

# Planejamento Integrado de Transportes

## Caderno de Indicadores

Versão 1.2

---

**Infra S.A.**

Jorge Luiz Macedo Bastos  
*Diretor Presidente*

André Luís Ludolfo da Silva  
*Diretor de Empreendimentos*

Cristiano Della Giustina  
*Diretor de Planejamento*

Elisabeth Braga  
*Diretora de Administração e Finanças*

Marcelo Vinaud  
*Diretor de Mercado e Inovação*

**Superintendência de Planejamento e Estudos de Transporte**

Daniel Klinger Vianna  
*Superintendente*

**Equipe Técnica da Superintendência de Planejamento e Estudos de Transportes**

Brunno Santos Gonçalves  
*Coordenador*

Igor Moreira Mota  
*Coordenador*

Bruno Gonzalez Nóbrega  
*Assessor Técnico*

Bruno Nogueira da Costa  
*Engenheiro*

Emygail Lorena Silva Azevedo Oleskovicz  
*Assessora Técnica*

Juliana Miranda França  
*Assistente Técnica*

Lucas dos Santos Lourenço  
*Assessor Técnico*

Lucas Giovani Matos Albuquerque  
*Assistente Técnico*

Lucas Miranda França  
*Assessor Técnico*

Luís Philipe Vilara Ribeiro  
*Assessor Técnico*

Luiza Neis Ramos  
*Assessora Técnica*

Melquisadec de Souza Oliveira  
*Assistente Técnico*

---

---

**Sumário**

Sumário.....	3
1. INTRODUÇÃO .....	8
2. Abrangência dos Indicadores .....	9
3. Indicadores Gerais.....	12
3.1. Indicadores do Sistema de Transportes .....	12
3.1.1. Matriz de transportes em Tonelada-Quilômetro-Útil (TKU).....	13
3.1.2. Matriz de transportes em Valor-Quilômetro-Útil (VKU).....	14
3.1.3. Tempo médio ponderado para cargas .....	15
3.1.4. Diferença entre o tempo médio do cenário e o tempo médio de referência <sup>17</sup>	
3.1.5. Tempo médio ponderado para cargas no recorte internacional .....	18
3.1.6. Tempo médio ponderado no recorte de segurança e defesa nacional .	18
3.1.7. Tempo Médio Ponderado para o Transporte de Pessoas.....	19
3.1.8. Custo Total do Cenário .....	22
3.1.9. Custo Total do Cenário por 1000*TKU .....	24
3.1.10. Custo Total do Recorte Internacional por 1000*TKU.....	25
3.1.11. Valor dos desembolsos do cenário.....	25
3.1.12. Custo total do Cenário sobre os Desembolsos.....	25
3.1.13. Nível de Segurança em Relação ao Cenário Base.....	25
3.1.14. Emissões de CO <sub>2e</sub> do sistema .....	28
3.2. Indicadores Territoriais.....	31
3.3. Indicadores Socioambientais.....	32
3.3.1. Unidades de Conservação .....	33
3.3.2. Comunidades Tradicionais.....	33
3.3.3. Potencial Espeleológico .....	35
3.3.4. Potencial Arqueológico.....	37
3.3.5. Gases de Efeito Estufa .....	38
4. Indicadores Setoriais .....	39
4.1. Hidroviário .....	39
4.1.1. Componentes .....	39
4.1.2. Propriedades.....	43

---

4.1.3.	Resultados Diretos.....	48
4.1.4.	Resultados Indiretos.....	49
4.2.	Ferrovário.....	50
4.2.1.	Componentes.....	50
4.2.2.	Propriedades.....	53
4.2.3.	Resultados Diretos.....	56
4.2.4.	Resultados Indiretos.....	57
4.2.5.	Ambiente.....	58
4.3.	Rodoviário.....	59
4.3.1.	Componentes.....	59
4.3.2.	Propriedades.....	60
4.3.3.	Resultados Diretos.....	64
4.3.4.	Resultados Indiretos.....	65
4.3.5.	Ambiente.....	66
4.4.	Portuário.....	67
4.4.1.	Componentes.....	67
4.4.2.	Propriedades.....	69
4.4.3.	Resultados Diretos.....	73
4.4.4.	Resultados Indiretos.....	74
4.5.	Dutoviário.....	74
4.5.1.	Capacidade ofertada de cargas.....	74
4.5.2.	Saturação dutoviária.....	74
4.5.3.	Varição da divisão modal do transporte de cargas no estado.....	75
4.6.	Aeroviário.....	75
4.6.1.	Capacidade limitante de cargas.....	75
4.6.2.	Capacidade limitante para transportes de pessoas.....	75
4.6.3.	Capacidade ofertada para transporte de cargas.....	76
4.6.4.	Capacidade ofertada para transporte de pessoas.....	76
4.6.5.	Varição da divisão modal do transporte de cargas no estado.....	76
4.6.6.	Saturação aeroportuária.....	77
4.7.	Limitações e Melhorias.....	77
5.	Indicadores Específicos.....	79

---

---

5.1.	Índice de Benefícios Generalizados.....	79
5.1.1.	Indicador Desenvolvimento Socioeconômico.....	84
5.1.2.	Indicador Integração.....	85
5.1.3.	Indicador Desenvolvimento Tecnológico.....	90
5.1.4.	Indicador Desenvolvimento da Infraestrutura.....	92
5.1.5.	Indicador de Capacidade.....	92
5.1.6.	Indicador de Acessibilidade.....	96
5.1.7.	Indicador Eficiência Operacional.....	98
5.1.8.	Indicador Segurança.....	106
5.1.9.	Indicador Sustentabilidade.....	108
5.1.10.	Indicador Atualidade.....	109
	Referências Bibliográficas.....	110
	APÊNDICE I: REDE SEMÂNTICA DO SISTEMA DE TRANSPORTES.....	112
	APÊNDICE II: PLANILHA RESUMO DOS INDICADORES.....	112
	APÊNDICE III: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS UTILIZADAS.....	112

## Listas de figuras

<b>Figura 1:</b> Sistema de Indicadores do PNL 2035 .....	13
<b>Figura 2:</b> Exemplo de análise territorial aplicada no PNL 2035 .....	32
<b>Figura 3:</b> Perspectivas de análise do indicador espeleológico .....	37
<b>Figura 4:</b> Exemplo de acompanhamento de indicadores.....	78
<b>Figura 5:</b> Resumo de indicadores rodoviários e ferroviários .....	80
<b>Figura 6:</b> Resumo de indicadores rodoviários e ferroviários (continuação) .....	81
<b>Figura 7:</b> Resumo de indicadores hidroviários e portuários .....	82
<b>Figura 8:</b> Exemplo de avaliação de conectividade .....	85
<b>Figura 9:</b> Resultado de análise de integração global da rede intermodal .....	86

---

## Listas de tabelas

<b>Tabela 1:</b> Características de indicadores utilizados no PIT .....	10
<b>Tabela 2:</b> Índice de caracterização da via.....	26
<b>Tabela 3:</b> Fatores de Emissão utilizados.....	30
<b>Tabela 4:</b> Distâncias de terras indígenas ou quilombolas.....	34
<b>Tabela 5:</b> Integração acrescida nos municípios entre o ano base e o horizonte de projeto .....	88
<b>Tabela 6:</b> Resumo das características necessárias ao indicador de desenvolvimento tecnológico .....	90
<b>Tabela 7:</b> Capacidades por tipo de pista .....	95
<b>Tabela 8:</b> valores de ativação k para o setor rodoviário .....	98
<b>Tabela 9:</b> Escalas de capacidade rodoviária .....	99
<b>Tabela 10:</b> Grupo de escala de capacidade rodoviária .....	100
<b>Tabela 11:</b> Grupo de Serviço .....	101
<b>Tabela 12:</b> Indicador de atualidade.....	109

## **1. INTRODUÇÃO**

O presente caderno consolida a visão do sistema de indicadores aplicado no primeiro ciclo de Planejamento Integrado de Transportes (PIT), que abrange os indicadores utilizados no Plano Nacional de Logística 2035 (PNL 2035) e nos Planos Setoriais decorrentes deste ciclo.

Este volume é parte integrante do conjunto de cadernos metodológicos que buscam registrar e disseminar a abordagem metodológica, técnicas, modelos e premissas aplicados para o primeiro ciclo de Planejamento Integrado, com vistas a permitir sua discussão e evolução permanente, para aplicação nos ciclos posteriores.

---

## 2. Abrangência dos Indicadores

A estrutura de desenvolvimento do Planejamento Integrado de Transportes foi concebida para garantir coerência conceitual e metodológica entre os níveis estratégico e tático. Nesse contexto, todas as ações estabelecidas nos Planos Setoriais (nível tático), sejam elas iniciativas ou empreendimentos, devem buscar o alcance dos objetivos definidos a partir do diagnóstico (em nível estratégico) no Plano Nacional de Logística – PNL 2035 (EPL, 2021) e nos Planos Setoriais de Transporte. Em uma visão racional, se há alguma ação sendo efetivada, por exemplo, pela administração pública, mas que não coaduna com nenhum objetivo do plano, deveria ser descartada, pois consome recursos valiosos das que ajudam o sistema de transporte a cumprir seu papel no território. Essa é uma das principais funções do planejamento: auxiliar a tomada de decisão e a focalização de esforços para o que é mais importante para a sociedade. Por isso, é indispensável que os planos táticos liguem explicitamente as ações resultantes do trabalho, com os objetivos originalmente estabelecidos. O elo entre esses elementos são os indicadores, que possibilitam aferir os efeitos (atuais ou potenciais futuros) das ações, medindo assim o alcance dos objetivos do plano.

Assim, a definição e adoção de uma carteira de indicadores quantitativos ou qualitativos, que seja usada tanto para o diagnóstico quanto para a avaliação das ações, se torna uma etapa essencial de qualquer plano, sendo ainda mais relevante em planos de grande abrangência ou complexidade, que tratam com múltiplas instituições pública e privadas, e diferentes esferas de governo, como é o caso do Planejamento Integrado de Transportes no Brasil.

Para a proposição inicial da lista de indicadores adotados, foram realizadas pesquisas em diversas fontes, de forma a sugerir indicadores para caracterizar todas as Propriedades e Resultados do sistema de transporte, com apoio nos elementos definidos na Rede Semântica padronizada que foi definida para o PIT. Após esse levantamento preliminar, foram realizadas reuniões para discussão e validação com as equipes técnicas do Ministério e outros entes por ele apontados.

A Rede Semântica auxilia o trabalho de vinculação dos objetivos a elementos que podem ser “medidos”, concebendo assim, o sistema de indicadores necessários para se caracterizar o sistema de transporte, para auxílio de sua compreensão e para as fases de avaliação do alcance dos objetivos, presente tanto no diagnóstico (situação atual), quanto nos prognósticos (situações potenciais e tendenciais futuras).

Dada a complexidade e a abrangência de um sistema de transporte, é natural que nem sempre seja possível a representação de todos os resultados ou propriedades de um sistema. No entanto, deve-se sempre incorrer esforços para a mensuração de, no mínimo, os elementos que possuem relação com os objetivos estabelecidos no plano.

O estabelecimento ou escolha das métricas para cada indicador, além de sua efetiva aplicação, fica limitado a vários fatores, tais como:

- i. representatividade perante o elemento que se propõe medir;
- ii. abrangência em relação ao sistema;
- iii. dados disponíveis;
- iv. possibilidade de estimativa;
- v. possibilidade de projeção (visão de futuro);
- vi. sensibilidade de afetação em relação às ações analisadas e/ou simuladas no plano; e
- vii. disponibilidade de ferramentas para seu cálculo.

Dessa forma, a lista de indicadores definida conjuntamente foi aplicada, sempre que possível, para avaliação do cumprimento dos objetivos dos planos. Quando não foi possível aplicá-la de forma precisa, os indicadores foram adequados conforme as possibilidades no momento.

Em se tratando de indicadores, é também relevante padronizar e destacar as diferentes características de indicadores utilizados nos Planos de transporte. Eles podem ser classificados conforme a Tabela 1.

**Tabela 1:** Características de indicadores utilizados no PIT

<b>Quanto à finalidade</b>	<p><b>Finalísticos:</b> mensuram <u>propriedades</u> e <u>resultados</u> diretamente vinculados aos <u>objetivos</u> do ciclo de planejamento</p> <p><b>Caracterização:</b> descrevem outras <u>propriedades</u> e <u>resultados</u>, não vinculados a objetivos; visam a construção de séries históricas setoriais</p> <p><b>Descritivos:</b> descrevem atributos diretos dos <u>componentes</u> e <u>ambiente</u> do setor; úteis para complementar e compreender melhor indicadores finalísticos e de caracterização</p> <p><b>Governança operacional:</b> mensuram o estágio de execução dos <u>mecanismos</u> de intervenção (<u>ações</u> e <u>processos</u>)</p>
<b>Quanto à abrangência</b>	<p><b>Generais:</b> representam um setor / sistema, de forma conjunta; visam analisar e comparar os resultados de diferentes <u>cenários</u> entre si</p> <p><b>Setoriais:</b> refletem características de cada setor de transportes individualmente. Medem o alcance dos objetivos setoriais e, por consequência, apresentam as potencialidades e deficiências setoriais a serem tratadas no planejamento.</p> <p><b>Específicos:</b> representam o efeito individual específico de uma <u>ação</u> (empreendimento ou iniciativa); visam analisar e comparar os efeitos de diferentes <u>ações</u> entre si</p>
<b>Quanto ao horizonte de aplicação</b>	<p><b>Ex-post:</b> restritos a dados atuais existentes; ainda não possuem critérios de projeção ou modelos de simulação; aptos para diagnóstico</p> <p><b>Ex-ante:</b> tem modelos de projeção; simuláveis em cenários futuros; aptos para diagnóstico e prognóstico</p>

Ao se listar os dados disponíveis e relacioná-los com a rede semântica, é possível visualizar se a mensuração de um determinado indicador será completa (quando os dados permitem medir todos os elementos daquela propriedade ou resultado, muitas vezes de forma direta), parcial (quando os dados possibilitam medir parte dos elementos daquela propriedade ou resultado), ou indireta (quando os dados permitem obter parte das informações que representam um ou mais dos elementos de uma propriedade ou resultado, ou seja, quando há relação com a propriedade/resultado principal, mas essa relação não é direta e nem absoluta).

A rede semântica apresenta um arco referente aos resultados diretos do sistema de transporte. Esses, apesar de serem compreendidos como indicadores de caracterização e descritivos (conforme exposto na Tabela 1), não avaliam impactos para fins de classificação de ações ou de avaliação de cenários, pois são utilizados para estimar impactos indiretos, e aferir os efeitos nas propriedades. Assim sendo, a não consideração dessa parcela evita a multicolinearidade e redundância nas avaliações.

Os indicadores são calculados utilizando tanto a base de dados cadastrais organizada para fins do Planejamento Integrado de Transportes, quanto os resultados da simulação de cenários utilizando o modelo de macrosimulação intermodal da Infra S.A., além de modelos e estimativas acessórias.

---

### 3. Indicadores Gerais

#### 3.1. Indicadores do Sistema de Transportes

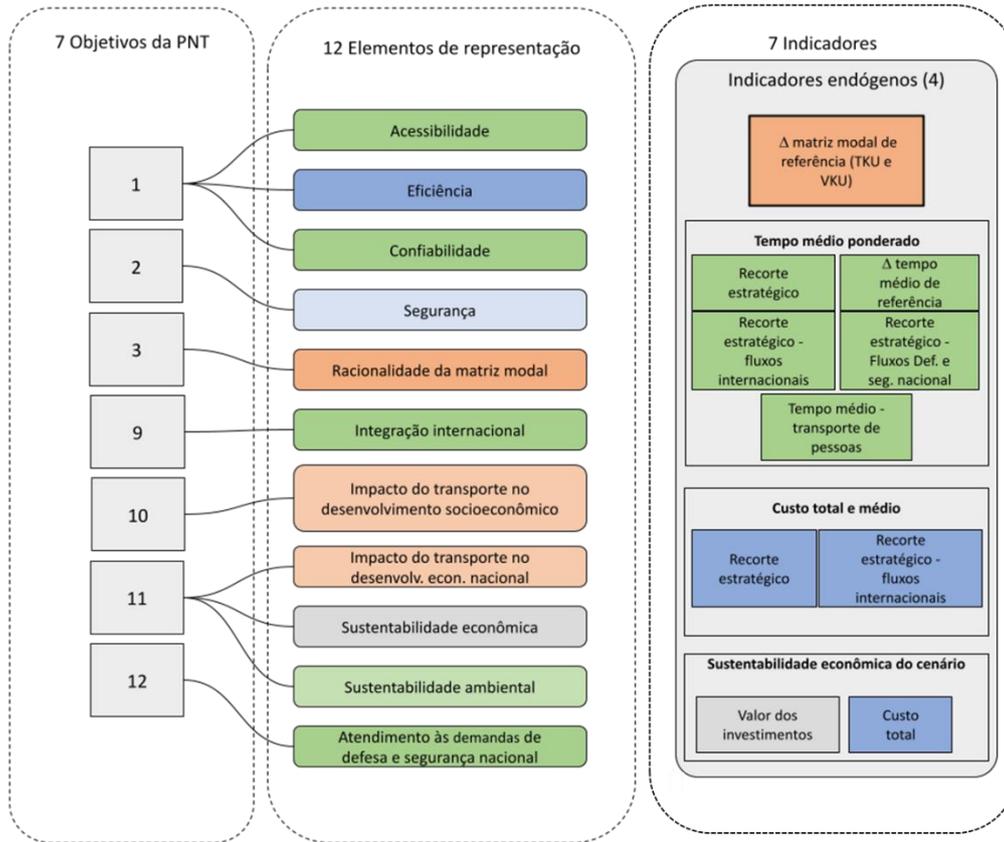
Os indicadores do sistema de transportes são classificados pela Tabela como indicadores finalísticos, gerais e *ex-ante*. Isso significa que eles apresentam resultados diretos de todo o sistema de transportes por meio de cálculos que são projetáveis. Dessa forma, eles permitem a avaliação de como alterações na infraestrutura e na legislação são capazes de influenciar a logística de transportes brasileira para o atendimento dos objetivos declarados na política nacional de transportes e incorporados aos planos de transportes.

Os *objetivos* do PNL que dizem respeito ao desenvolvimento da rede de transportes, conforme comentado na seção 2 deste Relatório Executivo, são:

1. Prover um sistema acessível, eficiente e confiável para a mobilidade de pessoas e bens;
2. Garantir a segurança operacional em todos os modos de transportes;
3. Prover uma matriz viária racional e eficiente;
- (...)
9. Promover a cooperação e a integração física e operacional internacional;
10. Considerar as particularidades e potencialidades regionais nos planejamentos setoriais de transportes;
11. Atuar como vetor do desenvolvimento socioeconômico e sustentável do país;
12. Garantir a infraestrutura viária adequada para as operações de segurança e defesa nacional.

Com base na definição de cada objetivo, foram listados os elementos de representação, ou seja, os elementos endógenos (que dizem respeito ao sistema de transporte) ou exógenos (que dizem respeito ao ambiente em que o sistema está inserido) para o qual devem ser voltadas as ações de desenvolvimento.

