rodovias BR-040/GO/MG, BR-153/262/GO/MG, BR-040/495/RJ/MG e BR-060/364/GO/MT.

pela taxa de desconto ambiental de cada estado¹⁹, fornecendo uma medida de taxa de desconto ambiental por concessão. Por fim, para o cálculo dos impactos socioambientais, multiplica-se o valor de investimento (CAPEX) pela taxa de desconto ambiental das concessionárias, conforme equação abaixo:

$$Impacto\ Socioambiental_c = ERR_c * CAPEX_c^{VPL} \quad (3)$$

Em que a ERR é calculada pela Equação 2, CAPEX é o valor dos investimentos, *VPL* indica que o CAPEX é medido em VPL, e *c* representa cada concessão avaliada. A próxima seção exibe os resultados das projeções dos custos socioambientais dos investimentos das Novas Concessões Rodoviárias Federais.

Figura 2. Novas Concessões Rodoviárias Federais: CAPEX e Receitas estimadas



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Ministério dos Transportes (MT).

4. Desenvolvimento e Resultados

4.1. Projeção dos custos ambientais dos investimentos das Novas Concessões Rodoviárias

A Figura 3 exibe os impactos socioambientais projetados a partir dos investimentos das Novas Concessões Rodoviárias, por concessão e sob diferentes níveis de emissões de GEE. Considerando o

¹⁹ A taxa de desconto, nesses casos, é dada pela fórmula $ERR_c = \partial_{\text{estado}_1} * ERR_{\text{estado}_1} + \partial_{\text{estado}_2} * ERR_{\text{estado}_2}$, em que ∂ representa a proporção da extensão das rodovias da concessão em cada estado, e ERR representa a taxa de desconto ambiental de cada estado.

nível total de emissões de GEE (Base), os custos socioambientais dos investimentos das Novas Concessões são estimados em R\$ 1,17 bilhões. Os prejuízos socioambientais caem para R\$ 1,06 bilhões, R\$ 940 milhões, R\$ 830 milhões e R\$ 710 milhões considerando reduções de 25%, 50%, 75% e 100% nas emissões de MUS, respectivamente. No cenário Energia, os custos socioambientais são estimados em R\$ 210 milhões.

Figura 3. Impactos Socioambientais dos Investimentos das Novas Concessões Rodoviárias (VPL, R\$ milhões) em Diferentes Níveis de Emissões de GEE

Concessão/Nível de Emissões de GEE	Base	Redução 25% MUS	Redução 50% MUS	Redução 75% MUS	Redução 100% MUS	Energia
BR-040/MG	51.91	49.12	46.33	43.54	40.75	11.63
BR-040/GO/MG (Rota dos Cristais)	57.30	54.26	51.22	48.18	45.14	12.30
BR-153/262/GO/MG (Rota Sertaneja)	49.79	47.22	44.66	42.09	39.53	9.67
BR-262/MG (Rota Zebu)	42.96	40.65	38.34	36.03	33.72	9.62
BR-381/MG	69.61	65.87	62.13	58.38	54.64	15.59
Lote 3 (Rodovias Integradas do Paraná)	95.51	91.38	87.25	83.12	78.99	29.50
Lote 6 (Rodovias Integradas do Paraná)	102.84	98.40	93.95	89.51	85.06	31.76
BR-364/RO (Rota Agro Norte)	393.55	321.26	248.96	176.67	104.37	9.42
BR-060/452/GO (Rota Verde)	39.73	37.86	36.00	34.14	32.27	5.34
BR-040/495/RJ/MG	118.43	116.73	115.03	113.33	111.63	66.69
BR-060/364/GO/MT (Rota Agro)	106.72	92.63	78.55	64.46	50.37	7.03
GO-020/060/070/080 (Polo Goiânia)	43.52	41.48	39.44	37.40	35.36	5.85
Total	1,171.87	1,056.86	941.86	826.85	711.84	214.40

Fonte: Elaboração própria a partir de Medeiros *et al.* (2024).

Cabe ressaltar as diferenças de custos socioambientais entre as distintas concessões. Destaca-se o alto impacto socioambiental potencial dos investimentos da concessão da BR-364/RO, especialmente como consequência do massivo desmatamento na região. Ao passo que se supõe reduções nas emissões de MUS, a importância dessa concessão para o total dos custos socioambientais se reduz. Por outro lado, as novas concessões no Paraná, apesar do seu alto nível de investimentos, produzem um impacto socioambiental relativamente menor, uma vez que o estado apresenta menores níveis de emissões de GEE. Esses resultados afirmam a importância de se planejar mecanismos de proteção e mitigação do meio ambiente em regiões com maior potencial de degradação ambiental.

4.2. Implicações para políticas rodoviárias

Para uma discussão mais prática sobre os resultados encontrados em termos de impactos socioambientais, elucida-se um importante mecanismo proposto pelo MT na agenda de descarbonização. O Novo Modelo de Concessões de Rodovias prevê a destinação de 1% da receita

obtida pela concessionária para projetos de mitigação ou adaptação climática²⁰. A medida deve movimentar cerca de R\$ 300 milhões por ano, sendo um importante mecanismo para o financiamento de investimentos sustentáveis nas Novas Concessões Rodoviárias Federais. Uma portaria regulamentará os procedimentos para o uso desse recurso²¹.

De acordo com autoridades do MT, as concessionárias teriam liberdade para escolher a solução mais efetiva para seus negócios – podendo ir desde proteção de florestas até investimentos em redes de carregamento elétrico ou infraestrutura para corredores de caminhões a gás. Os recursos também devem ser destinados para a recuperação e adaptação de rodovias a eventos climáticos extremos, como chuvas, alagamentos e deslizamentos de terra. Nesse sentido, a medida pode incentivar investimentos sustentáveis e resilientes baseados nas especificidades regionais e ambientais das regiões transpassadas pelas rodovias.

Enquanto o mecanismo é inovador e pode representar uma forma transparente e de razoável aplicação prática para a promoção de investimentos ambientalmente corretos, não se sabe se os recursos obtidos serão suficientes para cobrir os impactos socioambientais dos investimentos rodoviários. Nesse contexto, o presente estudo fornece estimativas dos custos socioambientais dos investimentos das Novas Concessões e, a partir disso, dialoga com a medida de 1% das receitas da concessionária para a formulação de mecanismos efetivos de sustentabilidade.

A Figura 4 exibe a diferença entre o valor referente a 1% das receitas estimadas das concessionárias e os custos socioambientais dos investimentos das Novas Concessões, considerando diferentes níveis de emissões de GEE. No cenário atual (Base), haveria um déficit de R\$ 390 milhões, indicando que a medida seria insuficiente para cobrir os custos socioambientais dos investimentos rodoviários. O déficit seria reduzido para R\$ 275 milhões, R\$ 160 milhões e R\$ 45 milhões nos cenários de redução de 25%, 50% e 75% nas emissões de MUS, respectivamente. Nos cenários de redução de 100% nas emissões de MUS e considerando apenas o setor de energia, haveria superávits de R\$ 69 e R\$ 567 milhões, respectivamente.

Os resultados apontam para a importância da proposição de medidas complementares, articuladas com instituições e autoridades do meio ambiente, que incentivem a redução do desmatamento no país. Caso contrário, a medida de 1% das receitas da concessionária não seria suficiente sequer para cobrir os custos socioambientais dos investimentos a partir da expansão das emissões de GEE.

Ademais, é importante ressaltar os dispareus níveis de impactos socioambientais projetados para as diferentes concessões. Considerando a medida de 1% das receitas da concessionária, nota-se

²⁰ <https://epbr.com.br/papel-do-governo-e-induzir-agenda-de-descarbonizacao-diz-secretario-dos-transportes/>.

²¹ <https://agenciainfra.com/blog/concessionarias-de-rodovias-contratam-estudo-para-mapear-maiores-riscos-por-eventos-climaticos/>.

que as concessões da BR-060/364/GO/MT, BR-040/495/RJ/MG e BR-364/RO serão socioambientalmente deficitárias mesmo em cenários com menores níveis de emissões de GEE. O único cenário em que há superávit socioambiental para essas concessões é no cenário “Energia”, o qual é otimista e, potencialmente irrealista, para representar os impactos socioambientais dos investimentos em rodovias no país. Por outro lado, existem concessões superavitárias, ainda que marginalmente, como os Lotes Paranaenses e a Polo Goiânia. Esse resultado aponta que, caso os recursos advindos do mecanismo de sustentabilidade baseado nas receitas, proposto pelo Novo Modelo de concessões, sejam aplicados por cada concessionária de forma isolada, é possível que regiões sofram impactos socioambientais negativos dos investimentos nas rodovias.

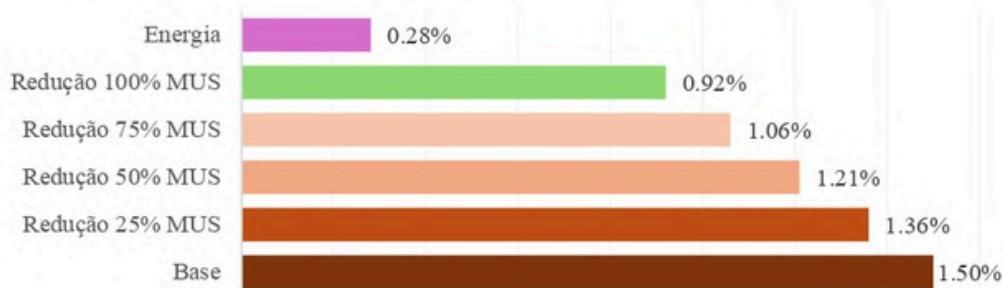
Figura 4. Diferença entre o valor referente a 1% das Receitas Estimadas e os Custos Socioambientais dos investimentos das Novas Concessões Rodoviárias em diferentes níveis de Emissões de GEE (VPL, R\$ milhões)

Concessão/ Nível de Emissões de GEE	Base	Redução 25% MUS	Redução 50% MUS	Redução 75% MUS	Redução 100% MUS	Energia
BR-040/MG	-0.735	2.056	4.848	7.639	10.430	39.550
BR-040/GO/MG (Rota dos Cristais)	0.296	3.337	6.377	9.417	12.458	45.299
BR-153/262/GO/MG (Rota Sertaneja)	0.618	3.182	5.745	8.309	10.873	40.730
BR-262/MG (Rota Zebu)	0.852	3.162	5.472	7.782	10.092	34.191
BR-381/MG	-4.070	-0.327	3.416	7.159	10.902	49.952
Lote 3 (Rodovias Integradas do Paraná)	18.249	22.377	26.504	30.632	34.760	84.259
Lote 6 (Rodovias Integradas do Paraná)	21.032	25.477	29.921	34.366	38.811	92.111
BR-364/RO (Rota Agro Norte)	-329.589	-257.295	-185.000	-112.706	-40.412	54.539
BR-060/452/GO (Rota Verde)	0.072	1.935	3.799	5.662	7.526	34.460
BR-040/495/RJ/MG	-39.997	-38.299	-36.600	-34.901	-33.202	11.743
BR-060/364/GO/MT (Rota Agro)	-64.028	-49.940	-35.853	-21.765	-7.678	35.665
GO-020/060/070/080 (Polo Goiânia)	7.176	9.218	11.259	13.301	15.342	44.847
Total	-390.123	-275.117	-160.110	-45.104	69.902	567.345

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 5 exibe a porcentagem da receita das concessionárias necessária para zerar o déficit socioambiental em diferentes níveis de emissões de GEE. Os recursos advindos de 1% das receitas das concessionárias são inferiores aos custos socioambientais dos investimentos no cenário Base e naqueles considerando reduções de 25%, 50% e 75% nas emissões do setor de MUS, os quais exigiriam percentuais de receita de 1,5%, 1,36%, 1,21% e 1,06%, respectivamente. Apenas ao se considerar uma redução total das emissões do setor de MUS, ou apenas o setor de emissões de Energia, os quais são condições bastante otimistas, se chegaria a porcentagens de receita inferiores a 1%.

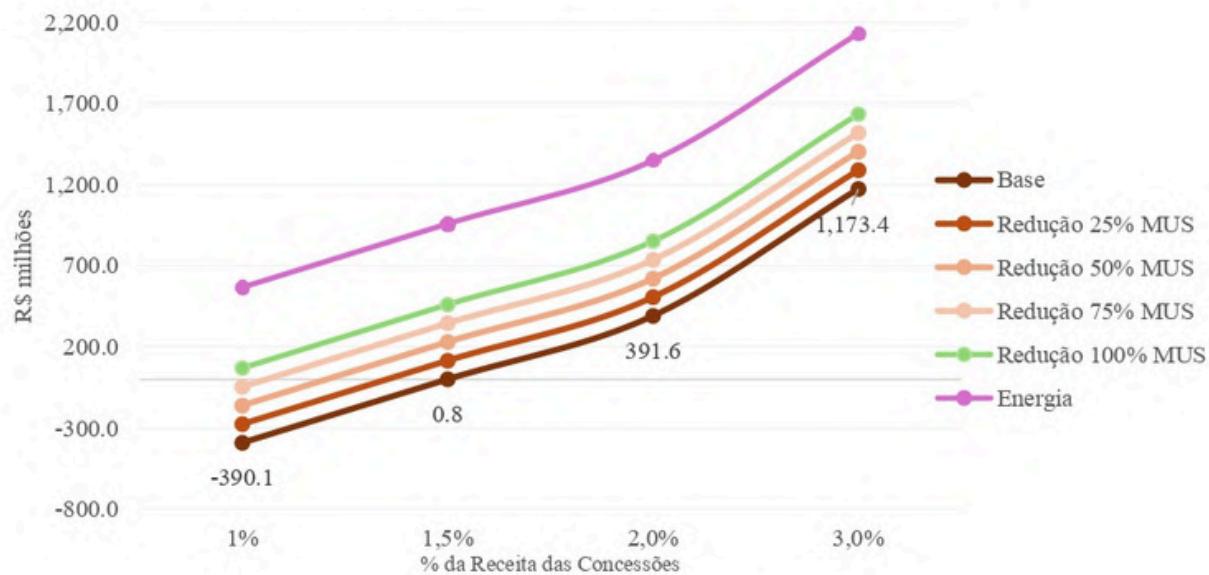
Figura 5. Porcentagem da Receita das Novas Concessões Federais Necessária Para Zerar o Déficit Socioambiental dos Investimentos Rodoviários em Diferentes Níveis de Emissões de GEE



Fonte: Elaboração própria.

Os resultados encontrados indicam que os recursos de 1% das receitas das concessionárias não serão suficientes para cobrir os custos socioambientais. Uma possibilidade de resolver ou aliviar o problema seria expandir o percentual da receita alocado para ações de meio ambiente e resiliência climática. Dessa forma, calcula-se os superávits (déficits) da medida supondo porcentagens de receita de 1,5%, 2,0% e 3,0%. Os resultados são exibidos na Figura 6.

Figura 6. Diferença entre as Receitas das Novas Concessões Federais e os Custos Socioambientais dos Investimentos em Diferentes Níveis de Emissões de GEE



Fonte: Elaboração própria.

Com uma porcentagem de 1,5% das receitas da concessionária, os recursos passam a garantir superávits socioambientais, ainda que em valores moderados (Figura 6). Considerando porcentagens de 2% e 3% da receita da concessionária, os recursos passam a gerar superávits substantivos, alcançando, respectivamente, R\$ 391,6 milhões e R\$ 1.173,4 bilhões considerando o nível atual de emissões de GEE. O superávit é incrementado supondo níveis inferiores de emissões de GEE,

podendo alcançar entre R\$ 506,6 milhões e R\$ 851,7 milhões no caso da porcentagem de 2% das receitas, e entre R\$ 1.288,4 bilhões e R\$ 1.633,4 bilhões no caso da porcentagem de 3% das receitas das concessões. O superávit socioambiental seria ainda superior considerando apenas o setor de emissões de Energia.

Os resultados encontrados apontam para algumas conclusões relevantes para a formulação de políticas rodoviárias no país, especialmente aquelas voltadas às Novas Concessões. Primeiro, a presente medida, que deve destinar 1% das receitas das concessionárias para ações de sustentabilidade, não fornecerá recursos suficientes para cobrir os custos socioambientais do desenvolvimento das rodovias. É importante mencionar que os custos socioambientais projetados não incluem, por exemplo, questões relacionadas à resiliência climática das rodovias²², poluição de rios, destruição da fauna, entre outras variáveis ambientais relevantes. Nesse sentido, será necessário expandir os recursos para prevenção, mitigação e recuperação ambiental, além da adaptação das vias a eventos climáticos extremos. Uma forma prática de destinar um nível mais alto de recursos ao meio ambiente seria aumentar os percentuais das receitas das concessões e, correlativamente, garantir a remuneração às concessionárias por esse tipo de investimento. Os resultados apresentados dimensionam os recursos gerados para porcentagens entre 1% e 3%, fornecendo insumos para essa potencial expansão.

Segundo, a articulação com organismos responsáveis pelas políticas públicas de meio ambiente é crítica para minimizar os impactos socioambientais dos investimentos rodoviários. Em cenários de controle intenso do desmatamento no país, porcentagens de 1% ou 1,5% das receitas das concessionárias forneceriam superávits socioambientais não desprezíveis, podendo alcançar mais de R\$ 1,5 bilhão. Para ilustrar o potencial da medida para a mitigação de danos ambientais, pode-se comparar o valor de superávits potenciais com o orçamento anual autorizado do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA) que, entre 2020 e 2023, esteve entre R\$ 3,28 e R\$ 4,25 bilhões. Em outros termos, os benefícios da medida podem representar 35% do orçamento anual do MMA, órgão que tem competências muito mais amplas do que as questões relacionadas aos custos ambientais das emissões de GEE das concessões rodoviárias, tais como, entre outras, as políticas nacionais do meio ambiente, dos recursos hídricos e da segurança hídrica, da mudança do clima, e da preservação, conservação e utilização sustentável de ecossistemas, biodiversidade e florestas.

Terceiro, considerando os custos socioambientais de todo o sistema de transporte rodoviário, mecanismos de “subsídio-cruzado ambiental” podem ser pensados e desenvolvidos para garantir que não haja déficits. Superávits de concessões com receita relativamente alta e custos socioambientais comparativamente baixos podem financiar localidades com alto potencial de degradação ambiental e

²² Para uma visualização da problemática da resiliência climática nas rodovias federais, recomenda-se o estudo de Medeiros e Ribeiro (2024).

vulnerabilidade climática. Nesse caso, seria necessário desenvolver mecanismos específicos que garantam essa transferência de recursos, evitando que os benefícios das ações de sustentabilidade se concentrem apenas nas regiões servidas pelas concessionárias superavitárias socioambientalmente com maior rentabilidade econômica. A estratégia, que é incipiente mesmo no contexto econômico (Sousa e da Silva Filho, 2022), pode constituir uma importante inovação no âmbito da sustentabilidade do setor.

5. Considerações Finais

O presente trabalho estimou os impactos socioambientais dos investimentos das Novas Concessões Rodoviárias Federais (Cronograma 2023/2024) em termos das emissões de GEE. A partir desses impactos, discutiu-se a necessidade de recursos, baseados em porcentagens das receitas das concessionárias, para promover a sustentabilidade ambiental das Novas Concessões.

Os resultados encontrados indicam que os investimentos em rodovias promoveriam impactos socioambientais adversos de até R\$ 1,17 bilhões. A proposta do Novo Modelo de concessões, que direciona 1% das receitas da concessionárias para ações de sustentabilidade, seria insuficiente para cobrir os danos ambientais proporcionados pelo desenvolvimento dessa infraestrutura considerando os atuais níveis de emissões de GEE no país. Para zerar o déficit socioambiental das rodovias, seria necessário porcentagens das receitas das concessionárias superiores a 1,5%. Complementarmente, a articulação com políticas mais estruturais de meio ambiente e mudança do clima, como o controle do desmatamento, é crítica para garantir a sustentabilidade ambiental das Novas Concessões.

Enquanto o artigo contribui com a discussão sobre a sustentabilidade ambiental das concessões rodoviárias, algumas lacunas persistem na literatura. Uma primeira questão para estudos futuros se refere à replicação da metodologia desenvolvida por Medeiros *et al.* (2024), e adaptada no presente estudo, para as concessões já existentes, bem como a proposição de mecanismos para incluir as questões ambientais nesses contratos. Uma segunda questão diz respeito à remuneração de boas práticas ambientais em concessões existentes e nas Novas Concessões. Pode-se combinar os resultados encontrados no presente estudo, em termos de impactos socioambientais e receitas estimadas para a compensação socioambiental, com dados que representem o desempenho ambiental das concessionárias como, por exemplo, o Índice de Desenvolvimento Ambiental (IDA)²³. Com isso, pode-se projetar a eficiência das concessionárias na execução de ações sustentáveis. Por fim, um terceiro ponto de avanço se refere ao cálculo de outros potenciais impactos ambientais das rodovias. Como exemplo mais evidente, cita-se a questão da resiliência climática das rodovias, a qual pode ser incluída a partir de dados do Projeto AdaptaVias²⁴.