Foi realizado um estudo aprofundado para conceituação e determinação das métricas dos indicadores para medir de forma objetiva cada um dos elementos, em consonância com os modelos de simulação utilizados no PNL 2035 e com seus resultados. A Figura 1 sistematiza os objetivos do PNL (com numeração referente ao objetivo na PNT) os elementos de representação e os indicadores de avaliação de cenários.



**Figura 1:** Sistema de Indicadores do PNL 2035

### 3.1.1. Matriz de transportes em Tonelada-Quilômetro-Útil (TKU)

Esse indicador visa calcular a repartição modal, em relação ao TKU transportado no modelo, considerando os links rodoviários, hidroviários, cabotagem e ferroviários. Os modos aeroviários e dutoviários também são considerados, mas são calculados de forma exógena ao modelo. Para cada  $k \in (Rodoviário, Hidroviário, Cabotagem, Ferroviário, Aeroviário, Dutoviário)$  modo, são realizados os cálculos mostrados na Equação 1 e na Equação 2.

**Equação 1:** Cálculo do TKU total do cenário

$$TKU_{Total} = \sum_{i=1}^N TKU_i + TKU_{Aeroviário} + TKU_{Dutoviário}$$

Onde:

- $TKU_{Total}$  é a produção de transporte, em tku, total do cenário;
- N é o universo de links no cenário;
- $TKU_i$  é a produção de transporte, em TKU, no link i;
- $TKU_{Aeroviário}$  é a produção de transportes, em tku, do modo aeroviário;

- $TKU_{\text{Dutoviário}}$  é a produção de transportes, em tku, do modo dutoviário;

**Equação 2:** Cálculo da participação do modo k na matriz de TKU no cenário

$$P_k = \frac{\sum_{i=1}^k TKU_i}{TKU_{\text{Total}}}$$

Onde:

- $P_k$  é a participação do modo de transporte k na matriz de TKU;
- k é o universo de links do modo k no cenário;
- $TKU_i$  é a produção de transporte, em TKU, no link i;
- $TKU_{\text{Total}}$  é a produção de transporte, em tku, total do cenário;

### 3.1.2. Matriz de transportes em Valor-Quilômetro-Útil (VKU)

Da mesma forma que a Matriz de transportes em TKU, esse indicador visa calcular a repartição modal em relação ao valor dos bens transacionados. Também considera os *links* rodoviários, hidroviários, cabotagem e ferroviários do modelo e os modos aeroviário e dutoviário exogenamente. Para cada modo considerado (*Rodoviário, Hidroviário, Cabotagem, Ferroviário, Aeroviário, Dutoviário*), são realizados os cálculos mostrados na Equação 3 e na **Equação 4**.

**Equação 3:** Cálculo do VKU total do cenário

$$VKU_{\text{Total}} = \sum_{i=1}^N VKU_i + VKU_{\text{Aeroviário}} + VKU_{\text{Dutoviário}}$$

Onde:

- $VKU_{\text{Total}}$  é a produção de transporte, em VKU (Valor quilometro-útil), total do cenário;
- N é o universo de links no cenário;
- $VKU_i$  é a produção de transporte, em VKU, no link i;
- $VKU_{\text{Aeroviário}}$  é a produção de transportes, em VKU, do modo aeroviário;
- $VKU_{\text{Dutoviário}}$  é a produção de transportes, em VKU, do modo dutoviário.

**Equação 4:** Cálculo da participação do modo k na matriz de VKU no cenário

$$P_k = \frac{\sum_{i=1}^k VKU_i}{VKU_{\text{Total}}}$$

Onde:

- $P_k$  é a participação do modo de transporte k na matriz de VKU;

- $k$  é o universo de links do modo  $k$  no cenário;
- $VKU_i$  é a produção de transporte, em VKU, no link  $i$ ;
- $VKU_{Total}$  é a produção de transporte, em VKU, total do cenário.

### 3.1.3. Tempo médio ponderado para cargas

O indicador de Tempo Médio Ponderado para Cargas reflete o tempo médio, em segundos, que uma tonelada de carga demora para perpassar um quilômetro, de forma que a unidade de medida do indicador é “segundos por quilômetro” (seg/km). O indicador abarca apenas links que foram contemplados na Camada Estratégica de Análise (CEA) e pertencentes aos modos rodoviário, ferroviário, hidroviário e cabotagem. Os modos dutoviário e aeroviário também são contemplados, mas calculados de modo exógeno ao modelo. Especificamente para os links rodoviários, excluíram-se os links de rodovias urbanas devido ao caráter peculiar dessas infraestruturas. Também foram excluídos links que apresentaram valores extremamente discrepantes para seu modo, considerados outliers – tais situações, no entanto, representaram apenas 0,0006% dos casos.

Para calcular o tempo médio, em seg/km, para cada link e para cada um dos 38 produtos da matriz de carga. Como o tempo médio entre os produtos é o mesmo para qualquer produto que utiliza uma mesma infraestrutura, uma média simples pode ser aplicada. Para os  $i \in (1, 38)$  produtos que passam o link  $j$ , a Equação 5 é aplicada.

**Equação 5:** Cálculo do tempo médio do link  $j$

$$\bar{T}_j = \frac{\sum_{i=1}^{38} T_{i,j}}{38} \cdot C_j$$

Onde:

- $\bar{T}_j$  é o tempo médio para perpassar o link  $j$ ;
- $T_{i,j}$  é o tempo para o produto  $i$  perpassar o link  $j$ ; e,
- $C_j$  é o comprimento do link  $j$ .

Para calcular o volume em veículos por quilômetro que perpassam cada link  $j$ . Para isso, soma-se o volume de tráfego, em veículos, de cada uma das  $i$  matrizes de carga e multiplica-se pelo comprimento do link Equação 6.

**Equação 6:** Cálculo dos veículos por quilometro

$$VehK_j = \left( \sum_{i=1}^{38} veh_{i,j} \right) \times (C_j)$$

Onde:

- $VehK_j$  é o volume de veículos por quilômetro no link  $j$ ;
- $Veh_{i,j}$  é o volume de veículos carregando o produto  $i$  no link  $j$ ; e,
- $C_j$  é o comprimento do link  $j$ .

Para calcular o tempo médio ponderado para os  $n$  links abarcados pelo indicador, multiplica-se a quantidade de veículos por quilometro no link  $j$  pelo tempo médio para atravessar o link  $j$  e divide-se pela quantidade total de veículos por quilometro do sistema, como apresentado na Equação 7.

**Equação 7:** Tempo médio ponderado do modelo

$$\bar{T} = \frac{\sum_{j=1}^n \bar{T}_j \times VehK_j}{\sum_{j=1}^n VehK_j}$$

Onde:

- $\bar{T}$  é o tempo médio do modelo para se perpassar um quilometro no cenário;
- $n$  é o universo de links considerados;
- $\bar{T}_j$  é o tempo médio para perpassar o link  $j$ ; e,
- $VehK_j$  é o volume de veículos por quilômetro no link  $j$ ;

Por fim, calcula-se o valor final do indicador, ponderando o Tempo Médio do Modelo pelos tempos médios do modo aeroviário e dutoviário a partir do montante de TKU, como mostrado na Equação 8.

**Equação 8:** Tempo médio ponderado para todos os setores

$$\bar{T}_{total} = \frac{TKU_{modelo}}{TKU_{Total}} \times \bar{T} + \frac{TKU_{aero}}{TKU_{Total}} \times \bar{T}_{aero} + \frac{TKU_{duto}}{TKU_{Total}} \times \bar{T}_{duto}$$

Onde:

- $\bar{T}_{total}$  é o tempo médio ponderado para todos os setores
- $\bar{T}$  é o tempo médio do modelo para se perpassar um quilometro no cenário;
- $\bar{T}_{aero}$  é o tempo médio do setor aeroviário para se perpassar um quilometro no cenário;
- $\bar{T}_{duto}$  é o tempo médio do setor dutoviário para se perpassar um quilometro no cenário;
- $TKU_{modelo}$  é a produção de transporte, em tku, do modelo do cenário;
- $TKU_{aero}$  é a produção de transporte, em tku, do modo aeroviário do cenário; e,
- $TKU_{duto}$  é a produção de transporte, em tku, do modo dutoviário do cenário.

### 3.1.4. Diferença entre o tempo médio do cenário e o tempo médio de referência

Esse indicador reflete a diferença percentual entre o Tempo Médio Ponderado para Cargas, referido anteriormente, e o Tempo Médio de Referência para Cargas. Por sua vez, o Tempo Médio de Referência para Cargas é calculado da mesma forma que o Tempo Médio Ponderado para Cargas, com alteração no cálculo da variável Tempo Médio<sub>j</sub>, apresentado na Equação 5. Para essa análise, utiliza-se o tempo de Fluxo Livre, conforme apresentado na Equação 9.

**Equação 9:** Tempo Médio de fluxo livre para cargas no link i

$$\overline{TF}_j = \frac{\sum_{i=1}^{38} \frac{T_{i,j}}{C_j}}{38}$$

Onde:

- $\overline{TF}_j$  é o tempo médio de referência (fluxo livre) para perpassar o link j;
- $TF_{i,j}$  é o tempo de fluxo livre para o produto i perpassar o link j; e,
- $C_j$  é o comprimento do link j.

O Tempo de Fluxo Livre representa o valor para a carga perpassar o *link* sob a hipótese de ausência de tráfego. Supõe-se ainda que o tempo médio para o modo aeroviário e dutoviário, utilizados na Equação 8 de cálculo do Tempo Médio Ponderado para Cargas, já estejam em seus tempos de fluxo livre, de forma que não há alteração de seus valores. Assim a Equação 10 apresenta a formulação para o tempo médio de referência para cargas.

**Equação 10:** Tempo Médio de Referência para Cargas

$$\overline{TF}_{total} = \frac{TKU_{modelo}}{TKU_{Total}} \times \frac{\sum_{j=1}^n \overline{TF}_j \times VehK_j}{\sum_{j=1}^n VehK_j} + \frac{TKU_{aero}}{TKU_{Total}} \times \overline{T}_{aero} + \frac{TKU_{duto}}{TKU_{Total}} \times \overline{T}_{duto}$$

Onde:

- $\overline{TF}_{total}$  é o tempo médio de fluxo livre ponderado para todos os setores;
- $\overline{TF}$  é o tempo médio de fluxo livre do modelo para se perpassar um quilometro no cenário;
- $n$  é o universo de links considerados;
- $\overline{T}_j$  é o tempo médio de fluxo livre para perpassar o link j; e,
- $VehK_j$  é o volume de veículos por quilômetro no link j;
- $\overline{T}_{aero}$  é o tempo médio do setor aeroviário para se perpassar um quilometro no cenário;

- $\bar{T}_{duto}$  é o tempo médio do setor dutoviário para se perpassar um quilometro no cenário;
- $TKU_{modelo}$  é a produção de transporte, em tku, do modelo do cenário;
- $TKU_{aero}$  é a produção de transporte, em tku, do modo aeroviário do cenário; e,
- $TKU_{duto}$  é a produção de transporte, em tku, do modo dutoviário do cenário.

Em posse dos valores para o Tempo Médio Ponderado para Cargas e Tempo Médio de Referência para Cargas, o indicador de Confiabilidade é calculado pela Equação 11.

**Equação 11:** Indicador de Confiabilidade

$$\Delta\text{Tempo} = \frac{\bar{T}_{total}}{\bar{T}\bar{F}_{total}} - 1$$

Onde:

- $\Delta\text{Tempo}$  é a variação do tempo carregado no modelo em relação ao tempo de referência;
- $\bar{T}\bar{F}$  é o tempo médio de fluxo livre do modelo para se perpassar um quilometro no cenário; e,
- $\bar{T}_{total}$  é o tempo médio ponderado para todos os setores.

Deve-se notar que o Tempo Médio Ponderado para Cargas deve ser necessariamente maior ou igual ao Tempo Médio de Referência para Cargas, de forma que Diferença  $\geq 0$ .

### 3.1.5. Tempo médio ponderado para cargas no recorte internacional

Esse indicador possui o mesmo racional de cálculo do Tempo Médio Ponderado para Cargas, com o diferencial de ser calculado apenas para *links* rodoviários e que estejam contidos na Camada Estratégica para Integração Internacional e, simultaneamente, na Camada Estratégica de Análise. Vale destacar também que a ponderação em relação aos tempos dos modos aeroviário e dutoviário não é feita, de modo que o cálculo se encerra na Equação 7.

### 3.1.6. Tempo médio ponderado no recorte de segurança e defesa nacional

Para esse indicador, calcula-se o tempo médio ponderado para o tráfego de veículos, também na métrica de “seg/km”. São considerados apenas *links* rodoviários não urbanos e que estejam contemplados na Camada Estratégica de Análise e na Camada Estratégica para Segurança e Defesa, simultaneamente.

Para obter o indicador, primeiro calcula-se o tempo médio para cargas, em seg/km, para cada *link j* pela Equação 12.

**Equação 12:** Tempo médio por quilômetro para cargas

$$\bar{T}_j = \frac{\sum_{i=1}^{38} T_{i,j}}{38} C_j$$

Onde:

- $\bar{T}_j$  é o tempo médio para perpassar o link j;
- $T_{i,j}$  é o tempo para o produto i perpassar o link j; e,
- $C_j$  é o comprimento do link j.

**Equação 13:** Cálculo dos veículos por quilômetro

$$\text{VehK}_j = \left( \sum_{i=1}^{38} \text{Veh}_{i,j} \right) \times (C_j)$$

Onde:

- $\text{VehK}_j$  é o volume de veículos por quilômetro no link j;
- $\text{Veh}_{i,j}$  é o volume de veículos carregando o produto i no link j; e,
- $C_j$  é o comprimento do link j.

Por fim, calcula-se o tempo médio ponderado para os n *links* abarcados pelo indicador, conforme mostrado na Equação 14.

**Equação 14:** Indicador de segurança nacional

$$\bar{T} = \frac{\sum_{j=1}^n \bar{T}_j \times \text{VehK}_j}{\sum_{j=1}^n \text{VehK}_j}$$

Onde:

- $\bar{T}$  é o tempo médio do modelo para se perpassar um quilometro no cenário;
- $n$  é o universo de links considerados no recorte de segurança;
- $\bar{T}_j$  é o tempo médio para perpassar o link j; e,
- $\text{VehK}_j$  é o volume de veículos por quilômetro no link j;

### 3.1.7. Tempo Médio Ponderado para o Transporte de Pessoas

O indicador visa refletir o tempo médio, em seg/km, para uma pessoa percorrer um quilômetro independente do modo de transporte. Constituem universo de *links* do indicador aqueles pertencentes à Camada Estratégica de Análise e do modo rodoviário, desde que não urbanos. Os modos ferroviário, aeroviário e hidrovíários também são considerados para o cálculo, por mais que de forma exógena.

Primeiro, calcula-se o tempo médio para automóveis e ônibus, em seg/km, para cada *link j* pela Equação 15 e Equação 16.

**Equação 15:** Cálculo do tempo médio para veículos de passeio

$$\bar{T}_{j_a} = \frac{T_{i,j_a}}{C_j}$$

Onde:

- $\bar{T}_{j_a}$  é o tempo médio para automóveis de passageiro perpassarem o link *j*;
- $T_{i,j_a}$  é o tempo para automóveis de passageiros perpassarem o link *j*; e,
- $C_j$  é o comprimento do link *j*.

**Equação 16:** Cálculo do tempo médio para ônibus

$$\bar{T}_{j_o} = \frac{T_{i,j_o}}{C_j}$$

Onde:

- $\bar{T}_{j_o}$  é o tempo médio para ônibus perpassarem o link *j*;
- $T_{i,j_o}$  é o tempo para ônibus perpassarem o link *j*; e,
- $C_j$  é o comprimento do link *j*.

Logo, calcula-se o volume em veículos por quilômetro que perpassam cada *link j*. Para isso, multiplica-se o volume de tráfego de automóveis do *link j* pelo comprimento desse *link*. Esse cálculo também é feito individualmente para automóveis e ônibus, como mostrado na Equação 17.

**Equação 17:** Volume de veículos de passeio por link

$$\text{VehK}_{a,j} = (\text{Veh}_{a,j}) \times (C_j)$$

Onde:

- $\text{VehK}_{a,j}$  é o volume de veículos por quilômetro no link *j*;
- $\text{Veh}_{a,j}$  é o volume de veículos de passageiros no link *j*; e,
- $C_j$  é o comprimento do link *j*.

**Equação 18:** Volume de veículos de ônibus por link

$$\text{VehK}_{o,j} = (\text{Veh}_{o,j}) \times (C_j)$$

Onde:

- $VehK_{o,j}$  é o volume de ônibus por quilômetro no link  $j$ ;
- $Veh_{o,j}$  é o volume de ônibus de passageiros no link  $j$ ; e,
- $C_j$  é o comprimento do link  $j$ .

**Equação 19:** Volume de veículos de passageiros por link

$$VehK_{p,j} = VehK_{a,j} + VehK_{o,j}$$

Onde:

- $VehK_{p,j}$  é o volume de veículos de passageiros no link  $j$ ;
- $VehK_{a,j}$  é o volume de veículos por quilômetro no link  $j$ ; e,
- $VehK_{o,j}$  é o volume de ônibus por quilômetro no link  $j$ .

Em seguida, calcula-se o tempo médio para cada *link*  $j$ , como mostrado na Equação 20.

**Equação 20:** Tempo médio ponderado por veículos de passageiros

$$\bar{T}_j = \frac{\bar{T}_{j_a} \times VehK_{a,j} + \bar{T}_{j_o} \times VehK_{o,j}}{VehK_{p,j}}$$

Onde:

- $\bar{T}_j$  é o tempo médio ponderado para passageiros;
- $\bar{T}_{j_a}$  é o tempo médio para veículos de passeio perpassarem o link  $j$ ;
- $\bar{T}_{j_o}$  é o tempo médio para ônibus perpassarem o link  $j$ ;
- $VehK_{a,j}$  é o volume de veículos de passeio por quilômetro no link  $j$ ; e,
- $VehK_{o,j}$  é o volume de ônibus por quilômetro no link  $j$ .
- $VehK_{p,j}$  é o volume de veículos de passageiros no link  $j$ ;

Depois, calcula-se a média ponderada para os  $n$  links abarcados pela Equação 20.

**Equação 21:** Tempo médio ponderado por veículos de passageiros do modelo de simulação

$$\overline{T_{pm}} = \frac{\sum_{j=1}^n \bar{T}_j \times VehK_{p,j}}{\sum_{j=1}^n VehK_{p,j}}$$

Onde:

- $\overline{T_{pm}}$  é o tempo médio ponderado de passageiros do modelo
- $\bar{T}_j$  é o tempo médio ponderado para passageiros;
- $VehK_{p,j}$  é o volume de veículos de passageiros no link  $j$ ;

Por fim, calcula-se o valor final do indicador, ponderando o *Tempo Médio do Modelo* pelos tempos médios para transporte de passageiros pelos modos hidroviário, ferroviário e aeroviário a partir do valor em pessoas por quilômetro (PKM) da matriz interurbana, como apresentado na Equação 22.

**Equação 22:** Volume total de passageiros movimentado no cenário

$$PKM_{total} = PKM_{modelo} + PKM_{hidro} + PKM_{ferro} + PKM_{aero}$$

Onde:

- $PKM_{total}$  é a produção total de pessoas por quilômetro do cenário;
- $PKM_{modelo}$  é a produção total de pessoas por quilômetro do modelo do cenário;
- $PKM_{ferro}$  é a produção total de pessoas por quilômetro do setor ferroviário do cenário;
- $PKM_{aero}$  é a produção total de pessoas por quilômetro do setor aeroviário do cenário;
- $PKM_{hidro}$  é a produção total de pessoas por quilômetro do setor hidroviário do cenário.

O tempo médio para pessoas é calculado pela média do tempo do modelo com o tempo dos setores, ponderada pela quantidade de pessoas em cada parcela, mostrado pela Equação 23.

**Equação 23:** Tempo médio do sistema de transportes de pessoas ponderado pelo volume de passageiros

$$\bar{T}_p = \frac{PKM_{modelo}}{PKM_{total}} \times \bar{T}_{pm} + \frac{PKM_{hidro}}{PKM_{total}} \times \bar{T}_{hidro} + \frac{PKM_{ferro}}{PKM_{total}} \times \bar{T}_{ferro} + \frac{PKM_{aero}}{PKM_{total}} \times \bar{T}_{aero}$$

Onde:

- $\bar{T}_p$  é o tempo médio ponderado de transporte de passageiros do cenário, em s/km.

### 3.1.8. Custo Total do Cenário

Esse indicador visa refletir o custo generalizado de transporte da Camada Estratégica de Análise do cenário. Isto é, a soma dos custos operacionais de transporte e dos custos de valor do tempo para cargas. Enquanto os custos de valor do tempo dependem do produto a ser transportado, independente do modo ou operação, os custos

operacionais de transporte são discriminados conforme o modo<sup>1</sup> e grupo de carga<sup>2</sup>. Alguns elementos logísticos não são representados, como custo de armazenagem; custos por perda ou roubo da carga; ou outros custos de transação.

Primeiramente, cabe contextualizar a origem dos custos utilizados no Planejamento Integrado de Transportes. Em cada simulação de cenário são utilizadas estimativas de custos de transportes calculados a partir de um método *bottom up* de custos, elaborado por EPL (2017). Nele são detalhados todos os custos identificados como relevantes na determinação de um custo médio por TKU em cada modo, para cada grupo de carga.

Além disso, foi desenvolvido um fator multiplicador de custos para a consideração da qualidade do pavimento. O conceito é que pavimentos com qualidade melhor que as médias tenham reduções de custos logísticos e que pavimentos com pior qualidade tenham seus custos aumentados para emular gastos adicionais com gasolina e manutenção.

Assim, o custo dos *links* é calculado como um somatório do custo de transporte (locomoção pelo link), custo de valor de tempo para atravessar o *link*, custo de transbordo (no caso de *links* que representam terminais) e valor do acesso a rede (entendido como um custo de carga e descarga final). Assim a apresenta a formulação matemática desses custos.

**Equação 24:** Cálculo do custo total de transportes para o link j

$$C_{j_m} = C_{transporte_{j_m}} \times E_{linkj} + C_{tempo_m} \times T_{linkj_m} + C_{transbordo_{j_m}} + C_{acesso_{j_m}}$$

Onde:

- $C_{j_m}$  é o custo total para perpassar o link j para o produto m;
- $C_{transporte_{j_m}}$  é o custo de transporte para perpassar o link j para o produto m;
- $E_{linkj}$  é a extensão do link j;
- $C_{tempo_m}$  é o custo do tempo para o produto m;
- $T_{linkj_m}$  é o tempo total para perpassar o link j para o produto m; e,
- $C_{transbordo_m}$  é o custo total para perpassar o link j para o produto m.

Assim como o indicador de tempo, o indicador de custo necessita agregar os custos de todos os produtos que passam pelo link j, como mostrado pela Equação 25.

---

<sup>1</sup> Rodoviário – por quantidade de faixas de via; ferroviário – por malha; hidroviário – por restrição da hidrovia; Cabotagem; aeroviário e dutoviário.

<sup>2</sup> GSA; GSM; OGSM; GL; CGC; CGNC.

**Equação 25:** Cálculo do custo total de transportes para o link j

$$C_j = \sum_{i=1}^{38} C_{j_m}$$

Onde:

- $C_j$  é o custo total para perpassar o link j; e
- $C_{j_m}$  é o custo total para perpassar o link j para o produto m.

O universo de *links* considerados para o cálculo compreende aqueles que fazem parte da Camada Estratégica de Análise e que não são urbanos. Os modos aeroviários e dutoviários são considerados no cálculo, mas de forma exógena. O cálculo é feito conforme demonstrado pela Equação 26, para os  $n$  *links* compreendidos pelo indicador.

**Equação 26:** Cálculo do custo total de transportes

$$C = \left( \sum_{j=1}^n C_j \right) + C_{aero} + C_{duto}$$

Onde:

- $C$  é o custo total dos transportes no cenário;
- $n$  é o universo de links considerados;
- $C_{aero}$  é o custo total do setor aeroviário;
- $C_{duto}$  é o custo total do setor dutoviário; e,
- $C_j$  é o custo total para perpassar o link j.

### 3.1.9. Custo Total do Cenário por 1000\*TKU

Esse indicador visa refletir o custo médio por cada tonelada-quilômetro (TKU) transportada na Camada Estratégica de Análise. Seu cálculo é feito da mesma forma que o Custo Total do Cenário, mas dividido pelo TKU total do cenário, conforme apresentado pela Equação 27. Essa conta resulta na unidade de R\$/TKU, de forma que, para melhor apresentação, o resultado é multiplicado por 1000, modificando sua unidade para R\$/1000\*TKU.

**Equação 27:** Cálculo do custo total de transportes dividido pelo TKU total do cenário

$$C_{total/tku} = \frac{(\sum_{j=1}^n C_j) + C_{aero} + C_{duto}}{TKU_{total} * 1000}$$

Onde:

- $C_{total/tku}$  é o custo total dos transportes, por 1000 TKU, no cenário;
- $n$  é o universo de links considerados;
- $TKU_{total}$  é a quantidade total de TKU produzida no cenário;
- $C_{aero}$  é o custo total do setor aeroviário;
- $C_{duto}$  é o custo total do setor dutoviário; e,
- $C_j$  é o custo total para perpassar o link  $j$ .

### 3.1.10. Custo Total do Recorte Internacional por 1000\*TKU

Da mesma forma que o indicador de Custo Total por 1000\*TKU, esse indicador mostra o custo médio por tonelada-quilômetro transportada, mas apenas para os *links* rodoviários, não urbanos e que estão simultaneamente na Camada Estratégica de Análise e na Camada para Camada Estratégica para a Integração Internacional. A forma de cálculo é idêntica ao apresentado pela Equação 27, mas considerando apenas os *links* que se encaixam nas condições supracitadas.

### 3.1.11. Valor dos desembolsos do cenário

Representa a soma de todos os custos de manutenção e todos os investimentos realizados nas infraestruturas simuladas compreendendo o período de estudo.

### 3.1.12. Custo total do Cenário sobre os Desembolsos

Esse indicador representa a razão entre o Custo Total do Cenário, referido anteriormente, e o Valor Total dos Desembolsos do Cenário. Visa indicar uma razão entre os custos de transporte e valor do tempo e o total desembolsado no período de 2021 a 2035.

### 3.1.13. Nível de Segurança em Relação ao Cenário Base

De acordo com a metodologia desenvolvida pela INFRA S.A., os trechos rodoviários recebem índices de probabilidade de acidentes que variam conforme as características do trecho, isto é, se (i) o trecho tem múltiplas faixas por sentido ou apenas uma; (ii) encontra-se em região rural ou urbana; e (iii) se o tráfego predominante é de veículos de pessoas (automóveis ou ônibus) ou veículos de cargas (pesados).

Esses índices foram calculados a partir da análise de dados dos acidentes com fatalidades coletados anualmente pela Polícia Rodoviária Federal (PRF)<sup>3</sup>. A análise levou em conta os anos entre 2017 a 2019 e a caracterização pelo tipo de via e uso do solo da região feita no momento de registro da informação no banco da PRF. Ainda, a partir da informação sobre a quilometragem do sinistro, foi mapeado um provável SNV para ele.

---

<sup>3</sup> Dados de acidentalidade em rodovias federais estão disponíveis em <https://www.gov.br/prf/pt-br/aceso-a-informacao/dados-abertos/dados-abertos-da-prf>

Assim, foram adicionadas outras duas variáveis a regressão: a predominância do tráfego e o volume médio diário anual (VMDa) de veículos obtidos por meio de informações do DNIT<sup>4</sup>.

Com todos os dados foram calculadas regressões lineares para cada perfil de rodovia. Para essas regressões a variável dependente é a quantidade de fatalidades no trecho e a variável independente é o VMDa do trecho. Assim a formulação do indicador é dada pela Equação 28.

**Equação 28:** Regressão do índice de segurança

$$Q_{ijk} = \frac{\beta_{ijk} VMDa}{C}$$

Onde:

- $Q_{ijk}$  é o uma quantidade provável de acidentes com fatalidade no segmento analisado;
- $\beta_{ijk}$  é o índice de segurança fatalidade na pista do tipo  $i$ , uso do solo  $j$  e predominância do tráfego  $k$ ;
- $C$  é a extensão do link do segmento analisado; e
- $VMDa$  é o volume médio diário anual do segmento analisado.

O resultado dessas regressões são 8 índices diferentes, caracterizando cada tipo de pista avaliado. Cabe perceber que apesar de modelos simples eles resolvem de forma eficiente a necessidade do planejamento de transportes de avaliar a segurança nas rodovias. A Tabela 2 resume os índices para cada caracterização da via.

**Tabela 2:** Índice de caracterização da via

Tipo de pista	Uso do Solo	Índice de pesados	Índice de leves
Múltipla	Rural	0,0000069975	<b>0,0000013479</b>
Múltipla	Urbano	0,0000135247	<b>0,0000104905</b>
Simples	Rural	0,0000066243	<b>0,0000023792</b>
Simples	Urbano	<b>0,0000230773</b>	<b>0,0000054801</b>

Cabe notar que vias rurais, com características semelhantes, possuem um índice de acidentalidade menor que vias urbanas, provavelmente devido a menores interferências na via em geral, como, por exemplo, pedestres, acessos e interseções. Além disso, também é perceptível que o índice de vias urbanas para um tráfego predominantemente leve, pistas simples são mais seguras que pistas múltiplas. Isso ocorre, possivelmente, pois pistas múltiplas em trechos urbanos propiciam velocidades

<sup>4</sup> Mais informações sobre os dados de VMDa podem ser consultadas em [www.dnit.gov.br/pnct](http://www.dnit.gov.br/pnct).

mais elevadas e dificultam pedestres de atravessá-la, aumentando a gravidade dos acidentes.

Uma solução mais adequada para trafegabilidade e segurança em trechos urbanos é a implantação de contornos e variantes urbanas. Elas garantem as condições de tráfego da via e diminuem a interação com a população local, reduzindo o número de transeuntes na pista.

Inicialmente deve ser avaliada a predominância do tráfego entre veículos leves e pesados e então calcular do índice de segurança para cada um dos  $n$  links rodoviários compreendidos no universo do indicador pela Equação 29 e pela **Equação 30**.

**Equação 29:** Cálculo do Índice de segurança para veículos pesados

$$IS_h = \beta_{ijk} \times \frac{VMDa}{C_h}$$

Onde:

- $IS_h$  é a quantidade estimada de acidentes no segmento h analisado;
- $\beta_{ijk}$  é o índice de segurança fatalidade na pista to tipo i, uso do solo j e predominância do tráfego k;
- $C_h$  é a extensão do link do segmento h analisado; e
- $VMDa$  é o volume medio diário anual do segmento analisado.

Após o cálculo do índice de segurança de todos os links h, calcula-se o índice de segurança geral do cenário, pelo somatório de todos os índices, como mostrado pela Equação 30.

**Equação 30:** Cálculo da quantidade estimada de acidentes

$$IS_c = \sum_{h=1}^n IS_h$$

Onde:

- $IS_c$  é a quantidade estimada de acidentes rodoviários do cenário; e,
- $IS_h$  é a quantidade provável de acidentes no segmento h analisado.

Por fim, vale destacar que esse indicador não tem uma proposta preditiva do número potencial de acidentes em um cenário, mas sim da variação desse cenário em relação a um cenário de referência. Assim ele deve ser entendido como um índice puramente comparativo, sendo necessário avaliar o número de um cenário com os demais do plano, conforme mostra

**Equação 31:** Cálculo do Índice de segurança do cenário

$$IS = \frac{IS_c}{IS_{ref}}$$

Onde:

- IS é o Índice de segurança do cenário;
- $IS_c$  é a quantidade estimada de acidentes rodoviários do cenário; e,
- $IS_{ref}$  é a quantidade estimada de acidentes rodoviários do cenário referencial.

**3.1.14. Emissões de CO<sub>2e</sub> do sistema**

Assim como para custos, foram desenvolvidos fatores de emissão de gases do efeito estufa (GEE) pelo EPL e IEMA (2019). Nesse estudo é descrito com detalhes o fluxo de obtenção desses fatores, bem como a comparação dos resultados com outras publicações para validação. Em resumo, foram coletados valores de consumo de combustível médio para cada TKU percorrido em cada modo de transporte carregando cada grupo de carga e avaliado uma emissão média a partir do consumo do combustível. Os fatores de emissão utilizados são apresentados na Tabela 3.

O indicador de emissões compreende a soma do volume de emissões de todos os *links* rodoviários (carga e passageiros), hidroviários, cabotagem e ferroviários do modelo, além de emissões aeroviárias calculadas de forma exógena. Seu cálculo segue a Equação 32, em que  $k \in (Rodoviário, Hidroviário, Cabotagem, Ferroviário, Aeroviário, Dutoviário)$  representam os modos de transporte que possuem fatores de emissão específicos para cada grupo de carga transportado, referenciado por  $w \in (GSA, GSM, OGSM, GL, CGC, CGNC)$ . A multiplicação é feita por cada link  $j \in (1, \dots, n)$ , em que  $n$  representa o universo total de links abrangidos pelo indicador. Além do quantitativo para os veículos de carga, o cálculo também é feito para os veículos rodoviários de pessoas, em que, para cada tipo  $p \in (automóvel, ônibus)$  existe um fator de emissão atrelado.

**Equação 32:** Cálculo do indicador de emissões do cenário

$$E = \sum_{j=1}^k \left( \sum_{w=1}^6 Fe_{j,w} \times TKU_{j,w} \right) + \left( \sum_{j=1}^k Fe_{j,p} \times Veh_{j,p} \times C_j \right)$$

Onde:

- $E$  é o valor de sustentabilidade do empreendimento  $i$ ;
- $k$  é o universo de links do empreendimento  $j$ ;
- $Fe_{j,w}$  é o fator de emissão do link  $j$  para o grupo de carga  $w$ ;

- $TKU_{j,w}$  é a quantidade de TKU movimentada do link  $j$  para o grupo de carga  $w$ ;
- $Fe_{j,p}$  é o fator de emissão do link  $j$  para a movimentação de pessoas;
- $\times Veh_{j,p}$  é o volume de veículos no link  $j$  para a movimentação de pessoas; e
- $C_j$  é o comprimento do link  $j$ , em km.

Os fatores de emissões para cargas foram produzidos pela durante (EPL-IEMA, 2019). Já os fatores de emissões para ônibus e automóveis foram extraídos do estudo de (Carvalho, 2011).

Tabela 3: Fatores de Emissão utilizados

Modo de transporte	Subgrupo	CGNC (GGCO <sub>2e</sub> /TKU)	CGC (GGCO <sub>2e</sub> /TKU)	GSA (GGCO <sub>2e</sub> /TKU)	OGSM (GGCO <sub>2e</sub> /TKU)	GSM (GGCO <sub>2e</sub> /TKU)	GL (GGCO <sub>2e</sub> /TKU)	AUTOMOVEIS (GGCO <sub>2e</sub> /TKU)	ONIBUS (GGCO <sub>2e</sub> /TKU)
Cabotagem	Todos os tipos	2,19E-05	1,77E-05	9,23E-06	1,01E-05	9,23E-06	9,92E-06	0	0
Ferroviário	EFVM - Métrica	6,95E-06	6,95E-06	6,95E-06	6,95E-06	6,95E-06	6,95E-06	0	0
Ferroviário	Autorizações ferroviárias	5,36E-06	5,36E-06	5,36E-06	5,36E-06	5,36E-06	5,36E-06	0	0
Ferroviário	Outras Ferrovias	8,43E-06	8,43E-06	8,43E-06	8,43E-06	8,43E-06	8,43E-06	0	0
Ferroviário	EF-151 - FNS - TNorte - Larga	7,76E-06	7,76E-06	7,76E-06	7,76E-06	7,76E-06	7,76E-06	0	0
Ferroviário	EFPO - Métrica	2,44E-05	2,44E-05	2,44E-05	2,44E-05	2,44E-05	2,44E-05	0	0
Ferroviário	FCA - Métrica,FTL - Métrica (inativa)	1,93E-05	1,93E-05	1,93E-05	1,93E-05	1,93E-05	1,93E-05	0	0
Ferroviário	FTC - Métrica	1,96E-05	1,96E-05	1,96E-05	1,96E-05	1,96E-05	1,96E-05	0	0
Ferroviário	FTL - Métrica,FCA - Métrica (inativa)	4,07E-05	4,07E-05	4,07E-05	4,07E-05	4,07E-05	4,07E-05	0	0
Ferroviário	MRS - Larga	1,07E-05	1,07E-05	1,07E-05	1,07E-05	1,07E-05	1,07E-05	0	0
Ferroviário	Outras Ferrovias Não identificadas	5,36E-06	5,36E-06	5,36E-06	5,36E-06	5,36E-06	5,36E-06	0	0
Ferroviário	Rumo - Malha Norte - Larga	9,1E-06	9,1E-06	9,1E-06	9,1E-06	9,1E-06	9,1E-06	0	0
Ferroviário	Rumo - Malha Oeste - Métrica (inativa), Rumo - Malha Oeste - Métrica	6,87E-06	6,87E-06	6,87E-06	6,87E-06	6,87E-06	6,87E-06	0	0
Ferroviário	Rumo - Malha Paulista - Larga	5,67E-05	5,67E-05	5,67E-05	5,67E-05	5,67E-05	5,67E-05	0	0
Ferroviário	Rumo - Malha Sul - Métrica,Rumo - Malha Sul - Métrica (inativa)	1,43E-05	1,43E-05	1,43E-05	1,43E-05	1,43E-05	1,43E-05	0	0
Hidroviário	Hidrovia do Sul, Hidrovia do Tietê - Paraná, Hidrovia do Tocantins, Vias navegáveis nacionais, Vias navegáveis atualmente inativas	1,34E-05	1,2E-05	4,76E-06	5,77E-06	4,76E-06	9,4E-06	0,00019	0,00128
Hidroviário	Hidrovia Paraguai - Paraná, Hidrovia do Amazonas, Hidrovia do Juruá, Hidrovia do Madeira, Hidrovia do Negro, Hidrovia do Parnaíba, Hidrovia do Solimões, Hidrovia do São Francisco, Hidrovia do Tapajós	1,99E-05	1,73E-05	1,12E-05	2,71E-05	1,12E-05	1,4E-05	0,00019	0,00128
Rodoviário	Todos os tipos	4,47E-05	4,66E-05	3,36E-05	5,79E-05	8,08E-05	4,86E-05	0,00019	0,00128

### **3.2. Indicadores Territoriais**

Os indicadores territoriais foram desenvolvidos com o objetivo de avaliar necessidades e oportunidades regionais no âmbito de um planejamento estratégico como o PNL 2035. Assim, foram desenvolvidos quatro principais indicadores territoriais:

1. Custo médio de transporte
2. Tempo médio ponderado
3. Emissões de gases estufa
4. Índice de segurança

A espacialização dos indicadores se dá pela soma das características (custo, tempo, emissões ou índice de acidentalidade) das infraestruturas individuais na escala das “Regiões Geográficas Intermediárias” definidas pelo IBGE. Após a espacialização, avalia-se as regiões que sofreram as maiores variações desses indicadores, como mostra a Figura 2 e identificam-se as regiões com a maior redução potencial (oportunidades) e os com menores variações dos índices (necessidades).