²³ <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/rodovias/relatorios/acompanhamento-ambiental-das-concessoes-rodoviarias-1>.

²⁴ <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/sustentabilidade/projeto-adaptavias>.

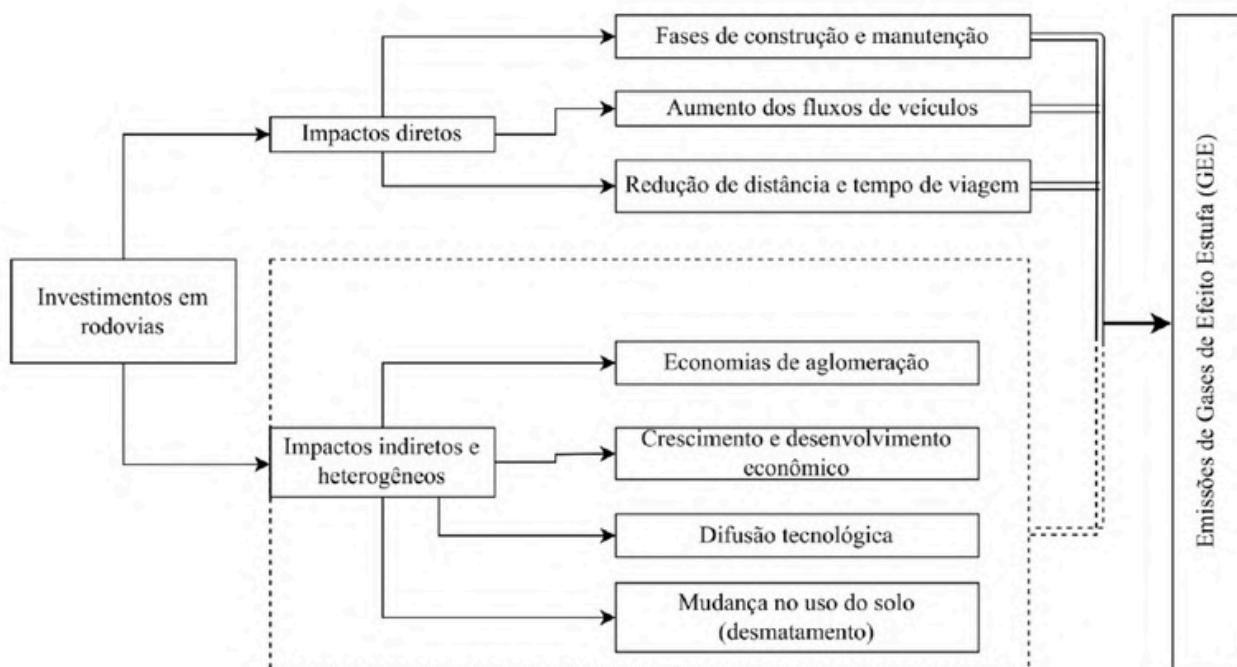
6. Referências

- ABDIB. **Livro Azul da Infraestrutura**. Edição 2023. 2023. Brasília, Brasil.
- ARAÚJO, Suely Mara Vaz Guimarães de. Regulação ambiental e projetos de infraestrutura. 2022. Em SILVA, Mauro Santos Organizador. **Concessões e parcerias público-privadas: políticas públicas para provisão de infraestrutura**. 2022.
- ASHER, Sam; GARG, Teerat; NOVOSAD, Paul. The ecological impact of transportation infrastructure. **The Economic Journal**, v. 130, n. 629, p. 1173-1199, 2020.
- AWAD, Atif et al. Infrastructure Development's role in environmental degradation in sub-Saharan Africa: Impacts and transmission channels. **Journal of Cleaner Production**, v. 414, p. 137622, 2023.
- BAUM-SNOW, Nathaniel et al. Does investment in national highways help or hurt hinterland city growth?. **Journal of Urban Economics**, v. 115, p. 103124, 2020.
- BIRD, Julia; STRAUB, Stéphane. The Brasilia experiment: the heterogeneous impact of road access on spatial development in Brazil. **World Development**, v. 127, p. 104739, 2020.
- CHURCHILL, Sefa Awaworyi et al. Transport infrastructure and CO₂ emissions in the OECD over the long run. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 95, p. 102857, 2021.
- EMODI, Nnaemeka Vincent; INEKWE, John Nkwoma; ZAKARI, Abdulrasheed. Transport infrastructure, CO₂ emissions, mortality, and life expectancy in the Global South. **Transport Policy**, v. 128, p. 243-253, 2022.
- FOSTER, Vivien et al. The Impact of Infrastructure on Development Outcomes. 2023a. A Qualitative Review of Four Decades of Literature.
- FOSTER, Vivien et al. The Impact of Infrastructure on Development Outcomes. 2023b. A Meta-Analysis.
- FRISCHTAK, Cláudio R.; MOURÃO, João. O Estoque de Capital de Infraestrutura no Brasil: uma abordagem setorial. **Desafios da Nação**, v. 133, 2017.
- GEORGATZI, Vasiliki V.; STAMBOULIS, Yeoryios; VETSIKAS, Apostolos. Examining the determinants of CO₂ emissions caused by the transport sector: Empirical evidence from 12 European countries. **Economic Analysis and Policy**, v. 65, p. 11-20, 2020.
- GHANNOUCHI, Imen; OUNI, Fedy; ALOULOU, Foued. Investigating the impact of transportation system and economic growth on carbon emissions: Application of GMM System for 33 european countries. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 39, p. 90656-90674, 2023.
- HAN, Ji et al. The impact of infrastructure stock density on CO₂ emissions: Evidence from China provinces. **Sustainability**, v. 9, n. 12, p. 2312, 2017.
- LI, Huifu; LUO, Nengsheng. Will improvements in transportation infrastructure help reduce urban carbon emissions?—motor vehicles as transmission channels. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 25, p. 38175-38185, 2022.
- LI, Zhigang; WU, Mingqin; CHEN, Bin R. Is road infrastructure investment in China excessive? Evidence from productivity of firms. **Regional Science and Urban Economics**, v. 65, p. 116-126, 2017.
- LIN, Boqiang; CHEN, Yu. Transportation infrastructure and efficient energy services: A perspective of China's manufacturing industry. **Energy Economics**, v. 89, p. 104809, 2020.
- LUO, Zhi et al. Urban pollution and road infrastructure: A case study of China. **China Economic Review**, v. 49, p. 171-183, 2018.
- MEDEIROS, V.; RIBEIRO, R. S. M. Risco climático e a infraestrutura de transportes rodoviários: uma análise para os estados brasileiros. São Paulo: Centro de Pesquisa em Macroeconomia das Desigualdades (Made/USP), 2024. (**Nota de Política Econômica, n. 52**).
- MEDEIROS, V; RIBEIRO, R. S. M.; AMARAL, P. V. M. **Highway Infrastructure and Greenhouse Gas Emissions**: evaluating environmental costs of road investments in Brazil. Working Paper, s. n. Made/USP. 2024, *forthcoming*.

- MEDEIROS, V. **Empirical Essays on Infrastructure and Regional Development**: Bringing highway investments more efficient, inclusive, and sustainable. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais. Orientadores: Rafael S. M. Ribeiro e Pedro V. M. Amaral. 2024, *forthcoming*. Belo Horizonte, Brasil.
- MEDEIROS, Victor; RIBEIRO, Rafael Saulo Marques; DO AMARAL, Pedro Vasconcelos Maia. Infrastructure and household poverty in Brazil: A regional approach using multilevel models. **World Development**, v. 137, p. 105118, 2021a.
- MEDEIROS, Victor; RIBEIRO, Rafael SM; AMARAL, PVM. Productivity of transportation infrastructure in Brazil: a sectoral and regional approach using dynamic panel data models. **Coletânea de Trabalhos–Prêmio ABDE-BID: edição**, 2021b.
- MEDEIROS, Victor; SAULO MARQUES RIBEIRO, Rafael; VASCONCELOS MAIA DO AMARAL, Pedro. Infrastructure and income inequality: An application to the Brazilian case using hierarchical spatial autoregressive models. **Journal of Regional Science**, v. 62, n. 5, p. 1467-1486, 2022.
- MINISTÉRIO DA ECONOMIA. **General guide to socio-economic cost-benefit analysis of infrastructure investment projects**. 2022. Brasília : SDI/ME.
- RENNERT, Kevin et al. Comprehensive evidence implies a higher social cost of CO₂. **Nature**, v. 610, n. 7933, p. 687-692, 2022.
- RICKE, Katharine et al. Country-level social cost of carbon. **Nature Climate Change**, v. 8, n. 10, p. 895-900, 2018.
- ROSIK, Piotr; WÓJCIK, Julia. Transport Infrastructure and Regional Development: A Survey of Literature on Wider Economic and Spatial Impacts. **Sustainability**, v. 15, n. 1, p. 548, 2022.
- SOUSA, Rennaly Patricio; DA SILVA FILHO, Edison Benedito. **Avaliação econômica de experiências nacionais e internacionais de subsídios cruzados no setor de transportes terrestres**. Texto para Discussão, 2022.
- UNEP. **Valuing Plastics**: The Business Case for Measuring, Managing and Disclosing Plastic Use in the Consumer Goods Industry. 2014.
- XIAO, Fanyu et al. How does transportation infrastructure affect urban carbon emissions? An empirical study based on 286 cities in China. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 4, p. 10624-10642, 2023. XIE, Rui; FANG, Jiayu; LIU, Cenjie. The effects of transportation infrastructure on urban carbon emissions. **Applied Energy**, v. 196, p. 199-207, 2017.
- YAO, Shujie; ZHANG, Xiaoqian; ZHENG, Weiwei. On transportation, economic agglomeration, and CO₂ emissions in China, 2003–2017. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 14, p. 40987-41001, 2023.
- ZEGRAS, P. Christopher; GRILLO, Christopher. Private road to sustainable mobility?. **Transportation Research Record**, v. 2450, n. 1, p. 17-25, 2014.