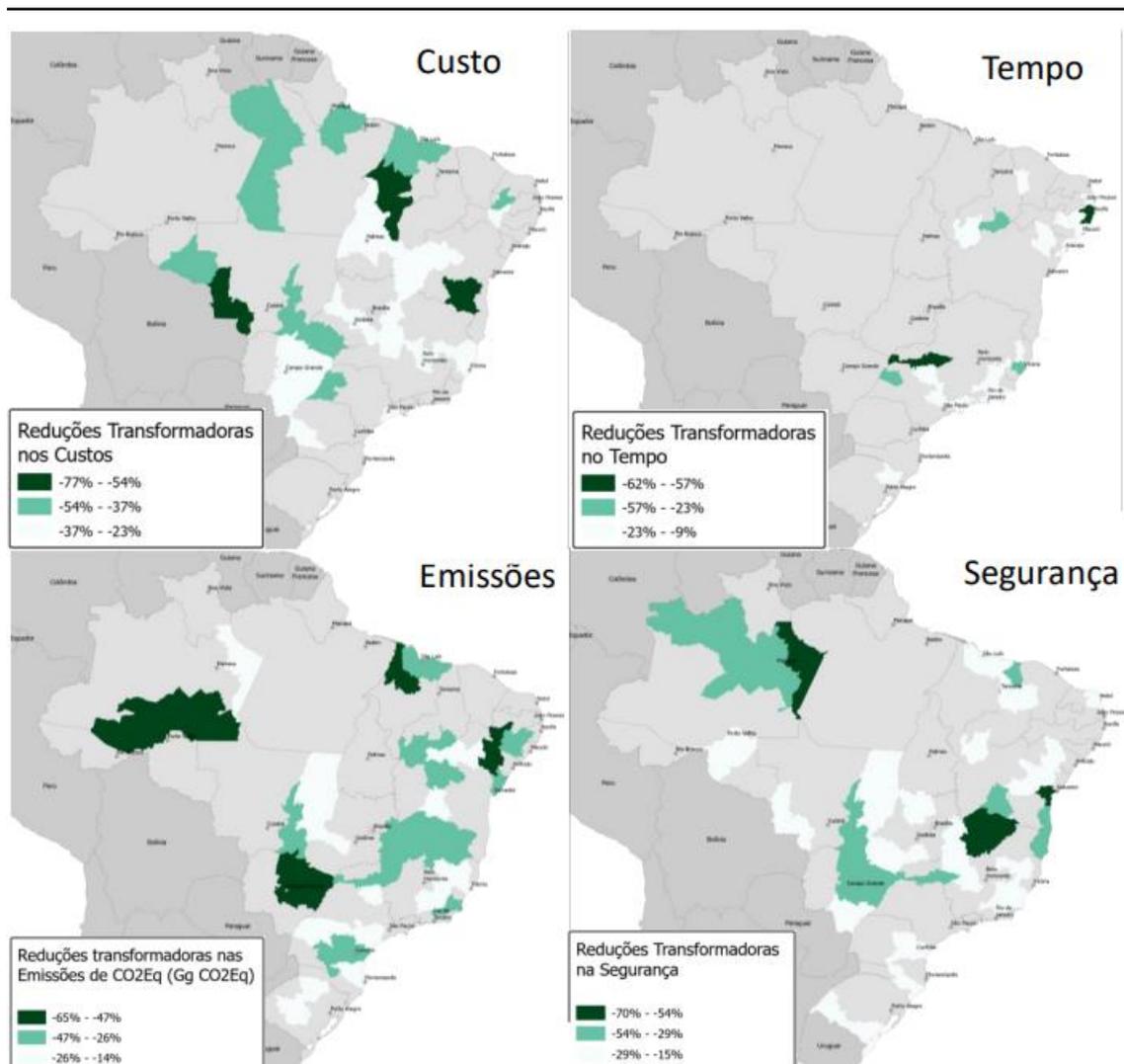


Figura 2: Exemplo de análise territorial aplicada no PNL 2035

### 3.3. Indicadores Socioambientais

Os indicadores socioambientais foram desenvolvidos pela (EPL, 2022) e publicados oficialmente como Caderno de análise socioambiental dos cenários de desenvolvimento da infraestrutura, que oferece um panorama sobre a infraestrutura e sustentabilidade. Esses indicadores se originam das Diretrizes de Sustentabilidade do Ministério da Infraestrutura, dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas, das considerações sobre as mudanças climáticas e da adaptação dos projetos no planejamento da infraestrutura de transportes. Eles objetivam subsidiar a tomada de decisão dos gestores públicos contribuindo com dados que trazem segurança técnica, ambiental, econômica e jurídica no desenvolvimento dos projetos do setor de infraestrutura de transportes.

### 3.3.1. Unidades de Conservação

A identificação das UCs foi baseada em levantamento de informações e cartografia no banco de dados espacial do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMbio) e do Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC/MMA). As UCs identificadas foram caracterizadas de acordo com sua esfera administrativa, categoria, grupo e zona de amortecimento.

Para as zonas de amortecimento foi considerado o raio mínimo de 3 km estabelecido na Resolução CONAMA 428/2010 (CONAMA, 2010), exceto para APA e RPPN, tendo em vista a impossibilidade de obtenção da informação ou não definição das zonas para todas as UCs analisadas.

No presente estudo as UCs e suas Zonas de Amortecimento (ZA) serão utilizadas como indicador socioambiental, sendo que foi considerado como interceptados os empreendimentos que cortam essas áreas, e será calculado pelas equações Equação 33 e Equação 34.

**Equação 33:** Indicador de unidades de conservação

$$IUC=100 \times \left( \frac{\text{Número de UCs Interceptadas}}{\text{Número total de UCs}} \right)$$

**Equação 34:** Indicador de zonas de amortecimento

$$IZA=100 \times \left( \frac{\text{Número de ZAs Interceptadas}}{\text{Número total de ZAs}} \right)$$

Onde:

- IUC: Indicador de Unidades de Conservação
- IZA: Indicador de Zonas de Amortecimento

O resultado desse indicador é dado em porcentagem (%), de modo que quanto menor o resultado obtido (menor quantidade de UC's e ZAs impactadas pelo projeto de infraestrutura), melhor é o resultado.

### 3.3.2. Comunidades Tradicionais

Os indicadores foram construídos de forma a fornecer uma informação direta e de análise simples ao revelar o percentual de Terras Indígenas e Territórios Quilombolas que poderão ser objeto de estudos socioambientais para fins de licenciamento ambiental em atendimento à legislação brasileira e, conseqüentemente, beneficiários de planos e programas de mitigação dos potenciais impactos ou compensação ambiental.

Assim, os indicadores têm como descritor considerar as Terras Indígenas ou Territórios Quilombolas interceptados pela distância definido pela Portaria Interministerial nº 60/2015 (Brasil, 2015) para as diferentes tipologias de empreendimentos de infraestrutura de transporte, em relação ao número total de Terras Indígenas ou de Territórios Quilombolas oficialmente reconhecidos no Brasil, conforme definições desta Portaria no Art. 2º para Terras Indígenas (item XII), a saber: relatório circunstanciado de identificação e delimitação aprovado por ato da Funai (alínea a); áreas interditada em razão da localização de índios isolados (alínea b) e demais modalidades previstas no art. 17 da Lei 6.001, de 19/12/73 (alínea c); e para os Territórios Quilombolas (item XIII): “*área ocupada por remanescentes das comunidades dos quilombos, que tenha sido reconhecida por RTID devidamente publicado.*”(Brasil, 1973)

A Tabela 4 estabelece as distâncias que delineiam o buffer em que havendo interceptação, mesmo que parcial, de Terras Indígenas ou Territórios Quilombolas, estes deverão ser considerados na sua integralidade territorial e populacional para efeito dos estudos de potenciais impactos socioambientais e respectivas medidas mitigadoras e/ou compensatórias a favor das comunidades tradicionais envolvidas. Esses limites podem ser encontrados no Anexo I da Portaria Interministerial nº 60/2015 (Brasil, 2015).

**Tabela 4:** Distâncias de terras indígenas ou quilombolas

TIPOLOGIA	DISTÂNCIA (KM)	
	AMAZÔNIA LEGAL	DEMAIS REGIÕES
Ferrovias	10 km	5 km
Rodovias	40 km	10 km
Empreendimentos pontuais (portos, mineração, termoeletricas e aeroportos)	10 km	8 km

Desta forma, os dados utilizados foram as poligonais das Terras Indígenas e dos Territórios Quilombolas obtidos junto a Funai e ao Incra, respectivamente. Os traçados das rodovias, ferrovias e hidrovias (estruturas lineares de transporte), além dos portos e aeroportos (empreendimentos pontuais) para todo o Brasil, vem da base de dados utilizada para desenvolvimento dos planos pela INFRA S.A.

A fórmula de cálculo dos Indicadores é dada pela Equação 35 e pela Equação 36.

**Equação 35:** Indicador de terras indígenas

$$ITI=100 \times \left( \frac{\text{Número de TIs Interceptadas}}{\text{Número total de TIs}} \right)$$

**Equação 36:** Indicador de comunidades quilombolas

$$ITQ=100 \times \left( \frac{\text{Número de TQs Interceptadas}}{\text{Número total de TQs}} \right)$$

Onde:

- ITI: Indicador de Terras Indígenas
- ITQ: Indicador de Terras Quilombolas

Os resultados dos indicadores, expressos em porcentagem (%), revelam que quanto menor o resultado obtido menor também será a quantidade de Terras Indígenas ou Territórios Quilombolas potencialmente impactados pelos empreendimentos em dado cenário.

### 3.3.3. Potencial Espeleológico

Diante da necessidade evidente de dados geoespacializados que pudessem aprimorar a gestão do Patrimônio Espeleológico e, principalmente, auxiliar a análise de processos de licenciamento ambiental de atividades lesivas aos ambientes cársticos, o CECAV iniciou em 2005 o desenvolvimento de metodologia para mapear áreas do território brasileiro favoráveis à ocorrência de cavernas, a partir do Mapa Geológico do Brasil, na escala 1:2.500.000, elaborado pela (CPRM, 2003)

Foram utilizadas as cinco classes de grau de potencialidade anteriormente estabelecidas (JANSEN, 2011) “Muito Alto”; “Alto”; “Médio”; “Baixo”; e “Ocorrência Improvável”. Para cada classe foram agrupados os tipos de rochas, ponderando seus aspectos e respeitando a frequência de ocorrência de cavidades

Como resultado, obteve-se que 78,4% das cavidades estão localizadas em áreas com graus de potencialidade de ocorrência Muito Alto e Alto, ou seja, desenvolvidas basicamente em rochas carbonáticas e em formações ferríferas; 12,8% em áreas com grau de potencialidade Médio, englobando, em especial, os arenitos e quartzitos, com vários registros de ocorrência em todo o Brasil; e 8,7% do total em locais de Baixa potencialidade e Ocorrência Improvável. O Quadro 1 caracteriza, conforme a litologia, o grau de potencialidade de ocorrência de cavernas no Brasil:

**Quadro 1:** Grau de potencialidade conforme litologia

LITOTIPO	GRAU DE POTENCIALIDADE
Calcário, Dolomito, Evaporito, Metacalcário, Formação ferrífera bandada, Itabirito e Jaspilito.	Muito Alto
Calcrete, Carbonatito, Mármore e Marga.	Alto
Arenito, Conglomerado, Filito, Folhelho, Fosforito, Grauvaca, Metaconglomerado, Metapelito, Metassiltito, Micaxisto, Milonito, Quartzito, Pelito, Riolito, Ritmito, Rocha calci-silicática, Siltito e Xisto.	Médio

LITOTIPO	GRAU DE POTENCIALIDADE
Anortosito, Arcóseo, Augengnaise, Basalto, Charnockito, Diabasio, Diamictito, Enderbitto, Gabro, Gnaise, Granito, Granitóide, Granodiorito, Hornfels, Kinzigito, Komatito, Laterita, Metachert, Migmatito, Monzogranito, Olivina gabro, Ortoanfíbrolito, Sienito, Sienogranito, Tonalito, Trondhjemito, entre outros litotipos.	Baixo
Aluvião, Areia, Argila, Cascalho, Lamito, Linhito, Turfa e outros sedimentos.	Ocorrência Improvável

O indicador ambiental para o Potencial Espeleológico foi estruturado com base nos dados do Mapa de Potencialidade de Cavernas no Brasil do Cadastro Nacional e Informações Espeleológicas (CANIE), considerando os potenciais “Muito Alto”, “Alto”, “Médio”, “Baixo” e “Ocorrência Improvável” de ocorrência de cavidades naturais. O recorte levou em consideração os empreendimentos do PNL, para cada cenário estudado, e a área de influência de 250 metros estabelecida na Equação 37 pelo Conama (2004).

**Equação 37:** Indicador de Potencial Espeleológico

$$IPE=100 \times \left( \frac{\text{Área interceptada pelo empreendimento para cada potencialidade}}{\text{Área total da potencialidade}} \right)$$

Onde:

- IPE: Indicador de Potencial Espeleológico

O resultado desse indicador é dado em porcentagem (%), e ele é analisado por duas perspectivas: quanto menor a área impactada, independente da potencialidade, melhor o indicador e considerando as potencialidades “Muito Alto” (MA), “Alto” (A), “Médio” (M), “Baixo” (B) e “Ocorrência Improvável” (OI) de ocorrência de cavidades naturais, o maior impacto poderá ocorrer naquelas áreas de “Muito Alto” e diminuirá nas áreas de “Ocorrência Improvável”. A Figura 3 exemplifica essas perspectivas de análise;



**Figura 3:** Perspectivas de análise do indicador espeleológico

### 3.3.4. Potencial Arqueológico

O cadastro nacional de sítios arqueológicos realizado pelo IPHAN, como uma forma de dar publicidade aos patrimônios arqueológicos, vem sendo atualizado de forma constante pelo órgão, abrangendo todos dados dos sítios arqueológicos identificados provenientes de estudos e prospecções arqueológicas, material bibliográfico e trabalhos de campo realizados. A partir de 2010, esse cadastro recebeu um número significativo de registros de sítios arqueológicos, provenientes de estudos científicos ligados a processos de licenciamento ambiental federal. Assim, atualmente, o IPHAN disponibilizou mais de 24 mil registros em sua base de dados.

Contudo, o banco de dados do IPHAN apenas registra o ponto central dos sítios cadastrados e não representa a área de influência real desses sítios, para tanto, a fim de criar o indicativo dos sítios arqueológicos, será utilizado uma metodologia baseada em uma distância do ponto central determinada por exemplos etnográficos e históricos dentro de uma hipótese aplicável de movimentação dos povos originais, adotando um raio de 5km para a análise das áreas dos sítios arqueológicos.

No presente estudo, a identificação e o mapeamento dos bens arqueológicos serão utilizados como um indicador de uma maior ou menor interferência dos empreendimentos analisados ao patrimônio cultural nacional, que será calculado pela Equação 38.

**Equação 38 :** Indicador de bens arqueológicos

$$IBA=100 \times \left( \frac{\text{Bens culturais interceptados}}{\text{Total de bens culturais interceptados}} \right)$$

Sendo que o resultado desse indicador é dado em porcentagem (%), de modo que quanto menor o resultado obtido (menor quantidade de bens arqueológicos impactados pelo projeto de infraestrutura), melhor é o resultado para esse.

Contudo, o indicador pode ser analisado também por outra perspectiva, quanto maior a interferência dos empreendimentos em áreas com potencial arqueológico, maior o número de sítios arqueológicos que serão identificados e registrados pelo IPHAN, o que enriquece e muito o conhecimento nacional sobre os bens culturais.

### **3.3.5. Gases de Efeito Estufa**

A metodologia de cálculo para esse indicador é a mesma identificada na seção 0 no indicador de Emissões de CO<sub>2</sub> do Sistema.

## **4. Indicadores Setoriais**

O conjunto de indicadores de análise de nível tático é caracterizado por métodos e modelos que permitem uma análise especializada setorial ou por unidades menores (análises por infraestrutura, unidades da federação etc.). Diferentemente dos indicadores gerais como os utilizados no Plano Nacional de Logística 2035 (PNL 2035) para uma visão estratégica e de escopo nacional, os indicadores táticos visam demonstrar uma visão mais específica e de menor abrangência para o sistema de transportes.

Os indicadores táticos podem ser divididos em dois grupos, sendo eles os indicadores de rede e os indicadores específicos. O primeiro visa avaliar os setores individualmente e as infraestruturas componentes deles. Já o segundo grupo é focado nas ações daquele setor, fazendo parte do índice de benefícios generalizados (IBG), um dos componentes do índice de classificações (IC). O escopo desse relatório é de descrever e explicar os indicadores de rede dentro do nível tático, ou chamados de indicadores setoriais. Já os indicadores específicos serão abordados na seção seguinte.

Para uma análise de uma rede de transportes multimodal, os indicadores táticos podem ou não terem métodos ou modelos aplicáveis a todos os setores de forma igual, mas em alguns casos as especificidades de cada setor de transportes necessitam de ajustes para que os mesmos resultados ou as mesmas propriedades sejam avaliadas independentemente de qual modo está sendo avaliado. Nesse sentido as seções seguintes terão suas explicações divididas entre os quatro setores considerados.

### **4.1. Hidroviário**

#### **4.1.1. Componentes**

##### **4.1.1.1. Número de regiões hidrográficas**

Esse indicador contabiliza o número de regiões hidrográficas mapeadas pelo IBGE. Sendo um número que não apresenta variação de cenário para cenário.

##### **4.1.1.2. Números de hidrovias nacionais**

Esse indicador contabiliza o número de hidrovias nacionais (HNs) de acordo com o DNIT. Sendo um número que não apresenta variação de cenário para cenário.

##### **4.1.1.3. Número de trechos táticos hidroviários**

Esse indicador contabiliza o número de trechos táticos hidroviários mapeados. Sendo um número que não apresenta variação de cenário para cenário.

#### 4.1.1.4. Extensão total da malha hidroviária potencialmente navegável

Esse indicador é calculado somando a extensão de todos os trechos hidroviários mapeados na base de dados cadastral, representando a abrangência completa da rede hidroviária. Sendo um número que não apresenta variação de cenário para cenário.

#### 4.1.1.5. Extensão de vias economicamente navegadas

Dentro dos mapeamentos dos trechos hidroviários, um dos atributos é a presença dele no mapeamento das VEM (Vias economicamente navegadas), sendo apenas um campo booleano. São filtrados os trechos com a marcação de “true” e somadas as extensões desses. Para os cenários futuros, são selecionados os links hidroviários em que houve alocação de transportes de cargas e somadas as extensões desses, conforme apresentado pela Equação 39.

**Equação 39:** Extensão de vias economicamente navegadas

$$Ext_{VEN} = \sum_{j=1}^u Ext_{VEN_j}$$

Onde:

- $Ext_{VEN}$  é a extensão total dos trechos hidroviários navegados economicamente;
- $u$  é o universo de trechos hidroviários navegados economicamente
- $Ext_{VEN_j}$  é a extensão do trecho hidroviário  $j$  marcado como sendo navegado economicamente.

#### 4.1.1.6. Extensão da malha hidroviária tática

Na base de dados de trechos hidroviários, existe a indicação de quais trechos são parte de um trecho tático (e a quais eles pertencem). São então filtrados os que estão mapeados e somadas suas extensões. Sendo um número que não apresenta variação de cenário para cenário, o indicador é calculado conforme a fórmula abaixo:

**Equação 40:** Extensão da malha hidroviária tática

$$\sum Ext\_Táticos$$

Onde:

- $Ext\_Táticos$  é a extensão dos trechos hidroviários que fazem parte de algum trecho tático hidroviário

#### 4.1.1.7. Extensão de hidrovias concedidas

Dentro do mapeamento de trechos hidroviários, existe um campo booleano que indica se aquele trecho é pertencente a uma concessão ou não. Para retirar o indicador esses trechos são filtrados e suas extensões são formadas. Para cenários futuros, um dos impactos modelados das ações para o setor hidroviário declara que o trecho é transformado em concedido. Essa transformação acontece alterando a coluna da tabela base que declara se aquele trecho faz parte ou não de uma concessão. Para o cálculo da extensão, portanto, são filtrados esses trechos indicados.

**Equação 41:** Extensão de hidrovias concedidas

$$\sum \text{Ext\_Concedidas}$$

Onde:

- *Ext\_Táticos* é a extensão dos trechos hidroviários que fazem parte de algum trecho hidroviário concedido.

#### 4.1.1.8. Número de interferências mapeadas

Na base de dados do setor hidroviário existe uma tabela que armazena as interferências naturais mapeadas. Essas interferências são então contadas para a obtenção do indicador. Para os cenários futuros, um dos impactos modelados de ações hidroviárias é a retirada de alguma interferência natural mapeada naquele trecho. Quando uma ação aponta que a interferência é retirada, o seu atributo de geometria presente na tabela é alterado de forma que naquele cenário a interferência não é mais mapeada. Portanto, a fórmula é descrita abaixo:

**Equação 42:** Número de interferências mapeadas

$$\sum \text{Número de Interferências Mapeadas}$$

Onde:

- Interferências Mapeadas considera apenas as interferências em que seu atributo de geometria não está nulo.

#### 4.1.1.9. Número de Barragens Existentes

No mapeamento das barragens existentes no Brasil, foram consideradas não apenas as atuais como também as planejadas. Sendo assim um indicador que visa enumerar as barragens consideradas no plano. Dessa forma, é um valor que não se altera a depender do cenário. A fórmula segue abaixo:

---

**Equação 43:** Número de barragens existentes

$$\sum \text{Número de barragens existentes}$$

#### 4.1.1.10. Número de Eclusas Existentes

Similarmente ao indicador do número de barragens existentes, o número de eclusas existentes considera não só as atuais como as planejadas. Sendo um número que não apresenta variação de cenário para cenário, o indicador é calculado conforme a fórmula abaixo:

**Equação 44:** Número de eclusas existentes

$$\sum \text{Número de eclusas existentes}$$

#### 4.1.1.11. Número de Eclusas em Operação

Para esse indicador, existe um atributo dentro da base de dados que identifica a situação da infraestrutura, sendo ele dividido em Planejado, Em Obras, Em Operação, Desativado e Não Operacional. Para as eclusas são filtradas aquelas marcadas com o “Em Operação” e contadas. Para os cenários futuros são identificadas as ações que constroem ou colocam em operação eclusas e a base de dados é modificada para aquele cenário, sendo adicionadas àquelas do cenário base. A fórmula segue abaixo:

**Equação 45:** Número de eclusas em operação

$$\sum \text{Número de Eclusas em Operação}$$

Onde:

- O Número de eclusas em operação considera aquelas marcadas como em operação no cadastro e as adicionadas por alguma ação em cenários futuros.

#### 4.1.1.12. Número de Eclusas fora de Operação

O método é similar ao indicador do número de eclusas em operação, sendo filtradas aquelas marcadas como “Não Operacional” ou “Desativadas”. Para os cenários futuros, analisamos quais eclusas que se encaixam nesses status não são colocadas em operação por alguma ação, e, portanto, mantêm seu estado cadastral. A fórmula segue abaixo:

**Equação 46:** Número de eclusas fora de operação

$$\sum \text{Número de Eclusas fora de Operação}$$

Onde:

Número de eclusas fora de operação consideram as eclusas marcadas como “Não Operacional” e “Desativadas”.

#### 4.1.1.13. Número de Eclusas Planejadas

Também de forma similar ao número de eclusas em operação, são filtradas as eclusas marcadas como “Planejadas” e elas são contadas. Para os cenários futuros, analisamos quais eclusas planejadas não são colocadas em operação por alguma ação, e, portanto, mantêm seu estado cadastral. A fórmula segue abaixo:

**Equação 47:** Número de eclusas planejadas

$$\sum \text{Número de Eclusas planejadas}$$

Onde:

- Número de eclusas planejadas consideram as eclusas marcadas como “Planejadas”

#### 4.1.2. Propriedades

##### 4.1.2.1. Saturação das vias

Para o cálculo de saturação hidroviária, primeiramente retiramos do resultado da simulação de cada cenário as informações de carregamento em veículos equivalentes (veh) e de capacidade para cada link hidroviário e a extensão deles. Após isso, o valor do veh é dividido pela capacidade para obtermos uma saturação daquele link, conforme a fórmula a seguir:

**Equação 48:** Saturação das vias

$$\text{Satur}_i = \frac{\text{veh}_i}{\text{capacidade}_i}$$

Onde:

- $\text{veh}_i$  é o carregamento do link em veículos equivalentes e  $\text{capacidade}_i$  é a capacidade (também em veículos equivalentes) daquele link.

Para obtermos o valor final calculamos a média ponderada da saturação pela extensão dos links. Segue fórmula abaixo:

**Equação 49:** Saturação hidroviária

$$\text{Saturação Hidroviária} = \frac{(\sum_1^n \text{Satur}_i \times \sum_1^n \text{Ext}_i)}{\sum_1^n \text{Ext}_i}$$

Onde:

$\text{Satur}_i$  é a saturação do link e  $\text{Ext}_i$  é a extensão do link.

**4.1.2.2. Extensão de vias saturadas**

Para obtermos o valor da extensão saturada precisamos classificar quais links são considerados saturados e quais são considerados em funcionamento normal. Para isso, classificamos que o nível de serviço para que a via não seja considerada saturada é de 0,8. Dessa forma, todos os links que têm a saturação calculada maior ou igual a 0,8 é classificado como saturado. Após isso, são somadas as extensões dos links conforme fórmula abaixo:

**Equação 50:** Extensão de vias saturadas

$$\sum \text{Ext\_Satur}$$

Onde:

- $\text{Ext\_Satur}$  é a extensão dos links classificados como saturados.

**4.1.2.3. Capacidade nominal**

O modelo de cálculo da capacidade hidroviária é detalhado em relatório a parte, sendo baseado nas capacidades dos comboios e nas informações de navegabilidade da hidrovia.



O conteúdo desta seção possui maior detalhamento em volume específico.

Para obter-se esse indicador, são somados os valores resultantes para cada cenário considerado conforme a fórmula abaixo:

**Equação 51:** Capacidade dos trechos hidroviários

$$\sum \text{Capacidade dos Trechos Hidroviários}$$

**4.1.2.4. Extensão navegável**

Para o diagnóstico, a extensão navegável considera os trechos declarados como operacionais, sendo suas extensões somadas para obter o valor total. Para cenários

futuros, são identificados os trechos que têm alguma ação os afetando que tem como impacto a transformação de um trecho não operacional em um trecho operacional. Esses trechos têm o seu atributo de situação alterado para operacional, sendo então suas extensões somadas conforme a fórmula abaixo:

**Equação 52:** Extensão navegável

$$\sum \text{Ext\_Oper}$$

Onde:

- *Ext\_Oper* é a extensão dos trechos marcados como operacionais.

#### 4.1.2.5. Disponibilidade anual da infraestrutura

Para o cálculo desse indicador é feita uma média ponderada dos dias disponíveis para navegação (um dos atributos presentes no cadastro dos trechos hidroviários) pela extensão dos trechos. Em seguida, essa média ponderada é dividida por 365 para obtenção de um valor em percentual. Para cenários futuros, esse atributo de dias navegáveis pode ser alterado por uma ação via um impacto, portanto, a base cadastral alterada é calculada da mesma forma. Segue abaixo a fórmula:

**Equação 53:** Disponibilidade anual da infraestrutura

$$\text{Disponibilidade anual da infraestrutura} = \frac{(\sum_1^n \text{Dias Navegáveis} \times \sum_1^n \text{Extensão do Trecho})}{\sum_1^n \text{Extensão do Trecho} \times 365}$$

#### 4.1.2.6. Disponibilidade diária da malha hidroviária ativa

Similarmente ao indicador de disponibilidade anual, esse número é calculado aplicando uma média ponderada entre o número de horas em que é possível navegar no trecho pela extensão deles. No entanto, são considerados apenas os trechos marcados com a situação operacional. Para cenários futuros, são analisados quais impactos transformam o trecho em operacional, além daqueles que alteram (em trechos já operacionais) a disponibilidade diária de navegação. Por último, esse valor é dividido por 24 para obtenção de um percentual. Segue abaixo a fórmula:

**Equação 54:** Disponibilidade diária da malha hidroviária ativa

$$\text{Disponibilidade diária da infraestrutura ativa} = \frac{(\sum_1^n \text{Horas\_Oper} \times \sum_1^n \text{Ext\_Oper})}{\sum_1^n \text{Ext\_Oper} \times 24}$$

Onde:

- *Horas\_Oper* é o número de horas em que é possível navegar durante o dia; e
- *Ext\_Oper* é a extensão dos trechos marcados como operacionais.

#### 4.1.2.7. Disponibilidade diária da malha hidroviária completa

O método para o cálculo desse indicador é semelhante ao anterior, com a única diferença em que são considerados todos os trechos hidroviários mapeados, e não apenas os ativos. Segue abaixo a fórmula adaptada:

**Equação 55:** Disponibilidade diária da malha hidroviária completa

$$\text{Disponibilidade diária da infraestrutura} = \frac{(\sum_1^n \text{Horas Navegáveis} \times \sum_1^n \text{Extensão do Trecho})}{\sum_1^n \text{Extensão do Trecho} \times 24}$$

#### 4.1.2.8. Custo hidroviário de cargas

A metodologia do cálculo de custos é na seção 3.1.8 no indicador de Custo Total de Transporte. Para esse indicador, são somados os valores de custo de cada *link* hidroviário para obtenção do valor, conforme fórmula abaixo:

**Equação 56:** Custo hidroviário de cargas

$$\sum \text{Custo dos Links Hidroviários}$$

#### 4.1.2.9. Custo comparativo em relação ao modo rodoviário

Esse indicador visa comparar o valor de custo hidroviário com o modo rodoviário, dessa forma, o cálculo é feito dividindo o total do custo hidroviário no cenário pelo total do custo hidroviário no mesmo cenário, conforme a equação abaixo:

**Equação 57:** Custo comparativo em relação ao modo rodoviário

$$\frac{\sum \text{Custo dos Links Hidroviários}}{\sum \text{Custo dos Links Rodoviários}}$$

#### 4.1.2.10. Participação na matriz TKU

O cálculo desse indicador consiste na divisão do carregamento em TKU do setor hidroviário pelo TKU total do sistema, conforme equação abaixo:

**Equação 58:** Participação do modo hidroviário na matriz TKU

$$\frac{\sum \text{TKU dos Links Hidroviários}}{\sum \text{TKU Total}}$$

Onde:

- *TKU Total* é a soma do carregamento em TKU de todos os setores (Cabotagem, Hidroviário, Rodoviário, Ferroviário, Aeroviário, Dutoviário e Longo Curso)

#### 4.1.2.11. Participação na matriz VKU

Similarmente à participação na matriz TKU, o cálculo desse indicador consiste na divisão do carregamento em VKU do setor hidroviário pelo VKU total do sistema, conforme equação abaixo:

**Equação 59:** Participação do modo hidroviário na matriz VKU

$$\frac{\sum \text{VKU dos Links Hidroviários}}{\sum \text{VKU Total}}$$

Onde:

*VKU Total* é a soma do carregamento em VKU de todos os setores (Cabotagem, Hidroviário, Rodoviário, Ferroviário, Aeroviário, Dutoviário e Longo Curso)

#### 4.1.2.12. Tempo médio ponderado para cargas

A explicação detalhada desse indicador pode ser encontrada na seção 3.1.3 no indicador de mesmo nome.

#### 4.1.2.13. Tempo médio ponderado para pessoas

A explicação detalhada desse indicador pode ser encontrada na seção 3.1.7 no indicador de mesmo nome.

#### 4.1.2.14. Variação relativa do tempo médio ponderado para cargas em relação ao tempo de fluxo livre

Esse indicador é calculado dividindo o tempo ponderado para cargas em relação ao tempo de fluxo livre, conforme fórmula abaixo:

**Equação 60:** Variação relativa do tempo médio ponderado para cargas em relação ao tempo de fluxo livre

$$\text{Var}_{\text{rel}} = \frac{\text{tmpc}}{\text{tmfl}}$$

Onde:

- *tmpc* é o tempo médio ponderado para cargas e *tmfl* é o tempo médio de fluxo livre

#### 4.1.2.15. Tempo médio ponderado no recorte da defesa nacional

A explicação detalhada desse indicador pode ser encontrada na seção 3.1.6 no indicador de mesmo nome.

#### 4.1.2.16. Participação do modo hidroviário na matriz energética de transportes

Para esse indicador, o valor das emissões em Gg de CO<sub>2</sub> equivalente do modo hidroviário é dividido pela soma das emissões de todos os modos, conforme fórmula abaixo:

**Equação 61:** Participação do modo hidroviário na matriz energética de transportes

$$\frac{\text{Emissões Hidroviárias}}{\text{Emissões Totais}}$$

### 4.1.3. Resultados Diretos

#### 4.1.3.1. Carga transportada – Toneladas

Nesse indicador, são somados os valores de carregamento dos *links* hidroviários em toneladas para o cenário, conforme fórmula abaixo:

**Equação 62:** Carga transportada – toneladas

$$\sum \text{Toneladas carregadas pelos links hidroviários}$$

#### 4.1.3.2. Carga transportada – TKU

Nesse indicador, são somados os valores de carregamento dos *links* hidroviários em TKU para o cenário, conforme fórmula abaixo:

**Equação 63:** Carga transportada – TKU

$$\sum \text{TKU carregado pelos links hidroviários}$$

#### 4.1.3.3. Valores transportados

Nesse indicador, são somados os valores de carregamento dos *links* hidroviários em VKU para o cenário, conforme fórmula abaixo:

**Equação 64:** Valores transportados

$$\sum \text{VKU carregado pelos links hidroviários}$$

#### 4.1.3.4. Eficiência energética – Emissões

Nesse indicador, são somados os valores de emissões em Gg de CO<sub>2</sub> equivalente dos *links* hidroviários para o cenário, conforme fórmula abaixo:

**Equação 65:** Eficiência energética

$$\sum \text{Emissões dos links hidroviários}$$

#### 4.1.4. Resultados Indiretos

##### 4.1.4.1. Rotas internacionais com transporte hidroviário

Para o indicador de número de rotas é utilizado uma funcionalidade do software de simulação VISUM em que é possível identificar os caminhos utilizados para alocação da matriz. Nessa funcionalidade, chamada *flowbundle*, é possível identificar para um par O/D AB todos os caminhos (ou rotas), identificando cada um dos *links* passante, em que a carga é transportada. Com essa extração, é possível calcular o número total de rotas que utilizam cada modo. Dessa forma, contabilizando conforme fórmula abaixo, temos o número total de rotas que utilizam o transporte hidroviário e que passam por *links* localizados em zonas internacionais.

**Equação 66:** Rotas hidroviárias internacionais

$$\sum \text{Rotas hidroviárias internacionais}$$

##### 4.1.4.2. Participação do modo hidroviário na matriz de rotas internacionais

Utilizando o mesmo método descrito para o indicador de número de rotas internacionais para o modo hidroviário, é possível calcular esse mesmo indicador para o sistema como um todo. Dessa forma, é dividido o valor do modo hidroviário pelo total, conforme fórmula abaixo:

**Equação 67:** Participação do modo hidroviário na matriz de rotas internacionais

$$\frac{\sum \text{Rotas hidroviárias internacionais}}{\sum \text{Rotas internacionais}}$$

##### 4.1.4.3. Municípios atendidos por hidrovias

Esse indicador visa contar quantos municípios são atendidos pela hidrovias (ou seja, que topologicamente são tocados pelo rio) além de contabilizar qual o percentual desses municípios tem portos operacionais. Essas duas análises são combinadas para identificar não só os municípios fisicamente impactados, mas aqueles em que é possível realizar transbordo de cargas ou pessoas.

Primeiramente, são identificados os portos ativos para o cenário especificado. Essa condição de ativo ou não leva em consideração as ações que alteram os atributos presentes na tabela cadastral de instalações portuárias, transformando-as em operacionais ou não. Em seguida, o mesmo processo é feito para os trechos hidroviários, identificando a lista de trechos em que é possível transporte de cargas para aquele cenário.

Em seguida, com a lista consolidada de portos e trechos ativos. Ambos os objetos têm informações geográficas atreladas a eles, sendo possível uma série de junções espaciais para calcular as interseções. Primeiramente é calculada a interseção entre municípios e trechos hidroviários. Para isso, são utilizados dois parâmetros: ou o trecho toca o município de alguma forma ou o trecho está a um raio de 0,05° do contorno do município. Esse primeiro número é calculado para termos a primeira variável: municípios que são interseccionados por hidrovias. Em seguida, checamos o cadastro portuário para identificar em que municípios estão localizadas cada instalação portuária, contando quantos distintos são. Aplicamos então a fórmula abaixo:

**Equação 68:** Municípios atendidos por hidrovia

$$\text{Municípios Atendidos por Hidrovia} = \frac{\sum \text{Municípios que tocam trechos hidroviários}}{\sum \text{Municípios com portos ativos}}$$

#### 4.1.4.4. Aumento da extensão navegável da malha hidroviária

Nesse indicador, o resultado do indicador de Extensão Navegável é subtraído do indicador de Extensão das vias economicamente navegadas, conforme fórmula abaixo:

**Equação 69:** Aumento da extensão navegável na malha hidroviária

$$\text{Aumento da extensão navegável} = \sum \text{Ext\_Oper} - \sum \text{Ext\_VEN}$$

Onde:

- *Ext\_Oper* é a extensão navegável no cenário; e
- *Ext\_VEN* é a extensão navegada no diagnóstico.