7. APÊNDICE

Figura A1. Investimentos em rodovias e emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE): impactos diretos e indiretos



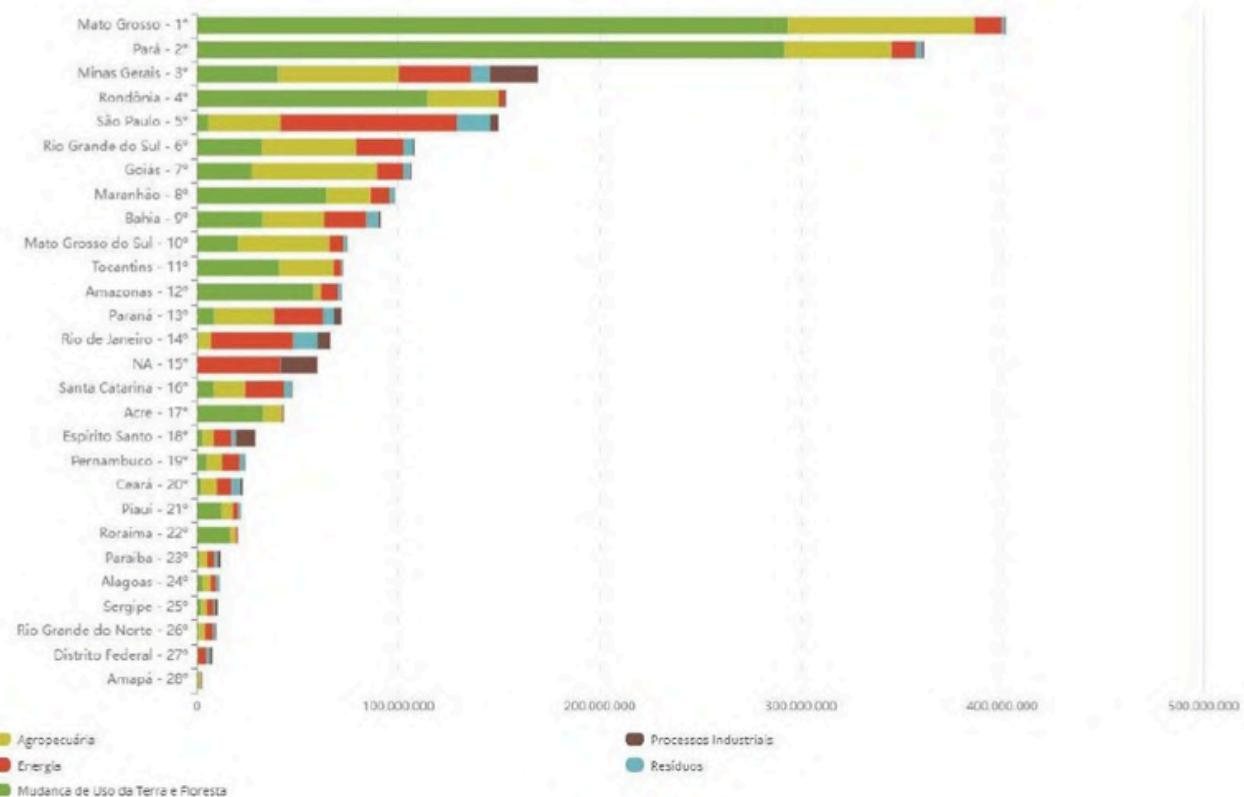
Fonte: Adaptado de Medeiros *et al.* (2024).

Quadro A1. Cenários de emissões de GEE

Nome	Suposição
Base	Nível atual (média 2012-2022) de emissões de GEE
Redução 25% MUS	Redução de 25% das emissões de GEE do setor de Mudança no Uso do Solo (MUS), mantidos os demais setores constantes
Redução 50% MUS	Redução de 50% das emissões do setor de Mudança no Uso do Solo (MUS), mantidos os demais setores constantes
Redução 75% MUS	Redução de 75% das emissões de GEE do setor de Mudança no Uso do Solo (MUS), mantidos os demais setores constantes
Redução 100% MUS	Redução de 100% das emissões de GEE do setor de Mudança no Uso do Solo (MUS), mantidos os demais setores constantes
Energia	Considera apenas as emissões de GEE do setor “Energia”.

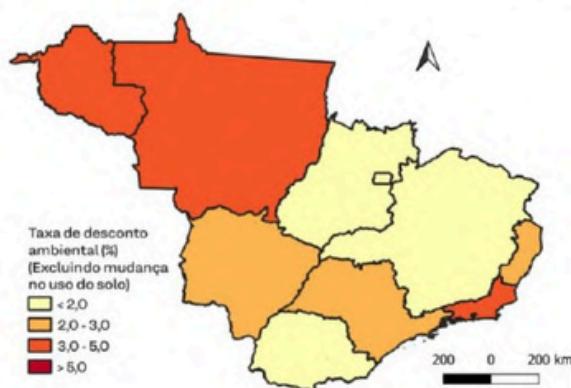
Fonte: elaboração própria.

Figura A2. Emissões de GEE (ton) por estado e setor de emissão, 2022



Fonte: SEEG.

Figura A3. Taxa de Desconto Ambiental (%) nos estados das Novas Concessões Rodoviárias avaliadas: excluindo mudança no uso do solo (direita)



Fonte: Elaboração própria a partir de Medeiros *et al.* (2024).

UTILIZAÇÃO DE RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT E PLÁSTICO RECICLADO EM MISTURAS ASFÁTICAS SUSTENTÁVEIS

RESUMO

A utilização de materiais reciclados nas rodovias brasileiras ainda é escassa. O próprio Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) proveniente da rodovia e que é um material nobre, ainda é pouco explorado. O objetivo deste trabalho é demonstrar o benefício da utilização de materiais reciclados tanto o RAP, como outros materiais reciclados, como é o caso do plástico pós consumo, na elaboração de misturas sustentáveis e resistentes quanto aos dois principais defeitos do pavimento, a deformação permanente e ao dano por fadiga. Para isto foram realizados ensaios laboratoriais em três misturas asfálticas, duas misturas com o cimento asfáltico de petróleo (CAP) 30/45 e outra com CAP modificado pela adição de plástico. A primeira mistura com CAP 30/45 foi utilizada como referência, dosada com agregados virgens (CA 1). A segunda mistura foi dosada com CAP 30/45 e foi adicionado 30% de RAP (CA 2), e a terceira mistura foi dosada com CAP modificado por plástico e foi adicionado 30% de RAP (CA 3). Para análise das misturas foram realizados ensaios de Módulo Dinâmico (MD), Stress Sweep Rutting (SSR), Fadiga Tração Compressão (FTC) e os resultados destes ensaios foram utilizados para alimentar o software FlexPaveTM. A incorporação do RAP nas misturas melhorou o desempenho tanto da mistura com CAP 30/45 quanto da mistura com CAP modificado. No caso da mistura CA 3 foi observado um grande benefício no desempenho a deformação permanente e na análise ao dano por fadiga, provando que misturas sustentáveis podem ser resistentes e eficientes.

AUTORES

Larissa Montagner de Barros, Emerson Rodrigues Maciel

3º LUGAR

Categoria II

**BENEFÍCIOS DAS AÇÕES DE
SUSTENTABILIDADE NAS
CONCESSÕES DE RODOVIAS**

UTILIZAÇÃO DE RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT E PLÁSTICO RECICLADO EM MISTURAS ASFÁLTICAS SUSTENTÁVEIS

RESUMO

A utilização de materiais reciclados nas rodovias brasileiras ainda é escassa. O próprio Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) proveniente da rodovia e que é um material nobre, ainda é pouco explorado. O objetivo deste trabalho é demonstrar o benefício da utilização de materiais reciclados tanto o RAP, como outros materiais reciclados, como é o caso do plástico pós consumo, na elaboração de misturas sustentáveis e resistentes quanto aos dois principais defeitos do pavimento, a deformação permanente e ao dano por fadiga. Para isto foram realizados ensaios laboratoriais em três misturas asfálticas, duas misturas com o cimento asfáltico de petróleo (CAP) 30/45 e outra com CAP modificado pela adição de plástico. A primeira mistura com CAP 30/45 foi utilizada como referência, dosada com agregados virgens (CA 1). A segunda mistura foi dosada com CAP 30/45 e foi adicionado 30% de RAP (CA 2), e a terceira mistura foi dosada com CAP modificado por plástico e foi adicionado 30% de RAP (CA 3). Para análise das misturas foram realizados ensaios de Módulo Dinâmico (MD), Stress Sweep Rutting (SSR), Fadiga Tração Compressão (FTC) e os resultados destes ensaios foram utilizados para alimentar o software FlexPaveTM. A incorporação do RAP nas misturas melhorou o desempenho tanto da mistura com CAP 30/45 quanto da mistura com CAP modificado. No caso da mistura CA 3 foi observado um grande benefício no desempenho a deformação permanente e na análise ao dano por fadiga, provando que misturas sustentáveis podem ser resistentes e eficientes.

PALAVRAS CHAVES: Sustentabilidade; RAP; Plástico reciclado; Misturas asfálticas.

ABSTRACT

The use of recycled materials on Brazilian highways is still scarce. Reclaimed Asphalt Pavement (RAP), which comes from the highway and is a noble material, is still little explored. The objective of this work is to demonstrate the benefit of using recycled materials, both RAP and other recycled materials, such as post-consumer plastic, in the development of sustainable and resistant mixtures in relation to the two main pavement defects, permanent deformation and fatigue damage. For this, laboratory tests were carried out on three asphalt mixtures, two mixtures with petroleum asphalt cement (CAP) 30/45 and another with CAP modified by the addition of plastic. The first mixture with CAP 30/45 was used as a reference, dosed with virgin aggregates (CA 1). The second mixture was dosed with CAP 30/45 and 30% RAP (CA 2) was added, and the third mixture was dosed with plastic-modified CAP and 30% RAP (CA 3). To analyze the mixtures, Dynamic Modulus (MD), Stress Sweep Rutting (SSR), Tension-Compression Fatigue (FTC) tests were carried out and the results of these tests were used to feed the FlexPaveTM software. The incorporation of RAP into the mixtures improved the performance of both the mixture with CAP 30/45 and the mixture with modified CAP. In the case of the CA 3 mixture, a great benefit was observed in permanent deformation performance and in the analysis of fatigue damage, proving that sustainable mixtures can be resistant and efficient.

1. INTRODUÇÃO

Todos os anos a Confederação Nacional do Transporte (CNT) (1), divulga um relatório sobre as condições da malha rodoviária do pavimento nacional. A cada novo relatório são observadas

mais rodovias com problemas e defeitos que prejudicam a todos, desde os usuários até os administradores destas que precisam investir mais para manter as condições mínimas de trafegabilidade. Técnicas mais sustentáveis e que permitam que os pavimentos tenham uma vida útil maior é de grande necessidade nesse contexto atual.

O Brasil ainda carece de normativas e guias que exemplifiquem e contribuam para a execução de pavimentos mais sustentáveis. Em muitos casos ainda há dúvidas do que seria um pavimento sustentável. Segundo o Departamento de Transportes dos Estados Unidos (2), um pavimento é sustentável quando em uma escala ampla atende às necessidades básicas a que foi proposto, utiliza recursos de forma eficaz e preserva ou restaura os ecossistemas circundantes.