## 4.2. Ferroviário

### 4.2.1. Componentes

#### 4.2.1.1. Extensão total da malha ferroviária brasileira

Esse indicador é calculado somando a extensão de todos os trechos ferroviários mapeados na base de dados cadastral, representando a abrangência completa da rede

ferroviária. Sendo um número que não apresenta variação de cenário para cenário, o indicador é calculado conforme a fórmula abaixo:

**Equação 70:** Extensão da malha ferroviária

$$\sum \text{Extensão dos trechos ferroviários}$$

#### 4.2.1.2. Extensão total da malha ferroviária brasileira operacional

Para o diagnóstico esse indicador considera as informações da declaração de rede onde os trechos que apresentam capacidade instalada e vinculada maior do que zero são considerados operacionais. Para cenários futuros, são identificadas as ações que implantam ou deixam operacionais os trechos marcados como não operacionais. Por fim, são somadas as extensões dos trechos operacionais para aquele cenário, conforme fórmula abaixo:

**Equação 71:** Extensão da malha ferroviária operacional

$$\sum \text{Ext\_Oper}$$

Onde:

- *Ext\_Oper* é a extensão dos trechos marcados como operacionais.

#### 4.2.1.3. Extensão total da malha ferroviária por tipo de bitola

No cadastro ferroviário, um dos atributos presentes é a classificação da bitola característica daquele trecho. Sendo elas os seguintes tipos: larga, métrica, mista e *standard*. Para o cálculo do indicador então, essas bitolas são agrupadas e somadas as extensões dos trechos correspondentes a cada uma.

#### 4.2.1.4. Extensão total da malha ferroviária por tipo de sistema de sinalização

No cadastro ferroviário, um dos atributos presentes é a classificação da sinalização característica daquele trecho. Sendo elas os seguintes tipos: Não sinalizado, ABS, ATC, CBTC, CTC, TWE. Para o cálculo do indicador então, esses sistemas são agrupados e somadas as extensões dos trechos correspondentes a cada um. Esse indicador só é possível ser calculado para o diagnóstico, levando em consideração que não há impacto de ações que alterem esse atributo e não é possível modelar para o futuro.

#### 4.2.1.5. Extensão total da malha ferroviária por tipo de sistema de controle operacional

No cadastro ferroviário, um dos atributos presentes é a classificação do tipo de controle operacional característico daquele trecho. Sendo eles os seguintes tipos: Local ou CCO.

Para o cálculo do indicador então, esses tipos são agrupados e somadas as extensões dos trechos correspondentes a cada um. Esse indicador só é possível ser calculado para o diagnóstico, levando em consideração que não há impacto de ações que alterem esse atributo e não é possível modelar para o futuro.

#### 4.2.1.6. Quantidade de pátios ferroviários operacionais

Para esse indicador, são contabilizados os pátios ferroviários marcados como operacionais no sistema. Essa caracterização, para cenários futuros, depende da existência de ações que tenham como impacto alterar a capacidade do pátio de zero para maior do que zero. Com essa alteração, o pátio passa a ser classificado como operacional e são contabilizados para obtenção do indicador conforme fórmula abaixo:

**Equação 72:** Quantidade de pátios ferroviários operacionais

$$\sum \text{Quantidade de pátios operacionais}$$

#### 4.2.1.7. Quantidade de pátios de transbordo de cargas

Para a contabilização dos pátios de transbordo de carga são identificados aqueles em que há um terminal atrelado a ele. Na estrutura do banco de dados cada terminal tem um pátio ao qual ele faz parte. Esses pátios são então contabilizados para a obtenção do indicador. Para cenários futuros, a existência de ações que implantem um pátio de transbordo de cargas impacta o aumento desse número, sendo assim contabilizados conforme a fórmula abaixo:

**Equação 73:** Quantidade de pátios de transbordo de carga

$$\sum \text{Quantidade de Pátios de Transbordo de cargas}$$

#### 4.2.1.8. Capacidade dos pátios de transbordo de carga

A capacidade de um pátio ferroviário é a soma das capacidades de cada terminal. Essa capacidade é calculada de forma diferente dependendo do cenário. Para o diagnóstico, as capacidades dos terminais são cadastradas em toneladas úteis por dia. Esse valor é então multiplicado por 365 para obtenção de uma capacidade anual, conforme a fórmula abaixo:

**Equação 74:** Capacidade anual dos pátios de transbordo de carga

$$\text{Capacidade Terminal} = \text{Toneladas úteis dias} \times 365$$

Esse valor da capacidade é agregado para cada pátios. Para pátios que recebem ações, suas capacidades após o recebimento da obra ou empreendimento é declarada no

momento do impacto. A fórmula da capacidade dos pátios de transbordo de carga fica então dessa forma:

**Equação 75:** Capacidade do pátio de transbordo de carga

$$\text{Capacidade Pátio} = \sum_{1}^n \text{Capacidade Terminal}$$

#### 4.2.1.9. Quantidade de terminais de transbordo de cargas

Esse indicador contabiliza o número total de terminais (existentes e planejados) presentes na base cadastral. Sendo um número que não apresenta variação de cenário para cenário, o indicador é calculado conforme a fórmula abaixo:

**Equação 76:** Quantidade de terminais de transbordo de cargas

$$\sum \text{Número de Terminais de Transbordo de cargas}$$

#### 4.2.1.10. Quantidade de pátios de transbordo de carga por extensão de via

Para obtenção desse indicador, é calculado uma média ponderada da quantidade de pátios de transbordo de cargas por ferrovia em relação a sua extensão total. A equação abaixo representa o cálculo:

**Equação 77:** Quantidade de pátios de transbordo de carga por extensão de via

$$\frac{\sum_{1}^n \text{Quantidade de Pátios} \times \sum_{1}^n \text{Extensão da Ferrovia}}{\sum_{1}^n \text{Extensão da Ferrovia}}$$

### 4.2.2. Propriedades

#### 4.2.2.1. Participação do modo ferroviário na matriz de transporte de TKU

O cálculo desse indicador consiste na divisão do carregamento em TKU do setor ferroviário pelo TKU total do sistema, conforme equação abaixo:

**Equação 78:** Participação do modo ferroviário na matriz de transportes de TKU

$$\frac{\sum \text{TKU dos Links Ferroviários}}{\sum \text{TKU Total}}$$

Onde:

- *TKU Total* é a soma do carregamento em TKU de todos os setores (Cabotagem, Hidroviário, Rodoviário, Ferroviário, Aeroviário, Dutoviário e Longo Curso)

#### 4.2.2.2. Participação do modo ferroviário na matriz de transporte de VKU

O cálculo desse indicador consiste na divisão do carregamento em VKU do setor ferroviário pelo VKU total do sistema, conforme equação abaixo:

**Equação 79:** Participação do modo ferroviário na matriz de transporte de VKU

$$\frac{\sum \text{VKU dos Links Ferroviários}}{\sum \text{VKU Total}}$$

Onde:

- *VKU Total* é a soma do carregamento em VKU de todos os setores (Cabotagem, Hidroviário, Rodoviário, Ferroviário, Aeroviário, Dutoviário e Longo Curso)

#### 4.2.2.3. Custo total por unidade de transporte movimentada

Esse indicador visa medir a o custo médio de movimentação de um TKU de carga para o modo ferroviário. Para isso, portanto, o valor do custo total é dividido pela movimentação em TKU, obtendo um valor em R\$/TKU. Segue abaixo a fórmula:

**Equação 80:** Custo total por unidade de transporte movimentada

$$\frac{\sum \text{Custo dos links ferroviários}}{\sum \text{TKU dos links ferroviários}}$$

#### 4.2.2.4. Tempo médio ponderado dos fluxos

A explicação detalhada desse indicador pode ser na seção 3.1.3, no indicador de mesmo nome.

#### 4.2.2.5. Saturação

Para o cálculo de saturação ferroviária, primeiramente retiramos do resultado da simulação de cada cenário as informações de carregamento em veículos equivalentes (veh) e de capacidade para cada link e a extensão deles. Após isso, o valor do veh é dividido pela capacidade para obtermos uma saturação daquele link, conforme a fórmula a seguir:

**Equação 81:** Saturação

$$\text{Satur}_i = \frac{\text{veh}_i}{\text{capacidade}_i}$$

Onde:

- $\text{veh}_i$  é o carregamento do link em veículos equivalentes; e
- $\text{capacidade}_i$  é a capacidade (também em veículos equivalentes) daquele link.

Para obtermos o valor final, calculamos a média ponderada da saturação pela extensão dos links. Segue fórmula abaixo:

**Equação 82:** Saturação ferroviária

$$\text{Saturação Ferroviária} = \frac{(\sum_1^n \text{Satur}_i \times \sum_1^n \text{Ext}_i)}{\sum_1^n \text{Ext}_i}$$

Onde:

- $\text{Satur}_i$  é a saturação do link; e
- $\text{Ext}_i$  é a extensão do link.

#### 4.2.2.6. Cidades conectadas à malha ferroviária

Para cálculo desse indicador, são utilizadas ferramentas de estatística espaciais. É uma análise de quais pátios de transbordo de carga são operacionais para cada cenário. Com essa lista, é feita uma análise de *buffer* onde os municípios em um raio de 100km são considerados atendidos. Esse *buffer* é feito utilizando as funcionalidades do PostGIS, especificamente a função *ST\_DWithin*. Com essa lista, portanto é possível retirar as duplicadas (já que um mesmo município pode ser atendido por mais de um pátio) e obter a lista final de cidades conectadas.

#### 4.2.2.7. Municípios atendidos pelo modo ferroviário ponderado pelo PIB

Como continuação do indicador acima, são retirados dos dados do IBGE as informações de PIB de cada município. Com esse número é possível retirar uma média, dividindo o número de cidades conectadas pelo PIB somado delas, conforme fórmula abaixo:

**Equação 83:** Municípios atendidos pelo modo ferroviário ponderado pelo PIB

$$\frac{\sum \text{Mun}_i}{\sum \text{PIB}_i}$$

Onde:

- $\text{Mun}_i$  é o número de municípios; e
- $\text{PIB}_i$  é o Produto Interno Bruto deles.

#### 4.2.2.8. Velocidade média comercial

Para este indicador, a velocidade calculada é a resultante dos tempos de simulação do software utilizado (VISUM), com as características específicas que não cabem nesta seção e que podem ser encontradas nos relatórios referentes aos parâmetros de simulação.



O conteúdo desta seção possui maior detalhamento em volume específico.

No entanto, para uma avaliação desse indicador, foram utilizadas nos planos setoriais os valores retirados de tempos da simulação (em segundos/quilômetro) e seu inverso utilizado para cálculo da velocidade.

#### 4.2.2.9. Participação na matriz de emissões de carbono

Para esse indicador, o valor das emissões em Gg de CO<sub>2</sub> equivalente do modo ferroviário é dividido pela soma das emissões de todos os modos, conforme fórmula abaixo:

**Equação 84:** Participação na matriz de emissões de carbono

$$\frac{\text{Emissões Ferroviárias}}{\text{Emissões Totais}}$$

#### 4.2.3. Resultados Diretos

##### 4.2.3.1. Quantidade total de cargas transportadas

Nesse indicador, são somados os valores de carregamento dos *links* ferroviários em toneladas para o cenário, conforme fórmula abaixo:

**Equação 85:** Quantidade total de cargas transportadas

$$\sum \text{Toneladas carregadas pelos links ferroviários}$$

##### 4.2.3.2. Produção de transporte em TKU

Nesse indicador, são somados os valores de carregamento dos *links* ferroviários em TKU para o cenário, conforme fórmula abaixo:

**Equação 86:** Produção de transportes em TKU

$$\sum \text{TKU carregado pelos links ferroviários}$$

##### 4.2.3.3. Produção de transporte em VKU

Nesse indicador, são somados os valores de carregamento dos *links* ferroviários em VKU para o cenário, conforme fórmula abaixo:

**Equação 87:** Produção de transporte em VKU

$$\sum \text{VKU carregado pelos links ferroviários}$$

#### 4.2.3.4. Emissões de CO<sub>2</sub>

Nesse indicador, são somados os valores de emissões em Gg de CO<sub>2</sub> equivalente dos *links* ferroviários para o cenário, conforme fórmula abaixo:

**Equação 88:** Emissões de CO<sub>2</sub> do modo ferroviário

$$\sum \text{Emissões dos links ferroviários}$$

#### 4.2.3.5. Quantidade de carga transportada por ferrovia

Para esse indicador, são divididos os carregamentos de TKU para cada ferrovia das mais de 100 mapeadas (entre existentes e planejadas) para os planos setoriais em cada cenário.

#### 4.2.3.6. Quantidade total de cargas transportadas por grupo de carga

Para esse indicador, são divididos os carregamentos de TKU para cada um dos 6 grupos de carga considerados. Sendo eles: CGC, CGNC, GSA, GL, GSM, OGSM.

### 4.2.4. Resultados Indiretos

#### 4.2.4.1. Extensão total da malha ferroviária brasileira economicamente utilizada

Para esse indicador é feita uma análise de carregamento no cenário com o propósito de identificar quais trechos ferroviários são utilizados. Essa diferenciação com relação à extensão da malha operacional é importante pois nem todo trecho que é ativado em um cenário pode ter carregamento. Dessa forma, são somadas as extensões dos links que tiveram carregamento maior do que 0, obtendo-se a extensão total da malha, conforme fórmula abaixo:

**Equação 89:** Extensão total da malha ferroviária brasileira

$$\sum \text{Ext\_Carr}$$

Onde:

- Ext\_Carr é a extensão dos links com carregamento maior do que 0.

#### 4.2.4.2. Número de municípios atendidos pelo modo ferroviário

Para cálculo desse indicador, são utilizadas ferramentas de estatística espaciais. É uma análise de quais pátios de transbordo de carga são operacionais para cada cenário. Com essa lista, é feita uma análise de *buffer* onde os municípios em um raio de 100km são considerados atendidos. Esse *buffer* é feito utilizando as funcionalidades do PostGIS, especificamente a função *ST\_DWithin*. Com essa lista, portanto é possível retirar as

duplicadas (já que um mesmo município pode ser atendido por mais de um pátio) e obter a lista final de municípios atendidos.

#### 4.2.4.3. Municípios atendidos pelo modo ferroviário ponderado pelo PIB

Como continuação do indicador acima, são retirados dos dados do IBGE as informações de PIB de cada município. Com esse número é possível retirar uma média, dividindo o número de cidades conectados pelo PIB somado delas, conforme fórmula abaixo:

**Equação 90:** Municípios atendidos pelo modo ferroviário ponderado pelo PIB

$$\frac{\sum \text{Mun}_i}{\sum \text{PIB}_i}$$

Onde:

- $\text{Mun}_i$  é o número de municípios; e
- $\text{PIB}_i$  é o Produto Interno Bruto deles.

#### 4.2.4.4. Impacto do investimento sobre o PIB

A metodologia desse indicador de forma detalhada poderá ser encontrada em relatório específico que está em construção. No entanto, de forma sucinta, os resultados da modelagem econômica dos empreendimentos são consolidados e é feita uma análise de impacto no PIB do país, levando em considerações análises econométricas e sociais.



O conteúdo desta seção possui maior detalhamento em volume específico.

#### 4.2.5. Ambiente

##### 4.2.5.1. Investimento

O indicador é resultado da modelagem econômica dos empreendimentos. Essa modelagem é detalhada em relatório específico a parte.



O conteúdo desta seção possui maior detalhamento em volume específico.

Como resultado da modelagem econômica, são consolidados o valor de CAPEX e OPEX de cada empreendimento em cada cenário. Dessa forma, esse indicador visa comparar o valor bruto dos investimentos dos empreendimentos ferroviários, somando-os conforme fórmula abaixo:

**Equação 91:** Investimento

$$\sum \text{CAPEX}_i + \text{OPEX}_i$$

Onde:

CAPEX<sub>i</sub> é o valor de investimento em implantação e ampliação dos empreendimentos e OPEX<sub>i</sub> é o valor de investimento em operação, manutenção e conservação dos empreendimentos.

### 4.3. Rodoviário

#### 4.3.1. Componentes

##### 4.3.1.1. Extensão total da malha rodoviária brasileira

Para esse indicador, são somadas as extensões de todos os links rodoviários presentes na rede de simulação, exceto aqueles marcados como urbanos, conforme fórmula abaixo:

**Equação 92:** Extensão total da malha rodoviária brasileira

$$\sum \text{Extensão dos links Rurais}$$

##### 4.3.1.2. Extensão total da malha rodoviária brasileira por tipo de pista

A divisão do tipo de pista é baseada na rede de simulação e nos seus respectivos *linktypes*. A explicação dessa divisão pode ser encontrada em relatório a parte.



O conteúdo desta seção possui maior detalhamento em volume específico.

Para esses tipos também são retirados os *links* urbanos, e, portanto, são considerados os seguintes: Rodovia simples, acessos rodoviários, balsa, rodovia duplicada, rodovia com terceira faixa, rodovia de baixa capacidade (secundárias e sem pavimentação), planejadas SNV, rodovias planejadas, rodovias não pavimentadas – baixíssima capacidade. Para esse indicador, são somadas as extensões de cada *link* de cada *linktype*. Para cenários futuros, um dos impactos possíveis de ações rodoviárias é a alteração do *linktype*, sendo possível comparar cada um desses tipos de pista para cada cenário. Segue abaixo equação:

**Equação 93:** Extensão total da malha rodoviária brasileira por tipo de pista

$$\sum \text{Ext\_linktype}_i$$

Onde:

- Ext\_linktype<sub>i</sub> é a extensão dos *links* que fazem parte do *linktype*.

### 4.3.1.3. Extensão total da malha rodoviária brasileira por UF

Esse indicador agrupa as extensões rodoviárias para cada UF. Considerando todos os tipos de pista, mas excluindo os *links* considerados urbanos. Segue equação:

**Equação 94:** Extensão total da malha rodoviária brasileira por UF

$$\sum \text{Ext\_UF}_i$$

Onde:

- $\text{Ext\_UF}_i$  é a extensão dos *links* de cada Unidade da Federação

### 4.3.1.4. Extensão por qualidade de pavimento

A classificação da qualidade do pavimento e a metodologia de elaboração podem ser encontradas de forma mais detalhada em relatório a parte.



O conteúdo desta seção possui maior detalhamento em volume específico.