Em 2019, Muench and Adam (3) publicaram um guia prático com algumas medidas que podem ser adotadas para a construção de pavimentos mais sustentáveis. Neste guia há medidas simples desde a utilização de agregados que estejam mais próximos da obra, evitando longos transportes até a utilização de grandes porcentagens de RAP que requer toda uma preparação da usina e um custo mais elevado de adequação.

O grande desafio em construir pavimentos asfálticos sustentáveis é que a produção de asfalto consome muita energia e emite gases do efeito estufa, o que impacta negativamente no potencial de aquecimento global e no meio ambiente. Sendo essencial para melhorar a sustentabilidade dos pavimentos asfálticos, a redução dos níveis de energia e de emissões, reduzindo a utilização de materiais virgens e prolongando a vida útil das misturas asfálticas.

Uma das estratégicas mais populares para diminuição do impacto ambiental é a utilização do RAP. Este material pode substituir tanto o agregado virgem quanto uma parcela do ligante asfáltico, que sabemos serem materiais não renováveis e finitos. Contudo, sempre tem que se ter em mente que qualquer proposta que for utilizada precisa ser bem estudada para que no final não acabe prejudicando o processo ou a qualidade do pavimento final.

Além do fresado que é proveniente das próprias rodovias, outros resíduos também podem ser utilizados, como da construção civil ou de outras indústrias como é o caso do plástico. Uma enorme quantidade de plástico é produzida no mundo (milhões de toneladas) todos os anos e recentemente a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) publicou um relatório sobre a produção, utilização e eliminação de plásticos (4), destacando que menos de 10 % dos plásticos produzidos em todo o mundo são reciclados. Em 2019, o nível de resíduos gerados pelas 460 milhões de toneladas de plásticos produzidos em todo o mundo

foi de 353 milhões de toneladas (4), e muita parte deste resíduo acaba parando em locais inapropriados de descarte. Assim, soluções eficientes e ecológicas para o aproveitamento desses resíduos são essenciais.

A relação entre sustentabilidade e reciclagem traz benefícios não só para a sustentabilidade ambiental, mas também para o bem-estar social e o desenvolvimento. A reciclagem possibilita a destinação adequada dos resíduos, além de reduzir gastos com limpeza pública e urbana. Incentivar a coleta seletiva gera renda através da venda de materiais recicláveis, consequentemente gerando trabalho e renda através da logística reversa. O reaproveitamento de materiais pode ser uma ótima oportunidade para criar pavimentos sustentáveis e mais econômicos.

Vale lembrar que os pavimentos asfálticos são projetados para ter capacidade estrutural para suportar os esforços repetitivos do tráfego de veículos ao longo da vida útil. Contudo, é comum observar a deterioração precoce desses pavimentos, comprometendo o conforto, a segurança e a trafegabilidade dos usuários, como mencionado anteriormente.

Entre os principais problemas encontrados está o dano por fadiga e a deformação permanente. A deformação permanente é caracterizada pelo afundamento longitudinal do pavimento asfáltico, quando submetido a cargas de elevada tensão. A fadiga corresponde ao processo de alteração progressiva, localizada em um ou mais pontos, caracterizada por fissuras ou ruptura completa devido às amplitudes de tensões e deformações variáveis.

Com todos estes pontos em mente este estudo visa apresentar que é possível criar pavimentos sustentáveis e ainda em laboratório ter uma tomada de decisão mais assertiva evitando desperdícios e retrabalhos.

2. OBJETIVO E METODOLOGIA DO ESTUDO

Este estudo objetivou avaliar e comparar o desempenho de uma mistura referência dosada com CAP 30/45 e agregado virgem (CA 1). Uma mistura com CAP 30/45 e adição 30% de RAP (CA 2) e por fim uma mistura que alinha dois pontos de sustentabilidade, a utilização do material fresado (30%) e a modificação do CAP pela inserção de plástico reciclado (CA 3), a fim de demonstram que é possível criar soluções sustentáveis e resilientes para melhorar a infraestrutura do pavimento.

Para atingir o objetivo proposto foram avaliados os desempenhos à fadiga e à deformação

permanente das misturas asfálticas, com ensaios que compreenderam tanto o comportamento do ligante quanto da mistura. Para demonstrar o benefício da utilização de ensaios e análises mais avançadas da engenharia foram realizadas previsões no software FlexPave™, para determinar a resposta ao dano à fadiga e à deformação permanente de cada mistura asfáltica.

3. MATERIAS UTILIZADOS

As misturas avaliadas foram produzidas seguindo o projeto de dosagem Marshall. Produzidas com a mesma curva granulométrica e mesmo agregado virgem, um basalto normalmente utilizado na construção de pavimentos localizados na região central do Brasil. Para as três misturas também foi utilizado o mesmo RAP, que foi fornecido por uma concessão o interior paulista.

Inicialmente foram realizados os ensaios de caracterização do RAP para compreender quais eram as propriedades do material. Para a dosagem foi utilizado somente o material passante da peneira #3/4. O teor de asfalto encontrado no fresado foi de 4,8% (5), a granulometria do material é apresentada na Figura 1, antes e após a extração, A Tabela 1 apresenta as características do ligante recuperado do RAP.

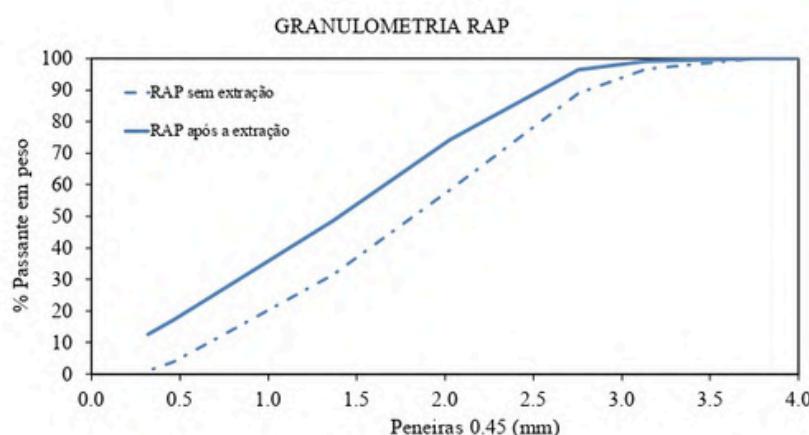


Figura 1: Granulometria RAP.

Tabela 1: Características do ligante asfáltico recuperado do RAP.

Amostra	Recuperação Elástica (%)	Ponto de Amolecimento (C)	Penetração (dmm)	PG	LAS	MSCR
Ligante Recuperado	31	75	20	82 -16	1.02	0.05

Para a dosagem das misturas o fresado foi colocado em estufa a 60°C por 24 horas para retirar

a umidade contida na amostra, e posteriormente foi misturado juntamente com os agregados que estavam na temperatura usual, ou seja 10 °C acima da temperatura do ligante, no misturador BBMAX 25 MLCPC por 2 min para homogeneização da massa. Após esse período era adicionada a porcentagem de CAP requerida.

Após a usinagem das misturas, e antes da fabricação dos corpos de prova, as misturas foram mantidas em estufa por duas horas na temperatura de compactação para simular o envelhecimento de curto prazo. As principais características de cada mistura são apresentadas na Tabela 2. A Faixa granulométrica utilizada é apresentada na Figura 2, foi utilizada a Faixa C do DNIT (6).

Tabela 2: Características das misturas asfálticas.

Mistura	% Ligante Adicionado	% Ligante Recuperado	% Ligante Total	Gmm (g/cm ³)	Gmb (g/cm ³)	Vv (%)	VAM (%)	RBV (%)	Estabilidade (Kgf)
CA 1	4.9	-	4.9	2.487	2.387	4.0	15.7	74.3	1025
CA 2	3.5	1.4	4.9	2.419	2.516	3.8	15.6	77	1164
CA 3	3.7	1.4	5.1	2.409	2.498	3.8	16.1	78	1102

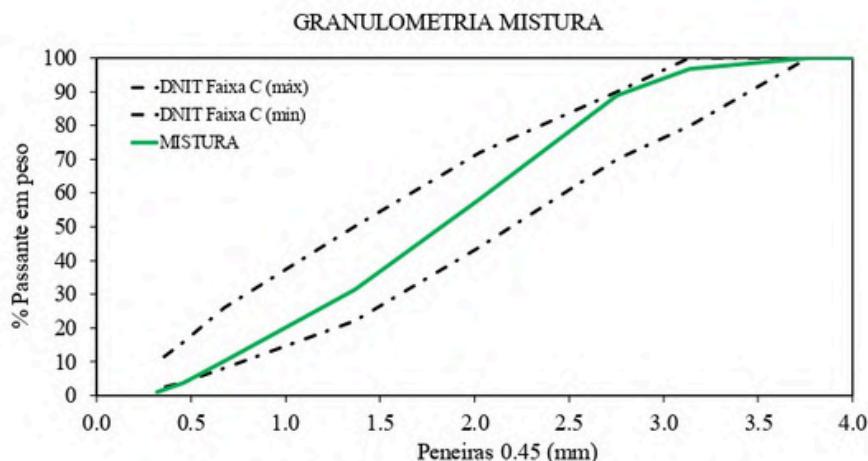


Figura 2: Granulometria das misturas.

Dos resultados apresentados na Tabela 2 é importante destacar que a utilização de 30% de RAP na mistura asfáltica diminui em 1,4% o teor de ligante adicionado para este estudo, vale lembrar que o RAP tende a ser heterogêneo e é preciso fazer acompanhamentos constantes para saber as características do material. O reaproveitamento do ligante do RAP, por exemplo, neste estudo se fosse considerado 1 km de rodovia construída em pista dupla e 5 cm de espessura em 10 tonelada aproximadas de produto virgem, além dessa economia a mistura se torna mais sustentável pelo reaproveitando de um material não renovável e reduzindo a produção do produto bruto que gera uma alta emissão de gases do efeito estufa.

4. PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental compreendeu seis etapas principais: (i) produção do ligante asfáltico modificado com resíduo plástico; (ii) determinação das propriedades reológicas dos ligantes asfálticos; (iii) determinação das propriedades viscoelásticas lineares das misturas; (iv) caracterização ao dano por fadiga das misturas asfálticas; (v) caracterização ao dano à deformação permanente das misturas e (vi) análises no software FlexPAVE™. Essas etapas são detalhadas abaixo.