Para esse indicador, portanto, são agrupados os links para cada qualidade do pavimento (sendo eles Ruim, Regular e Bom) e somadas as extensões correspondentes. Para cenários futuros, um dos impactos mapeados de ações é a alteração dessa qualidade do pavimento, sendo possível comparar cenários de forma a entender se houve ou não melhora. Segue abaixo a equação:

**Equação 95:** Extensão por qualidade de pavimento

$$\sum \text{Ext\_Qualidade}_i$$

Onde:

$\text{Ext\_Qualidade}_i$  é a extensão correspondente a cada classificação de qualidade de pavimento

## 4.3.2. Propriedades

### 4.3.2.1. Participação do modo rodoviário na matriz de transporte de TKU

O cálculo desse indicador consiste na divisão do carregamento em TKU do setor rodoviário pelo TKU total do sistema, conforme equação abaixo:

**Equação 96:** Participação do modo rodoviário na matriz de transporte TKU

$$\frac{\sum \text{TKU dos Links Rodoviários}}{\sum \text{TKU Total}}$$

Onde:

*TKU Total* é a soma do carregamento em TKU de todos os setores (Cabotagem, Hidroviário, Rodoviário, Ferroviário, Aeroviário, Dutoviário e Longo Curso)

#### 4.3.2.2. Participação do modo rodoviário na matriz de transporte de VKU

O cálculo desse indicador consiste na divisão do carregamento em VKU do setor rodoviário pelo VKU total do sistema, conforme equação abaixo:

**Equação 97:** Participação do modo rodoviário na matriz de transporte de VKU

$$\frac{\sum \text{VKU dos Links Rodoviários}}{\sum \text{VKU Total}}$$

Onde:

*VKU Total* é a soma do carregamento em VKU de todos os setores (Cabotagem, Hidroviário, Rodoviário, Ferroviário, Aeroviário, Dutoviário e Longo Curso)

#### 4.3.2.3. Participação do modo rodoviário na matriz de transporte de RPK

O cálculo desse indicador consiste na divisão do carregamento em RPK do setor rodoviário pelo RPK total do sistema, conforme equação abaixo:

**Equação 98:** Participação do modo rodoviário na matriz de transporte RPK

$$\frac{\sum \text{RPK dos Links Rodoviários}}{\sum \text{RPK Total}}$$

Onde:

*RPK Total* é a soma do carregamento em RPK de todos os setores (Cabotagem, Hidroviário, Rodoviário, Ferroviário, Aeroviário, Dutoviário e Longo Curso)

#### 4.3.2.4. Custo total por unidade de transporte movimentada

Esse indicador visa medir a o custo médio de movimentação de um TKU de carga para o modo rodoviário. Para isso, portanto, o valor do custo total é dividido pela movimentação em TKU, obtendo um valor em R\$/TKU. Segue abaixo a fórmula:

**Equação 99:** Custo total por unidade de transporte movimentada

$$\frac{\sum \text{Custo dos links rodoviários}}{\sum \text{TKU dos links rodoviários}}$$

#### 4.3.2.5. Tempo médio ponderado dos fluxos

A explicação detalhada desse indicador pode ser encontrada na seção 3.1.3 no indicador de mesmo nome.

#### 4.3.2.6. Saturação da malha rodoviária

Para o cálculo do indicador de saturação rodoviária, a referência principal é a do *Freight Analysis Framework* (FAF) produzido de uma parceria do *Bureau of Transportation Statistics* (BTS) e a *Federal Highway Administration* (FHWA) dos Estados Unidos da América (2017).

Primeiramente é retirado o carregamento de cada link. Essa extração é feita de forma que para cada linha temos o *link*, o sentido dele, o produto (que pode ser automóvel ou ônibus, representando o transporte de pessoas), a capacidade e o carregamento em veículos equivalentes (valor em que a tonelada é convertida para representar um veículo e que o fator varia de grupo de carga para grupo de carga). Em seguida é feita uma divisão entre veículos de carga (*veh\_carga*), automóveis (*veh\_auto*) e ônibus (*veh\_onibus*).

Após essa divisão, é feito um ajuste na capacidade para cada *link* para veículos pesados (*fhv*) conforme a fórmula abaixo:

**Equação 100:** Saturação da malha rodoviária

$$fhv_i = \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{veh_{carga_i}}{veh_{carga_i} + veh_{auto_i} + veh_{onibus_i}}\right) \times \left(\frac{veh_{auto_i}}{veh_{carga_i} + veh_{onibus_i}} - 1\right)\right)}$$

Onde:

- $fhv_i$  é o ajuste para veículos pesados do *link*;
- $veh_{carga_i}$  é o carregamento em veículos equivalentes para o transporte de qualquer um dos 38 produtos de carga do *link*;
- $veh_{auto_i}$  é o carregamento em veículos equivalentes para o transporte de pessoas em carros particulares do *link*; e
- $veh_{onibus_i}$  é o carregamento em veículos equivalentes para o transporte de pessoas em carros coletivos do *link*.

Em seguida, a capacidade é ajustada para um fluxo diário, já que a alocação representa todo o carregamento do link em um ano. A capacidade ajustada tem a seguinte fórmula:

**Equação 101:** Capacidade ajustada ao fluxo diário

$$\text{Cap. Dia}_i = \left( \frac{\text{Capacidade}_i}{\frac{365}{\frac{24}{2}}} \times \left\{ \begin{array}{l} \text{SE } fhv_i > 1 \rightarrow 1 \\ \text{SE } fhv_i \leq 1 \rightarrow fhv_i \end{array} \right\} \times 24 \right)$$

Onde:

- Cap. Dia<sub>i</sub> é a capacidade ajustada para um dia do *link*; e
- Capacidade<sub>i</sub> é a capacidade anual em veículos equivalentes para aquele *link*.

O próximo passo a ser feito é a divisão do carregamento por 365 para obtenção de uma média diária pela capacidade ajustada para um único dia para obtenção da saturação de cada link, conforme equação abaixo:

**Equação 102:** Saturação de cada link

$$\text{Saturação}_i = \frac{(\text{veh}_{\text{carga}_i} + \text{veh}_{\text{auto}_i} + \text{veh}_{\text{onibus}_i})}{\frac{365}{\text{Cap. Dia}_i}}$$

Onde:

- Saturação<sub>i</sub> é a saturação calculada do link

Por fim, para o indicador final é feita uma média ponderada da saturação pela extensão dos links, conforme a equação a seguir:

**Equação 103:** Saturação da malha rodoviária

$$\text{Saturação da malha rodoviária} = \frac{(\sum_1^n \text{Saturação}_i \times \sum_1^n \text{Extensão}_i)}{\sum_1^n \text{Extensão}_i}$$

Onde:

- Extensão<sub>i</sub> é a extensão do *link*.

#### 4.3.2.7. Representatividade do PIB dos municípios atendidos pelo modo rodoviário

Esse indicador busca entender qual a porcentagem do PIB nacional é atendida pelo modo rodoviário. Para isso, são somados os PIBs de todos os municípios atendidos pelo modo rodoviário dividido pelo PIB de todos os municípios do país. Segue abaixo a equação:

**Equação 104:** Representatividade do PIB dos municípios atendidos pelo modo rodoviário

$$\frac{\sum \text{PIB dos municípios atendidos pelo modo rodoviário}}{\sum \text{PIB de todos os municípios do país}}$$

#### 4.3.2.8. Índice de segurança rodoviário

A explicação detalhada desse indicador pode ser encontrada na seção 3.1.13 no indicador de mesmo nome.

#### 4.3.2.9. Participação do modo rodoviário na matriz de emissões

Para esse indicador, o valor das emissões em Gg de CO<sub>2</sub> equivalente do modo rodoviário é dividido pela soma das emissões de todos os modos, conforme fórmula abaixo:

**Equação 105:** Participação do modo rodoviário na matriz de emissões

$$\frac{\text{Emissões Rodoviárias}}{\text{Emissões Totais}}$$

### 4.3.3. Resultados Diretos

#### 4.3.3.1. Quantidade total de cargas transportadas

Nesse indicador, são somados os valores de carregamento dos *links* rodoviários em toneladas para o cenário, conforme fórmula abaixo:

**Equação 106:** Quantidade total de cargas transportadas

$$\sum \text{Toneladas carregadas pelos links rodoviários}$$

#### 4.3.3.2. Produção de transporte em TKU

Nesse indicador, são somados os valores de carregamento dos *links* rodoviários em TKU para o cenário, conforme fórmula abaixo:

**Equação 107:** Produção de transporte em TKU

$$\sum \text{TKU carregado pelos links rodoviários}$$

#### 4.3.3.3. Produção de transporte em VKU

Nesse indicador, são somados os valores de carregamento dos *links* rodoviários em VKU para o cenário, conforme fórmula abaixo:

**Equação 108:** Produção de transporte em VKU

$$\sum \text{VKU carregado pelos links rodoviários}$$

#### 4.3.3.4. Emissões de CO<sub>2</sub> por unidade de transporte

Nesse indicador, são somados os valores de emissões em Gg de CO<sub>2</sub> equivalente dos *links* rodoviários para o cenário, conforme fórmula abaixo:

**Equação 109:** Emissões de CO<sub>2</sub> por unidade de transporte

$$\sum \text{Emissões dos links rodoviários}$$

#### 4.3.3.5. Quantidade total de cargas transportadas por grupo de carga

Para esse indicador, são divididos os carregamentos de TKU para cada um dos 6 grupos de carga considerados. Sendo eles: CGC, CGNC, GSA, GL, GSM, OGSM.

#### 4.3.4. Resultados Indiretos

##### 4.3.4.1. Extensão da malha rodoviária nacional duplicada

Nesse indicador, é filtrado o *linktype* “Rodovia Duplicada” e são somadas as extensões de todos os *links* classificados com esse tipo. Para cenários futuros, as ações que duplicam uma via são mapeadas e esses *links* são transformados para esse tipo. Dessa forma, obtém-se o valor da extensão de vias duplicadas, conforme equação abaixo:

**Equação 110:** Extensão da malha rodoviária nacional duplicada

$$\sum \text{Ext\_Dup}$$

Onde:

- Ext\_Dup é a extensão dos *links* em que o *linktype* é “Rodovia Duplicada”

##### 4.3.4.2. Extensão da malha rodoviária nacional pavimentada

Nesse indicador, é filtrado o *linktype* “Rodovia Duplicada” e são somadas as extensões de todos os *links* classificados com esse tipo. Para cenários futuros, as ações que duplicam uma via são mapeadas e esses *links* são transformados para esse tipo. Dessa forma, obtém-se o valor da extensão de vias duplicadas, conforme equação abaixo:

**Equação 111:** Extensão da malha rodoviária nacional pavimentada

$$\sum \text{Ext\_Dup}$$

Onde:

- Ext\_Dup é a extensão dos *links* em que o *linktype* é “Rodovia Duplicada”

#### 4.3.4.3. Impacto do investimento sobre o PIB

A explicação detalhada desse indicador pode ser encontrada em relatório específico.



O conteúdo desta seção possui maior detalhamento em volume específico.

#### 4.3.5. Ambiente

##### 4.3.5.1. Investimento

Esse indicador parte da consolidação da modelagem econômica, onde são estimados os valores de investimento para cada empreendimento do setor rodoviário em cada cenário. As premissas e metodologias dessa modelagem podem ser encontradas em relatório específico.



O conteúdo desta seção possui maior detalhamento em volume específico.

Para obtermos o valor desse indicador, são somados os valores de CAPEX e OPEX dos empreendimentos rodoviários para aquele cenário, conforme equação abaixo:

**Equação 112:** Investimento

$$\sum \text{CAPEX}_i + \text{OPEX}_i$$

Onde:

- $\text{CAPEX}_i$  é o valor de investimento em implantação e ampliação dos empreendimentos; e
- $\text{OPEX}_i$  é o valor de investimento em operação, manutenção e conservação dos empreendimentos.

##### 4.3.5.2. Investimento privado no setor

Esse indicador parte da consolidação da modelagem econômica, onde são estimados os valores de investimento para cada empreendimento do setor rodoviário em cada cenário. As premissas e metodologias dessa modelagem podem ser encontradas em relatório específico.



O conteúdo desta seção possui maior detalhamento em volume específico.

Para obtermos o valor desse indicador, são somados os valores de CAPEX e OPEX dos empreendimentos rodoviários que já têm em sua origem de financiamento o setor privado, conforme equação abaixo:

**Equação 113:** Investimento privado no setor

$$\sum \text{CAPEX}_i + \text{OPEX}_i$$

Onde:

- $\text{CAPEX}_i$  é o valor de investimento em implantação e ampliação dos empreendimentos; e
- $\text{OPEX}_i$  é o valor de investimento em operação, manutenção e conservação dos empreendimentos.

**4.4. Portuário****4.4.1. Componentes****4.4.1.1. Número de portos organizados existentes**

Esse indicador contabiliza o total de portos organizados definidos por lei, sendo filtrados no mapeamento de instalações portuárias aqueles com o Tipo de Porto declarado como Porto Organizado. Sendo um número que não apresenta variação de cenário para cenário, o indicador é calculado conforme a fórmula abaixo:

**Equação 114:** Número de portos organizados existentes

$$\sum \text{Número de Portos Organizados}$$

**4.4.1.2. Número de terminais de uso privado existentes**

Esse indicador contabiliza o número de terminais de uso privado mapeados pela Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), sendo filtrados no mapeamento de instalações portuárias aqueles com o Tipo de Porto declarado como TUPs. Sendo um número que não apresenta variação de cenário para cenário, o indicador é calculado conforme a fórmula abaixo:

**Equação 115:** Número de terminais de uso privado existentes

$$\sum \text{Número de Terminais de uso privado}$$

**4.4.1.3. Número de estações de transbordo de cargas existentes**

Esse indicador contabiliza o número de estações de transbordo de cargas mapeados pela Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) e pela análise das notas fiscais recebidas pela Receita Federal. Sendo um número que não apresenta variação de cenário para cenário, o indicador é calculado conforme a fórmula abaixo:

---

**Equação 116:** Número de estações de transbordo de cargas existentes

$$\sum \text{Número de estações de transbordo de cargas}$$

#### 4.4.1.4. Número de instalações portuárias de turismo existentes

Esse indicador contabiliza o número de instalações portuárias de turismo existentes, sendo filtrados no mapeamento de instalações portuárias aqueles com o Tipo de Porto declarado como instalação de turismo registrada. Sendo um número que não apresenta variação de cenário para cenário, o indicador é calculado conforme a fórmula abaixo:

**Equação 117:** Número de instalações portuárias de turismo existentes

$$\sum \text{Número de instalações portuárias de turismo}$$

#### 4.4.1.5. Número de instalações públicas de pequeno porte existentes

Esse indicador contabiliza o número de instalações públicas de pequeno porte pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, sendo filtrados no mapeamento de instalações portuárias aqueles com o Tipo de Porto declarado como IP4s. Sendo um número que não apresenta variação de cenário para cenário, o indicador é calculado conforme a fórmula abaixo:

**Equação 118:** Número de instalações portuárias públicas de pequeno porte

$$\sum \text{Número de IP4s}$$

#### 4.4.1.6. Número de instalações de apoio registradas existentes

Esse indicador contabiliza o número de instalações de apoio registradas existentes, sendo filtrados no mapeamento de instalações portuárias aqueles com o Tipo de Porto declarado como instalação de apoio registrada. Sendo um número que não apresenta variação de cenário para cenário, o indicador é calculado conforme a fórmula abaixo:

**Equação 119:** Número de instalações de apoio registradas existentes

$$\sum \text{Número de instalações de apoio registradas}$$

#### 4.4.1.7. Número de instalações portuárias informais existentes

Esse indicador contabiliza o número de instalações portuárias informais existentes, sendo filtrados no mapeamento de instalações portuárias aqueles com o Tipo de Porto declarado como instalação portuária informal. Essas instalações são fruto do mapeamento feito na base de dados de notas fiscais disponibilizados pela Receita Federal. Sua explicação pode ser encontrada em mais detalhes no relatório do Plano

Setorial Portuário. Sendo um número que não apresenta variação de cenário para cenário, o indicador é calculado conforme a fórmula abaixo:

**Equação 120:** Número de instalações portuárias informais

$$\sum \text{Número de instalações portuárias informais}$$

#### 4.4.1.8. Número de instalações portuárias planejadas existentes

Esse indicador contabiliza o número de instalações portuárias planejadas mapeadas no banco de dados. Essas instalações podem vir de ações que declaram a implantação de uma instalação ou de mapeamento de legislação onde essa implantação é determinada. Para cenários futuros, são analisadas que ações implantaram alguma instalação no cenário especificado, sendo contabilizadas apenas as instalações que não receberam algum impacto.

**Equação 121:** Número de instalações portuárias planejadas existentes

$$\sum \text{Insta\_Plan}$$

Onde:

- Insta\_Plan são as instalações portuárias cadastradas como tendo sua situação “planejada”.

#### 4.4.1.9. Número de instalações portuárias com VTMISS

Esse indicador contabiliza o número de instalações portuárias que possuem o sistema VTMISS. Para cenários futuros, são analisadas que ações implantaram alguma instalação no cenário especificado, sendo contabilizadas apenas as instalações que receberam algum impacto.

**Equação 122:** Número de instalações portuárias com VTMISS

$$\sum \text{Insta\_VTMISS}$$

Onde:

- Insta\_VTMISS são as instalações portuárias cadastradas como possuindo VTMISS.

#### 4.4.2. Propriedades

##### 4.4.2.1. Saturação por complexo portuário

O indicador de saturação portuária depende da divisão da alocação do carregamento da entidade porto cidade, utilizada para simulação de cenários. Nesse modelo, cada

município que contêm portos tem suas instalações agrupadas em um único ponto. No entanto, para obtenção da saturação portuária, é necessário dividir esse carregamento para todos os terminais presentes naquele município. Esse método de separação é detalhado em relatório específico.



O conteúdo desta seção possui maior detalhamento em volume específico.

Após a separação do carregamento é calculada a saturação para cada terminal e grupo de carga. Para retirada do indicador, são somados os valores de capacidade e movimentação de todos os terminais presentes naquele complexo portuário. Após obtenção desses dois valores, divide-se a movimentação pela capacidade para obtenção da saturação de cada complexo. Segue equação abaixo:

**Equação 123:** Saturação por complexo portuário

$$\text{Saturação do Complexo Portuário} = \frac{\sum \text{Toneladas}_i}{\sum \text{Capacidade}_i}$$

Onde:

- Toneladas<sub>i</sub> é o valor de toneladas para cada terminal daquele complexo; e
- Capacidade<sub>i</sub> é a capacidade deles.

#### 4.4.2.2. Capacidade nominal instalada

Para esse indicador, são somadas as capacidades de cada terminal e agrupadas para o setor como um todo. Para cenários futuros, são analisadas as ações que alteram a capacidade dos terminais e assim calculadas para cada cenário, conforme equação abaixo:

**Equação 124:** Capacidade nominal instalada

$$\sum \text{Capacidade dos terminais}$$

#### 4.4.2.3. Número de complexos táticos com serviços de transporte de cabotagem

Para cada instalação portuária mapeada na base de dados, são mapeados os tipos de transporte abarcados por aquele porto, podendo ser de Cabotagem (costeira ou interior) ou Longo Curso (internacional ou interior). Cada instalação faz parte de único um complexo portuário, então é possível agrupar e identificar se aquele complexo possui alguma instalação com transporte de cabotagem, posteriormente esses complexos são compatibilizados, conforme equação abaixo:

**Equação 125:** Número de complexos táticos com serviços de transporte de cabotagem

$$\sum \text{Complexos Portuários com Transporte de Cabotagem}$$

#### 4.4.2.4. Custo por tonelada movimentada

Aplicando o mesmo método de separação da alocação por terminais descrito anteriormente, são somadas as toneladas totais do setor portuário. Em seguida, são somados os custos de todos os *links* de cabotagem e longo curso do modelo. Após obtenção desses dois números, divide-se o valor da soma dos custos pela soma das toneladas para obtenção de um custo médio por tonelada, conforme equação abaixo:

**Equação 126:** Custo por tonelada movimentada

$$\text{Custo por Tonelada Movimentada} = \frac{\sum \text{Toneladas}_i}{\sum \text{Custo}_j}$$

Onde:

- $\text{Toneladas}_i$  é o valor em toneladas alocadas em cada terminal para aquele cenário; e
- $\text{Custo}_j$  é o valor do custo modelado para cada *link* dos modos cabotagem e longo curso.