4.1 Produção do ligante asfáltico modificado por resíduos plásticos

O plástico utilizado na pesquisa foi o Polietileno de Baixa Densidade (PEBD). Inicialmente esse material foi recolhido e separado por uma cooperativa de reciclagem. O material selecionado passa por um processo que transforma as embalagens em pequenas partículas chamadas de péletes, A Figura 3 apresenta a amostra original até a amostra final.



Figura 3. Amostra do resíduo plástico.

Para a incorporação dos resíduos plásticos no CAP, foi utilizada uma unidade piloto que é composta por dois tanques com capacidade de 10 litros, aquecidos com resistência elétrica (máximo 300°C) e linhas de circulação aquecidas com óleo térmico. Além disso, a unidade piloto é composta por uma bomba de engrenagens cuja velocidade é controlada por um inversor de frequência e um moinho tipo cônicoo para promover melhor cisalhamento e homogeneização da mistura. Durante todo o processo o agitador permaneceu ligado para promover a dissolução dos resíduos plásticos.

4.2. Caracterização dos Ligantes Asfálticos

Os ligantes asfálticos utilizados na pesquisa foram avaliados tanto pelos ensaios empíricos que são amplamente utilizadas no Brasil, e que ainda são utilizadas pela Agência Nacional de

Petróleo e Gás (ANP) (7), para classificar os ligantes quanto pela metodologia Superpave. Para compreender melhor o comportamento das misturas foi analisado o ligante produzido e o ligante extraído da mistura de ligante virgem mais a porcentagem do ligante pertencente ao material fresado.

4.2. Determinação das Propriedades Viscoelásticas Lineares das Misturas Asfálticas

Para determinação das propriedades viscoelásticas lineares das misturas asfálticas foi realizado o ensaio de módulo dinâmico (MD). O ensaio se baseia em uma varredura de temperatura e frequência e é usado para determinar o módulo complexo de misturas asfálticas. Neste ensaio, um corpo de prova de $5,5\% \pm 0,5\%$ de vazios, 100 mm de diâmetro de 150 mm de altura é submetida a um carregamento senoidal, por um determinado número de ciclos, com nível de carregamento, frequência e temperatura constantes. Nesta pesquisa, os ensaios de MD seguiram a especificação (8). Foram aplicadas seis frequências de 25 Hz, 10 Hz, 5 Hz, 1 Hz, 0,5 Hz e 0,1 Hz, da maior para a menor, e quatro temperaturas de 4 °C, 20 °C, 40 °C, e 54 °C, da menor para a maior. Para as análises uma amplitude de deformação alvo entre 50 e $70\mu\epsilon$ foi empregada, garantindo o comportamento viscoelástico linear do material. Para cada mistura avaliada foram ensaiadas três réplicas. Finalmente, as curvas mestras das misturas foram plotadas na temperatura de referência de 20 °C, usando o princípio de superposição tempo-temperatura.

4.3. Caracterização do Dano por Fadiga de Misturas Asfálticas

A teoria do dano contínuo viscoelástico simplificado (S-VECD) foi aplicada para definir a curva característica de dano das misturas asfálticas. A teoria é baseada em ensaios de carga de tração-compressão uniaxial com deformações controladas na amostra. Cinco corpos de prova de cada mistura contendo $5,5\% \pm 0,5\%$ de vazios de ar foram selecionados para caracterizar seu desempenho em termos ao dano por fadiga. A curva característica de dano de cada mistura relaciona a evolução do dano do material (S) ao seu respectivo módulo pseudo secante (C), também conhecido como integridade. O valor da pseudo rigidez é 1 quando o material está intacto e este valor diminui à medida que os danos se acumulam. Esta relação é independente do modo de carregamento, temperatura e amplitude de carregamento; portanto, é considerado uma propriedade fundamental do material.

Com base na teoria S-VECD, durante os ensaios de fadiga cíclica, assumiu-se que a falha ocorreu no ciclo (N_f) correspondente ao máximo valor do ângulo de fase. O critério de falha por fadiga proposto por Sabouri e Kim (9) foi adotado para determinar a taxa média de liberação

de energia de pseudo-deformação (GR) e avaliar o desempenho à fadiga das misturas. O critério de falha GR é baseado na observação experimental de que, quando o dano se acumula nos corpos de prova, o número de ciclos de carga tem uma relação de potência com a energia de pseudo-deformação dissipada acumulada (9). As configurações de teste e a análise S-VECD seguiram as recomendações da AASHTO T400 (10), (11; 12). Os resultados também foram utilizados para analisar o desempenho das misturas asfálticas no software FlexPAVE™.

4.4. Caracterização à Deformação Permanente de Misturas Asfálticas

O modelo viscoplástico Shift Model foi utilizado para avaliar a deformação permanente de misturas asfálticas. O modelo verifica o comportamento das misturas asfálticas em termos da deformação permanente. O Modelo Shift foi desenvolvido para capturar os efeitos da tensão desvio, tempo de carregamento e temperatura na deformação permanente de misturas asfálticas.

O protocolo de teste Stress Sweep Rutting (SSR) foi utilizado para avaliar o desempenho da deformação permanente seguindo as recomendações da AASHTO TP134 (13). Quatro corpos de prova de cada mistura contendo $7,0\% \pm 0,5\%$ de vazios de ar foram selecionados para caracterizar seu desempenho de deformação permanente, sendo dois corpos de prova ensaiados em alta temperatura (54°C) e outros dois corpos de prova ensaiados em baixa temperatura (20°C), com mesma tensão confiante de 69 kPa.

4.5. Análises das Misturas Asfálticas no software FlexPAVE™

Simulações para análise do desempenho das misturas asfálticas, a fim prever o comportamento das misturas, foram realizadas utilizando o software FlexPave™. O software FlexPAVE™ é uma ferramenta bem estabelecida que simula a resposta do pavimento considerando o comportamento viscoelástico linear do material com danos, incorporando dados do modelo S-VECD e do modelo Shift Model. O software considera cargas móveis, variação diária e sazonal de temperatura (14). O software foi gentilmente cedido pelo grupo de pesquisa da North Carolina State University (NCSU).

O objetivo da utilização do software é demonstrar que é possível criar misturas sustentáveis e resistentes quanto ao desempenho ao dano à fadiga e a deformação permanente. As análises foram feitas na camada asfáltica levando em consideração, o clima, o tráfego do local e a velocidade da via. O FlexPAVE™ vem ganhando destaque nos últimos anos, sendo utilizado em diversas pesquisas nacionais (11; 14; 15; 16; 17), apresentando boa capacidade de previsão do desempenho em campo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção foi dividida em cinco tópicos: ligante asfáltico, propriedades viscoelásticas lineares, desempenho ao dano por fadiga e ao dano à deformação permanente e simulações no FlexPAVE™ das misturas asfálticas.

5.1. Caracterização dos Ligantes Asfálticos

A Tabela 3 apresenta a caracterização dos ligantes produzidos utilizados no estudo e a Tabela 4 apresenta a caracterização do ligante final encontrado em cada mistura.

Tabela 3: Características dos ligantes adicionados na mistura.

Amostra	Recuperação Elástica (%)	Ponto de Amolecimento (°C)	Penetração (dmm)	Grau PG	LAS	MSCR
CAP 30/45	8	58	34	64 -16	1.40	2.21
CAP Plástico	76	73	46	76 -16	1.64	0.12

Tabela 4: Características dos ligantes resultantes de cada mistura.

Amostra	Recuperação Elástica (%)	Ponto de Amolecimento (°C)	Penetração (dmm)	Grau PG	LAS (19 °C)	MSCR (64°C) Jnr3.2
CA 1 (CAP 30/45)	8	58	34	64 -16	1.40	2.21
CA 2 (CAP 30/45 + RAP)	29	59	28	70 -10	1.38	1.67
CA 3 (PLÁSTICO + RAP)	49	66	24	76 -16	1.60	0.10

Como era de se esperar e devido as características do ligante do fresado apresentadas na Tabela 1, quando o fresado e o material virgem são misturados as propriedades do ligante inicialmente adicionado da mistura se modificam. Ambos ligantes estudados tiveram uma diminuição na penetração tornando-os mais rígidos, a recuperação elástica do CAP modificado por plástico diminui 35% e no caso do CAP 30/45 houve um aumentou, isso porque o CAP 30/45 não tem propriedades elastoméricas e muito provavelmente o ligante do material fresado era um ligante modificado por polímero. No caso ao dano à fadiga do ligante que é analisado pelo ensaio LAS ambos resultados ligantes tiveram uma leve piora de desempenho. No caso da deformação permanente houve um aumento de desempenho, resultado que pode estar ligado a oxidação e o envelhecimento do RAP, um dos fatores que leva ao baixo uso desse material, devido as preocupações ao dano por fadiga e ao enrijecimento da mistura. É importante ressaltar que a adição do plástico no CAP melhorou as propriedades do produto tanto nos parâmetros de fadiga quanto de deformação.

5.2. Caracterização Viscoelástica das Misturas Asfálticas

A Figura 5 apresenta os resultados das curvas mestras de módulo dinâmico das misturas avaliadas na temperatura de referência de 20 °C. A Figura 6 apresenta a curva mestra do ângulo de fase na temperatura de referência.

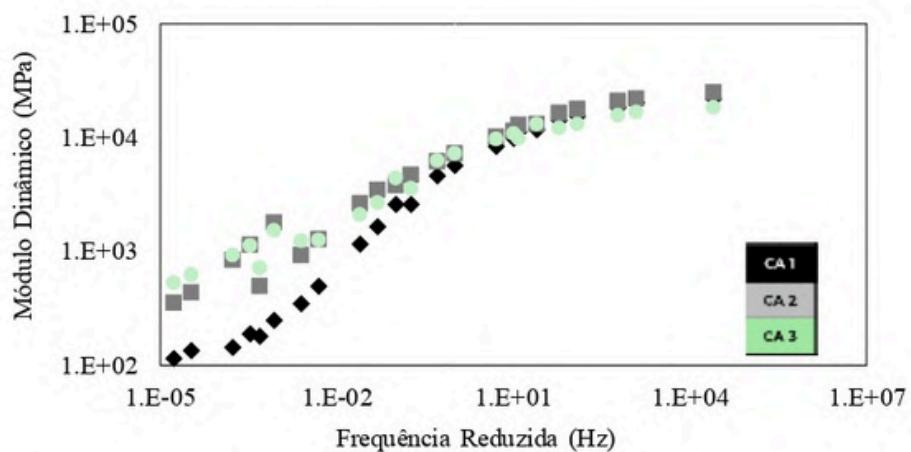


Figura 5: $|E^*|$ curvas mestre para as diferentes misturas (20 °C).

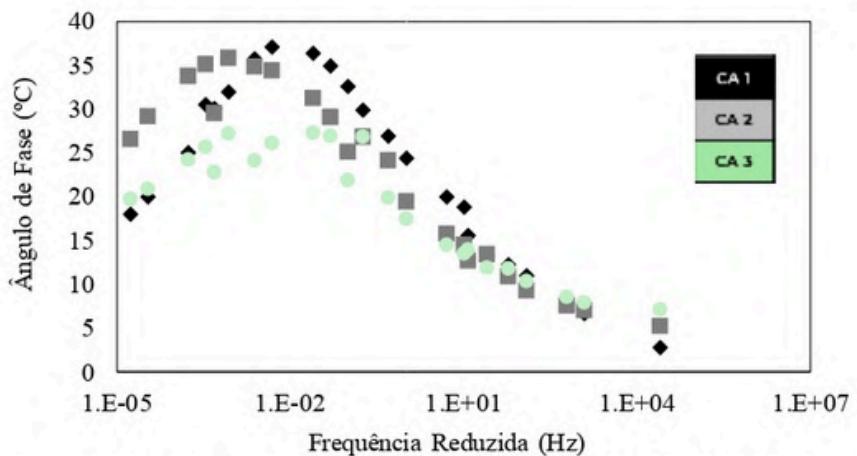


Figura 6: Curvas mestras de ângulo de fase para as diferentes misturas estudadas (20 °C).

A mistura CA 1 apresentou menores rigidezes para as frequências mais baixas, já as misturas que continham RAP apresentaram um aumento de rigidez principalmente nestas frequências. Sendo que a mistura CA 2 apresentou rigidez levemente superior a mistura CA 3. Nas altas frequências as três misturas apresentaram ângulos de fase semelhantes, mas nas frequências intermediárias é possível observar um acréscimo do ângulo de fase da mistura C1, ou seja, um comportamento mais viscoso, nas frequências mais baixas é observado um decréscimo no ângulo de fase da mistura CA 3, comportamento elástico. Estes resultados estão fortemente relacionados aos tipos de ligante utilizados em cada mistura.

5.3. Caracterização ao dano por fadiga

A Figura 7 apresenta as curvas características de Integridade *versus* Dano (C x S) produzidas a partir da taxa de evolução do dano para as misturas analisadas. Para cada mistura, as curvas C x S realizadas em diferentes amplitudes de deformação foram semelhantes. Mas é possível reparar que a mistura CA 3 teve um melhor desempenho. A Figura 7 mostra a média de cinco réplicas em diferentes deformações para cada mistura na temperatura de 20°C.

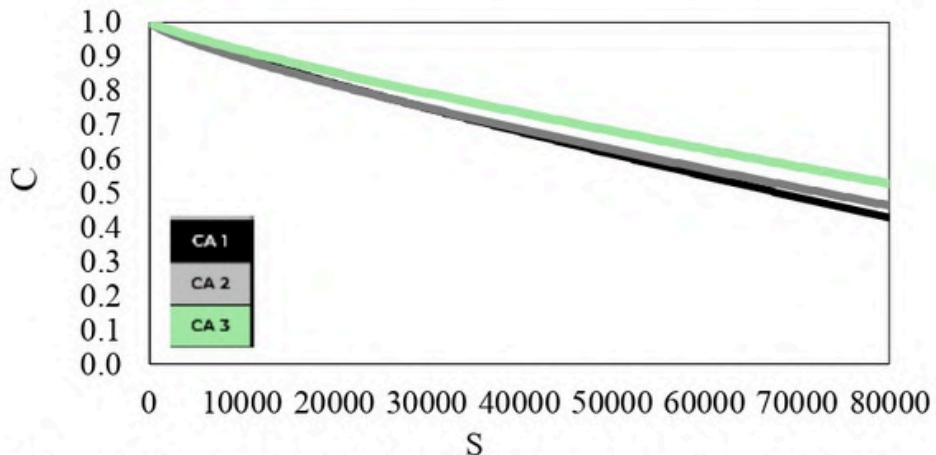


Figura 7. Curvas características de danos para as misturas estudadas.

A Tabela 5 apresenta os parâmetros do modelo S-VECD, para a expressão da taxa de liberação de energia de pseudo-deformação (GR) e da curva característica do dano (C₁₁ e C₁₂), e o expoente da função de evolução do dano (α) e a constante K₁.

Os resultados para o critério de falha por fadiga GR apresentaram fortes coeficientes de determinação ($R^2 > 0,994$), indicando que este critério de falha é uma ferramenta eficiente para representar o desempenho de misturas asfálticas em relação ao desempenho do dano por fadiga (Sabouri e Kim, 2014).

Tabela 5: Parâmetros S-VECD das misturas analisadas.

Mistura	C vs. S			G ^R		α	k ₁
	C ₁₁	C ₁₂	γ	Δ	R ²		
CA 1	8.29E-05	7.77E-01	8.68E+06	-1.38E+00	0.994	3.507	0.294
CA 2	3.61E-05	8.40E-01	2.52E+06	-1.31E+00	0.998	3.937	0.273
CA 3	1.54E-04	7.23E-01	2.92E+06	-1.27E+00	1.000	4.569	0.262

Os parâmetros apresentados na Tabela 5 serão inseridos no software FlexPAVE™ para a previsão do comportamento das misturas e da evolução ao dano à fadiga.

5.4. Caracterização ao dano à deformação permanente

O ensaio Stress Sweep Rutting (SSR) foi executado em duas temperaturas, 54 °C temperatura alta (TL) e 20 °C temperatura baixa (TH). A Figura 8 e a Figura 9 mostram os resultados dos testes para essas diferentes temperaturas, respectivamente. Para cada mistura, duas réplicas foram testadas em TL e TH. Nas figuras são mostrados os resultados médios para cada mistura em cada temperatura.

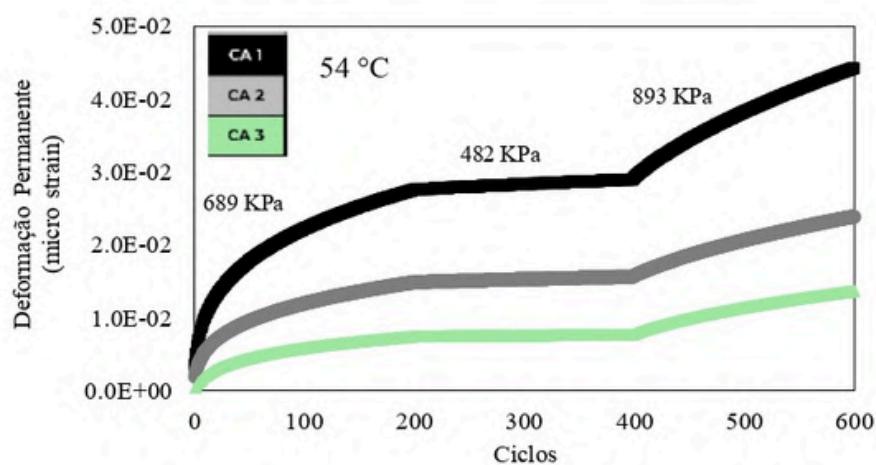


Figura 8. Resultados do teste SSR de alta temperatura (54 °C).

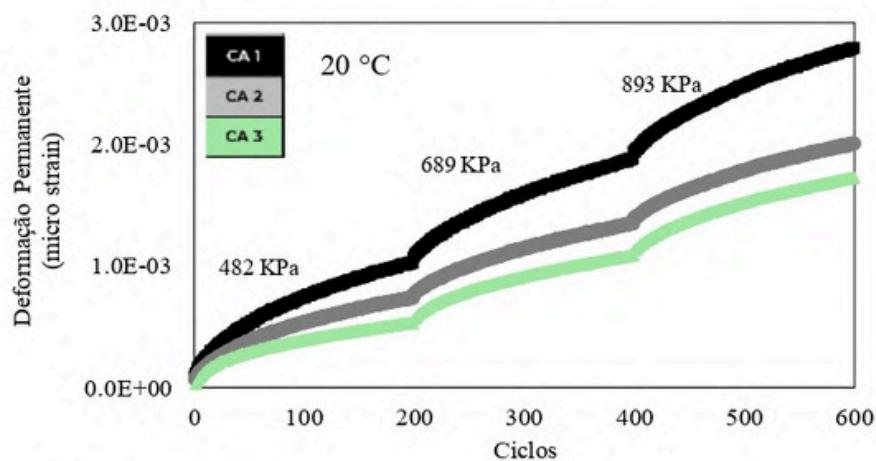


Figura 9. Resultados do teste SSR de baixa temperatura (20 °C).

A mistura CA 3 apresentou as menores deformações acumuladas na alta e baixa temperatura do ensaio SSR, estes resultados podem estar relacionados ao melhor desempenho do ligantes asfálticos modificados com resíduos plásticos. A Tabela 6 apresenta os parâmetros do Shift Model que foram utilizados nas simulações com o software FlexPave™ para previsão da evolução da deformação permanente.

Tabela 6. Parâmetros do Shift Modell do ensaio SSR.

Mistura	ε_0	N1	β	p1	p2	d1	d2
CA 1	1.77E-03	2.04	0.59	0.65	0.26	0.11	-1.60
CA 2	2.84E-03	1.12	0.69	0.65	0.30	0.13	-2.00
CA 3	1.70E-03	4.82	0.64	0.51	0.20	0.12	-1.42

5.5 Avaliação do desempenho das misturas asfálticas no Software FlexPAVE™

Para avaliar o desempenho das misturas a longo prazo foi analisada somente a camada do revestimento asfáltico nas simulações realizadas no software FlexPAVE™. A estrutura considerada nas simulações é apresentada na Figura 10. A estrutura possui 50 mm de revestimento asfáltico, 200 mm de base, 200 mm de sub-base e o subleito. O pavimento foi avaliado para um tráfego anual de 1×10^7 ESAL, uma velocidade de 80 km/h para uma vida útil de projeto de 10 anos e para o clima de São Paulo.



Figura 10: Estrutura do pavimento utilizada nas simulações.

A Figura 11 apresenta os resultados da avaliação das misturas quanto ao dano à fadiga para a simulação no FlexPAVE™ e a Figura 12 mostra os gráficos de contornos. As simulações no FlexPAVE™ foram realizadas mantendo as camadas subjacentes ao revestimento e alterando somente os parâmetros da camada de revestimento.

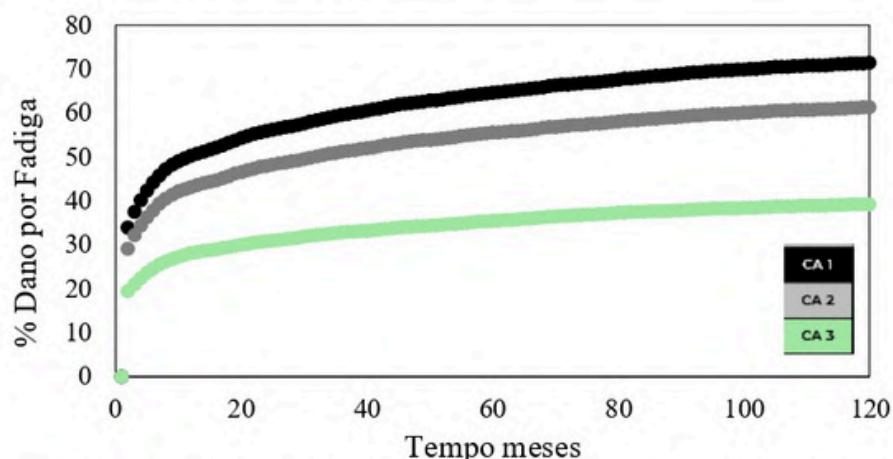


Figura 11: Evolução do dano por fadiga das misturas avaliadas.

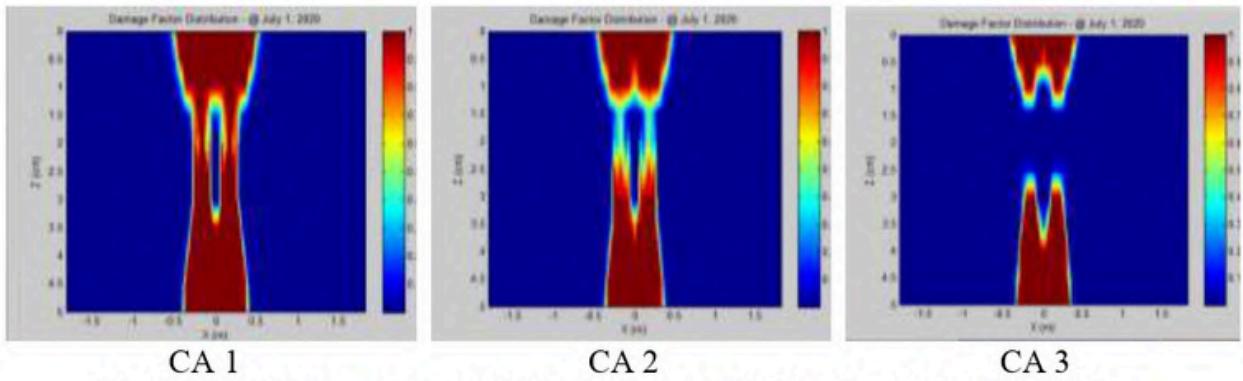


Figura 12: Contornos da evolução do dano por fadiga das misturas avaliadas.

A mistura CA 3 apresentou um desempenho superior as demais misturas, tendo em médio 30% a menos de área trincada ao final dos 120 meses de análise. Pela Figura 12 é possível observar que no caso da mistura CA 1 o dano à fadiga já atingiu um nível elevado interligando o dano da parte inferior e superior da camada. Quando adicionado o RAP na mistura houve uma melhora do desempenho da mistura CA 2. E como já comentado a mistura C3 teve o melhor desempenho e ao final da previsão o dano entre a parte inferior e superior da ainda não estavam unidos, demonstrando que a escolha correta da mistura pode fazer muita diferença no campo. A Figura 13 apresenta os resultados da avaliação das misturas quanto ao dano à deformação permanente para a simulação no FlexPAVE™.

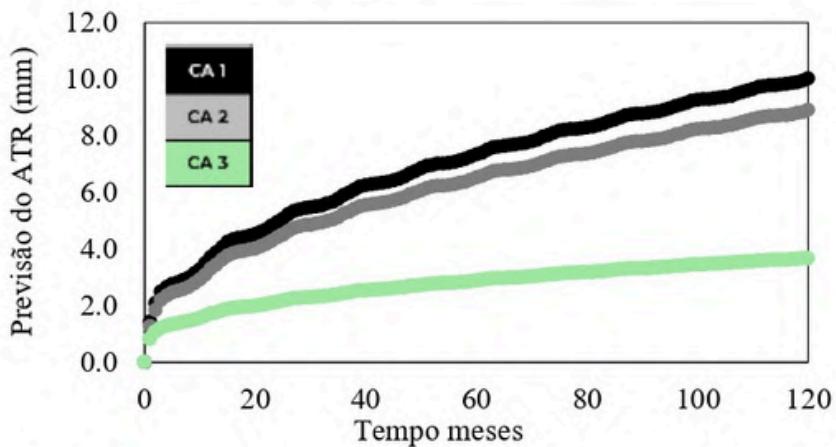


Figura 13: Previsão do Afundamento de trilha e roda no revestimento asfáltico.

Com base nos resultados da simulação para previsão do afundamento de trilha de roda, a mistura CA 3 com ligante modificado por resíduo-plástico apresentou o melhor desempenho, demonstrando que a incorporação de plástico endurece o ligante e melhora o desempenho das misturas para esta patologia. Neste estudo melhorou o desempenho quanto ao dano a fadiga também. Houve uma redução de mais de 50% na previsão do dano à deformação permanente quando utilizada a mistura produzida com 30% de RAP e CAP modificado por plástico

reciclado, o que demonstra que a utilização de materiais sustentáveis pode trazer grandes benefícios para a infraestrutura do pavimento.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo apresentou soluções sustentáveis e resistentes quanto as principais patologias do revestimento asfáltico. Por meio da aplicação de RAP e Plástico. Provando seu melhor desempenho em termos de engenharia e seu potencial ecológico.

Da análise dos dados obtidos no estudo, pode-se tirar as seguintes conclusões:

- As misturas que foram dosadas com adição de material fresado apresentaram um desempenho superior que a mistura de referência dosada somente com agregados virgens;
- A adição do RAP neste estudo demonstrou que pode ser reduzido em até 1,4% a adição do ligante virgem (aproximadamente 10 toneladas para 1 Km de rodovia), e ainda traz benefícios como a menor emissão de gases do efeito estufa, que é significativa na produção do CAP;
- O ligante asfáltico apresenta um papel significante no desempenho à fadiga e a deformação permanente das misturas asfálticas. O uso de diferentes ligantes resultou em variações de mais de 50% na previsão destes defeitos;
- O ligante modificado por plástico, assim como, a mistura com esse material apresentou desempenho superior, quanto ao dano à fadiga e à deformação permanente e a utilização desse material reciclado pode contribuir com muitos fatores, uma carga deste material (30 toneladas), utiliza cerca de 1200 kg de plástico o que equivale a mais de 50 mil embalagens de unidades plásticas, além de diminuir em 900 kg a emissão de gases de efeito estufa e uma redução de 1,2 toneladas de CAP virgem
- Para misturas asfálticas com diferentes misturas asfálticas e uma estrutura do pavimento foram modeladas utilizando FlexPAVE™ e o critério de falha GR para fissuração por fadiga e Shift Model para deformação permanente. As comparações entre os danos previstos pode ser uma forte ferramenta na tomada de decisão na escolha da melhor mistura a ser utilizada. Os resultados das simulações demonstram que é muito importante utilizar ensaios mais avançados que permitam compreender com maior propriedade o comportamento intrínseco do material.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao grupo de pesquisa da Carolina do North e ao Professor DR. Richard Kim por cederem o FlexPAVE™ para as simulações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). Pesquisa CNT de rodovias 2023. – Brasília: CNT: SEST SENAT: ITL, 2023
2. U.S DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. Strategies for Improving the Sustainability Asphalt Pavements. Tech Brief, April. 2016.
3. STEPHEN T. Muench; ADAM J.T. Hand. Sustainable Asphalt Pavements: A Practical Guide Sustainability Specifics, 2019.
4. OECD, Global Plastics Outlook: Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options, OECD Publishing, Paris, 2022. <https://doi.org/10.1787/de747aef-en>.
5. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES DNIT 158 – ME. Misturas asfálticas - Determinação da porcentagem de betume em mistura asfáltica utilizando o extrator Soxhlet. Rio de Janeiro. 2011.
6. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 031 - ES. Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço. Rio de Janeiro. 2019.
7. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Resolução ANP Nº 897, de 18 de novembro de 2022 - DOU DE 24-11-2022. Dispõe sobre as especificações dos asfaltos e dos aditivos asfálticos de reciclagem para misturas à quente, e suas regras de comercialização em todo o território nacional.
8. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 416 - ME. Pavimentação Asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação do módulo dinâmico – Método de ensaio. Rio de Janeiro. 2019.
9. SABOURI, M. KIM, Y. R. Development of a failure criterion for asphalt mixtures under different modes of fatigue loading. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2014. doi:10.3141/2447-13.
10. AASHTO T 400. Standard Method of Test for Determining the Damage Characteristic Curve and Failure Criterion Using the Asphalt Mixture Performance Tester (AMPT) Cyclic Fatigue Test, Washigton, 2023.
11. NASCIMENTO, L. A. H. Implementation and Validation of the Viscoelastic Continuum Damage Theory for Asphalt Mixture and Pavement Analysis in Brazil. Tese de Doutorado, North Carolina State University, Raleigh, NC. 2015.
12. UNDERWOOD, B. S., BAEK, C., KIM, Y. R. Simplified Viscoelastic Continuum Damage Model as Platform for Asphalt Concrete Fatigue Analysis. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2012.

13. AASHTO TP 134. Standard Method of Test for Stress Sweep Rutting (SSR) Test Using Asphalt Mixture Performance Tester (AMPT), Washington. 2022.
14. ESLAMINIA, M., THIRUNAVUKKARASU, S., GUDDATI, M. N., KIM, Y. R. Accelerated pavement performance modeling using layered viscoelastic analysis. Proceedings of the 7th International RILEM Conference on Cracking in Pavements, Delft, The Netherlands, NLD, 2012.
15. MOCELIN, D. M. Avaliação do Comportamento à Fadiga de Misturas Asfálticas Quentes e Mornas Através o Modelo de dano Contínuo Viscoelástico. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2018.
16. OSMARI, P. H. Characterization of the Fatigue Damage Behavior of Asphaltic Materials Based on Experimental Multiscale Approaches and on the S-VECD Theory. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2021.
17. L. M. BARROS, L. M., NASCIMENTO, L. A., ARAGÃO, F. S., UNDERWOOD, B. S., PIVETTA, F. C. Characterization of the Permanent Deformation of Asphalt Mixtures Based on Indexes and on Pavement Structural Performance. Construction and Building Materials 326(1):126555, 10.1016/j.conbuildmat.2022.126555. 2022.