#### 4.4.2.5. Quantidade total de cargas movimentadas nas instalações portuárias públicas

Para a obtenção desse indicador, é aplicado o mesmo método de divisão de alocação do porto cidade para os terminais que o compõem. São filtrados na base os terminais que fazem parte de algum porto classificado no atributo de Tipo de Porto como Porto Organizado. Suas movimentações são então somadas para termos o resultado, conforme equação abaixo:

**Equação 127:** Quantidade total de cargas movimentadas nas instalações portuárias públicas

$$\sum \text{Toneladas}_{\text{Org}}$$

Onde:

- $\text{Toneladas}_{\text{Org}}$  é a movimentação dos terminais de portos organizados em toneladas.

#### 4.4.2.6. Quantidade total de cargas movimentadas nas instalações portuárias na navegação de cabotagem

Nesse indicador, são somados os valores de carregamento dos *links* em toneladas onde houve transporte de cabotagem para o cenário, conforme fórmula abaixo:

**Equação 128:** Quantidade total de cargas movimentadas nas instalações portuárias na navegação de cabotagem

$$\sum \text{Toneladas carregadas por cabotagem}$$

#### 4.4.2.7. Quantidade total de cargas movimentadas nas instalações portuárias na navegação de longo curso

Nesse indicador, são somados os valores de carregamento dos *links* em toneladas onde houve transporte de longo curso para o cenário, conforme fórmula abaixo:

**Equação 129:** Quantidade total de cargas movimentadas nas instalações portuárias na navegação de longo curso

$$\sum \text{Toneladas carregadas por longo curso}$$

#### 4.4.2.8. Quantidade total de cargas movimentadas nas instalações portuárias na navegação interior

Nesse indicador, são somados os valores de carregamento dos *links* em toneladas onde houve navegação interior para o cenário, conforme fórmula abaixo:

**Equação 130:** Quantidade total de cargas movimentadas nas instalações portuárias na navegação interior

$$\sum \text{Toneladas carregadas por navegação interior}$$

#### 4.4.2.9. Emissões de CO<sub>2</sub> equivalente por unidade de transporte – Cabotagem

Nesse indicador, são somados os valores de emissões em Gg de CO<sub>2</sub> equivalente dos *links* de cabotagem para o cenário, conforme fórmula abaixo:

**Equação 131:** Emissões de CO<sub>2</sub> equivalente por unidade de transporte – Cabotagem

$$\sum \text{Emissões dos links de cabotagem}$$

#### 4.4.2.10. Emissões de CO<sub>2</sub> equivalente por unidade de transporte – Longo curso

Nesse indicador, são somados os valores de emissões em Gg de CO<sub>2</sub> equivalente dos *links* de longo curso para o cenário, conforme fórmula abaixo:

**Equação 132:** Emissões de CO<sub>2</sub> equivalente por unidade de transporte – Longo curso

$$\sum \text{Emissões dos links de longo curso}$$

#### 4.4.3. Resultados Diretos

##### 4.4.3.1. Quantidade total transportada – Toneladas

Nesse indicador são somados os valores alocados de toneladas para os modos de longo curso (internacional e interior) e cabotagem (interior e costeira), conforme fórmula abaixo:

**Equação 133:** Quantidade total transportada – toneladas

$$\sum \text{links}_{\text{longocurso}} + \text{links}_{\text{cabotagem}}$$

Onde:

- $\text{links}_{\text{longocurso}}$  são os *links* do transporte de longo curso; e
- $\text{links}_{\text{cabotagem}}$  são os *links* do transporte de cabotagem.

##### 4.4.3.2. Quantidade total de carga transportadas por grupo de carga

Para esse indicador, são divididos os carregamentos de TKU para cada um dos 6 grupos de carga considerados. Sendo eles: CGC, CGNC, GSA, GL, GSM, OGSM.

##### 4.4.3.3. Índice geral de emissões de CO<sub>2</sub> equivalente

Nesse indicador são somados os valores de emissões em Gg de CO<sub>2</sub> equivalente para os modos de longo curso (internacional e interior) e cabotagem (interior e costeira), conforme fórmula abaixo:

**Equação 134:** Índice geral de emissões de CO<sub>2</sub> equivalente

$$\sum \text{emissões}_{\text{longocurso}} + \text{emissões}_{\text{cabotagem}}$$

Onde:

- $\text{emissões}_{\text{longocurso}}$  é o valor das emissões dos *links* do transporte de longo curso;
- $\text{emissões}_{\text{cabotagem}}$  é o valor das emissões dos *links* do transporte de cabotagem.

#### 4.4.4. Resultados Indiretos

##### 4.4.4.1. Variação da capacidade nominal instalada

O objetivo desse indicador é comparar a capacidade dos cenários futuros em relação ao cenário base. Para isso, então são calculados os valores de capacidade para cada terminal em ambos os cenários e somados. Por fim, divide-se o valor da capacidade futura pela capacidade base para obtenção do delta, conforme equação abaixo:

**Equação 135:** Variação da capacidade nominal instalada

$$\Delta\text{Capacidade} = \frac{\sum \text{Capacidade dos terminais no cenário futuro}}{\sum \text{Capacidade dos terminais no cenário base}} - 1$$

#### 4.5. Dutoviário

##### 4.5.1. Capacidade ofertada de cargas

Esse indicador visa avaliar a capacidade estadual de transporte de cargas pelo modo dutoviário. Matematicamente representado pela Equação a seguir:

**Equação 136:** Capacidade ofertada de cargas

$$\text{Capacidade}_{\text{duto}} = \sum \left( \text{Capacidade}_{\text{duto}_i} \times L_{\text{duto}_i} \right)$$

Onde:

- $\text{Capacidade}_{\text{duto}}$  – capacidade dutoviária em t.km;
- $\text{Capacidade}_{\text{duto}_i}$  – capacidade dutoviária do link  $i$  em t.km; e
- $L_{\text{aero}_i}$  – comprimento do link  $i$ .

##### 4.5.2. Saturação dutoviária

Esse indicador avalia a relação entre demanda e capacidade do modo dutoviário para o Estado de Minas Gerais. Matematicamente têm-se a Equação a seguir:

**Equação 137:** Saturação dutoviária

$$\text{Saturação Dutoviária} = \frac{\sum_1^n (\text{Satur}_i \times \text{Ext}_i)}{\sum_1^n \text{Ext}_i}$$

Onde:

- $\text{Satur}_i$  – saturação do link  $i$ ; e
- $\text{Ext}_i$  – extensão do link  $i$ .

### 4.5.3. Variação da divisão modal do transporte de cargas no estado

Esse indicador visa avaliar a variação da participação dutoviária entre os cenários, conforme a Equação a seguir:

**Equação 138:** Variação da divisão modal do transporte de cargas no estado

$$\Delta\text{TKU}_{\text{duto}} = \text{TKU}_{\text{duto}_{c_n}} - \text{TKU}_{\text{duto}_{c_{n-1}}}$$

Onde:

- $\Delta\text{TKU}_{\text{duto}}$  – variação percentual da divisão modal do transporte dutoviário de cargas no estado;
- $\text{TKU}_{\text{duto}_{c_n}}$  – produção de transporte dutoviário de cargas no cenário n; e
- $\text{TKU}_{\text{duto}_{c_{n-1}}}$  – produção de transporte dutoviário de cargas no cenário n-1.

## 4.6. Aeroviário

### 4.6.1. Capacidade limitante de cargas

Esse indicador visa avaliar a capacidade de movimentação de cargas estadual dos terminais aeroportuários, dado pela soma das capacidades dos terminais aeroportuários individualmente. Matematicamente representado pela Equação a seguir:

**Equação 139:** Capacidade limitante de cargas

$$C_{\text{Terminal}_{\text{aero}}} = \sum (C_{\text{Terminal}_{\text{aero}_i}})$$

Onde:

- $C_{\text{Terminal}_{\text{aero}_i}}$  – capacidade de movimentação de cargas no terminal aeroviário  $i$ ;

### 4.6.2. Capacidade limitante para transportes de pessoas

Esse indicador visa avaliar a capacidade de movimentação estadual dos terminais aeroportuários, dado pela soma das capacidades dos terminais aeroportuários individualmente. Matematicamente representado pela Equação a seguir:

**Equação 140:** Capacidade limitante para transporte de pessoas

$$C_{\text{Terminal}_{\text{aero}}} = \sum (C_{\text{Terminal}_{\text{aero}_i}})$$

Onde:

- $CT_{\text{Terminal}_{aero_i}}$  – capacidade de movimentação de pessoas no terminal aeroviário  $i$ ;

#### 4.6.3. Capacidade ofertada para transporte de cargas

Esse indicador visa avaliar a capacidade estadual de transporte de cargas pelo modo aéreo. Matematicamente representado pela Equação a seguir:

**Equação 141:** Capacidade ofertada para transporte de cargas

$$\text{Capacidade}_{aero} = \sum \left( \text{Capacidade}_{aero_i} \times L_{aero_i} \right)$$

Onde:

$\text{Capacidade}_{aero}$  – capacidade aeroviária em RPK;

$\text{Capacidade}_{aero_i}$  – capacidade aeroviária do link  $i$  em RPK;

$L_{aero_i}$  – comprimento do link  $i$ .

#### 4.6.4. Capacidade ofertada para transporte de pessoas

Esse indicador visa avaliar a capacidade estadual de transporte de pessoas pelo modo aéreo. Matematicamente representado pela Equação a seguir:

**Equação 142:** Capacidade ofertada para transporte de pessoas

$$\text{Capacidade}_{aero} = \sum \left( \text{Capacidade}_{aero_i} \times L_{aero_i} \right)$$

Onde:

- $\text{Capacidade}_{aero}$  – capacidade aeroviária em RPK;
- $\text{Capacidade}_{aero_i}$  – capacidade aeroviária do link  $i$  em RPK; e
- $L_{aero_i}$  – comprimento do link  $i$ .

#### 4.6.5. Variação da divisão modal do transporte de cargas no estado

Esse indicador visa avaliar a variação da participação aeroviário entre os cenários, conforme a Equação a seguir:

**Equação 143:** Variação da divisão modal do transporte de cargas no estado

$$\Delta \text{TKU}_{aero} = \text{TKU}_{aero_{c_n}} - \text{TKU}_{aero_{c_{n-1}}}$$

Onde:

- $\Delta\text{TKU}_{\text{aero}}$  – variação percentual da divisão modal do transporte aeroviário de cargas no estado;
- $\text{TKU}_{\text{aero}_{c_n}}$  – produção de transporte aeroviário de cargas no cenário n;
- $\text{TKU}_{\text{aero}_{c_{n-1}}}$  – produção de transporte aeroviário de cargas no cenário n-1.

#### 4.6.6. Saturação aeroportuária

Esse indicador visa apresentar o nível de serviço em termos de saturação da capacidade ofertada no transporte de cargas e pessoas nos terminais aeroportuários, dado pela Equação a seguir:

**Equação 144:** Saturação aeroportuária

$$\text{SaturaçãoAeroporto} = \frac{\sum \text{Toneladas}_i}{\sum \text{Capacidade}_i}$$

Onde:

- $\text{Toneladas}_i$ <sup>5</sup> – valor de toneladas para cada terminal aeroviário;
- $\text{Capacidade}_i$  – capacidade de movimentação para cada terminal aeroviário.

#### 4.7. Limitações e Melhorias

Para os indicadores setoriais, uma série de números são possíveis de serem retirados do modelo. No entanto, para muitos dos cálculos são utilizados métodos similares, diminuindo a variedade de análises que são feitas. Isso se dá pela própria quantidade limitada de dados que são possíveis de serem retiradas do resultado da alocação da simulação. Uma possível mudança que pode ser feita é a combinação desses cálculos com mais elementos presentes na base de dados cadastral utilizada no plano.

Uma outra possibilidade de melhoria é a inclusão de mais análises espaciais, tendo em vista que todos os setores e todas as ações têm algum tipo de mapeamento geográfico. A inclusão dos indicadores ambientais presentes no Caderno Ambiental do PNL 2035 é um passo nessa direção e deve ser implementado para o próximo ciclo. Além desses indicadores, seriam possíveis algumas análises de clusters ou de influência para algumas áreas (por exemplo, expandir a análise de municípios atendidos presente em alguns setores para outras análises).

Outro ponto é o desenvolvimento de novos modelos estatísticos ou probabilísticos para realizar análises específicas. Tendo o indicador de segurança rodoviária como base, um próximo passo seria a realização de modelo similar para outros modos, além de abarcar não só o elemento *safety* da segurança, mas também o seu elemento *security*. Alguns

---

<sup>5</sup> No caso do transporte de pessoas aplica-se  $\sum \text{Pessoas}_i$

indicadores foram propostos nesse sentido, como de segurança ferroviária ou crescimento de frota para o hidroviário, no entanto, ou por falta de dados ou de um modelo adequado não foram implementados nesse ciclo.

A evolução em termos de retirada de dados do modelo de simulação de maior impacto seria o uso da análise de rotas. Essa análise é um conjunto de dados que são retiradas do *software* de simulação utilizado em que é possível enxergar os diversos caminhos percorridos pelas cargas ou pelas pessoas para cada origem, destino e produto. Com essa análise, seria possível visualizar diversos fenômenos de forma mais clara como troca de modo de transporte no caminho, mudanças de custo, análises mais avançadas de emissões ou de áreas de influência (por exemplo, que caminhos mais levam carga até o porto X ou Y). Esse tipo de modelo está bem mapeado e os testes que foram feitos mostraram uma análise bastante acurada e enriquecedora, no entanto, para cada cenário simulado a quantidade de dados produzida excede valores de 300GB, sendo ainda proibitivo uma análise do sistema como um todo por razões computacionais. Porém, soluções já estão sendo buscadas para superar essas proibições.

A análise de indicadores setoriais é frutífera para muitas contribuições e é constantemente elaborada e evoluída, portanto, o conteúdo desse relatório reflete a fotografia do momento em que foi escrito. Dessa forma, edições atualizadas serão produzidas de forma constante, mostrando a evolução e as novas limitações encontradas. Abaixo, a Figura 4 apresenta um exemplo do acompanhamento feito no sentido de entender quais indicadores são calculados e quais ainda não são (e os motivos):

A	B	C
1	<b>Legenda</b>	
2		Necessita de rotas
3		Feitos
4		Não são implementáveis para esse ciclo por falta de dados ou modelo
5		Não foram implementados, mas são implementáveis para esse ciclo
6		
7	Setor	Indicador
8	Portuário	Métrica
9	Número de OD internacionais atendidas	Rotas?
10	Delta da Capacidade Nominal Instalada	Diferença entre capacidade instalada em t+1 e t
11	Saturação por Complexo Portuário	Métrica de Saturação PELT-RO
12	Capacidade Nominal Instalada	Somatória da Capacidade Instalada disponível
13	Nº de Complexos Portuários Táticos com serviços de transporte de Cabotagem	Contagem do nº de Complexos Portuários Táticos com serviço de Cabotagem utilizados
14	Número de OD atendida pelo transporte por Cabotagem	Rotas?
15	Custo / tonelada movimentada	Somatória dos custos de transbordo de carga nas instalações portuárias/carga total movimentada nas instalações portuárias
16	Tempo médio de estadia	TE = T1 + T2 + T3 + T4 Tempo para atracação (T1) Tempo para início de operação (T2)

**Figura 4:** Exemplo de acompanhamento de indicadores

## 5. Indicadores Específicos

### 5.1. Índice de Benefícios Generalizados

O Índice de Benefícios Generalizado tem como objetivo avaliar os principais efeitos da ação sobre o sistema de transportes. Esse índice avalia impactos mais abrangentes, atendimento às boas práticas internacionais e recomendações de órgãos de controle e instituições de financiamento. Além disso, esse índice procura avaliar quais serão os efeitos positivos internos ao sistema de transporte, tal como ampliação da malha, quanto os efeitos externos a ele, como o impacto no PIB e as emissões do sistema

Conforme explicado em relatório específico, os objetivos dos planos devem estar ligados a um dos elementos do Após a composição dos objetivos do plano de transporte é necessário criar uma métrica para avaliar de forma quantitativa como cada ação proposta no plano contribui para que o objetivo seja de fato alcançado ao final da implementação dela. Dessa forma, foi proposto pelo menos um indicador para cada objetivo de cada um dos setores. A Quadro 2 apresenta os elementos medidos pelos indicadores.

**Quadro 2:** Elementos afetados pelos objetivos dos planos setoriais

Elemento	Definição
Desenvolvimento socioeconômico	Evolução ou progresso medido a partir de variáveis qualitativas e quantitativas ligadas a aspectos culturais, sociais, históricos, econômicos, para um dado intervalo de tempo, a depender do recorte territorial adotado no estudo (município, estado, região, país).
Integração/Intercâmbio	Existência de canais (infraestrutura e serviços) para intercâmbio facilitado de pessoas e mercadorias entre duas regiões.
Desenvolvimento Tecnológico	Desenvolvimento (de projeto): Processo de estudo e trabalho pelo qual o projetista elabora as partes de um projeto específico, que pode ser relativo à definição de um produto, solução de um problema, a uma obra rodoviária, à construção de uma fábrica, e outros.
Desenvolvimento da Infraestrutura	Variação no nível de oferta de algum elemento da infraestrutura em um determinado espaço de tempo.
Capacidade	É a quantidade máxima de veículos de transporte que o sistema comporta. CEFTRU (2006)
Acessibilidade	Facilidade de acesso entre as origens e destinos dos desejos de viagem.
Eficiência operacional	Eficiência é a otimização de recursos para alcance dos resultados esperados (maximizar resultados, minimizar recursos) (Fulgencio, 2007. Glossario - Vade Mecum - Administração pública, direito, economia.)
Segurança	A segurança compreende a prestação dos serviços isenta de riscos para usuários e terceiros. (Gomide, et al. 2006.)
Sustentabilidade	É o conjunto de práticas econômicas, financeiras e administrativas que visam o desenvolvimento econômico de um país ou empresa, preservando o meio ambiente e garantindo a manutenção dos recursos naturais para as futuras gerações.
Atualidade	Nível de avanço tecnológico do sistema de transporte, no que concerne à infraestrutura, veículos e serviços ofertados aos usuários.



Figura 5: Resumo de indicadores rodoviários e ferroviários



Figura 6: Resumo de indicadores rodoviários e ferroviários (continuação)



Figura 7: Resumo de indicadores hidroviários e portuários



Figura 7: Resumo de indicadores hidroviários e portuários (continuação)

### 5.1.1. Indicador Desenvolvimento Socioeconômico

O indicador de desenvolvimento socioeconômico procura medir qual o impacto marginal de um empreendimento no atendimento das necessidades sociais e econômicas do país. Nesse sentido, escolheu-se o investimento em CAPEX ponderado pelo Produto Interno Bruto (PIB) de todos os municípios que ele intercepta. A interpretação desse indicador é que investimentos altos em regiões de PIB elevado geram uma variação de benefícios socioeconômicos menores que investimentos medianos em regiões menos abastadas.

Assim a Equação 145 apresenta a formulação matemática utilizada.

**Equação 145:** Equação de impacto do PIB devido a investimentos em infraestrutura

$$\beta_{1j} = \frac{CAPEX_j}{PIB_{municipalmédio_j}}$$

Onde:

- $\beta_{1j}$  é o valor do indicador de desenvolvimento socioeconômico do empreendimento j;
- $CAPEX_j$  é o valor investido em CAPEX no empreendimento j;
- $PIB_{municipalmédio_j}$  é o PIB médio de todos os municípios interceptados pelo empreendimento j;

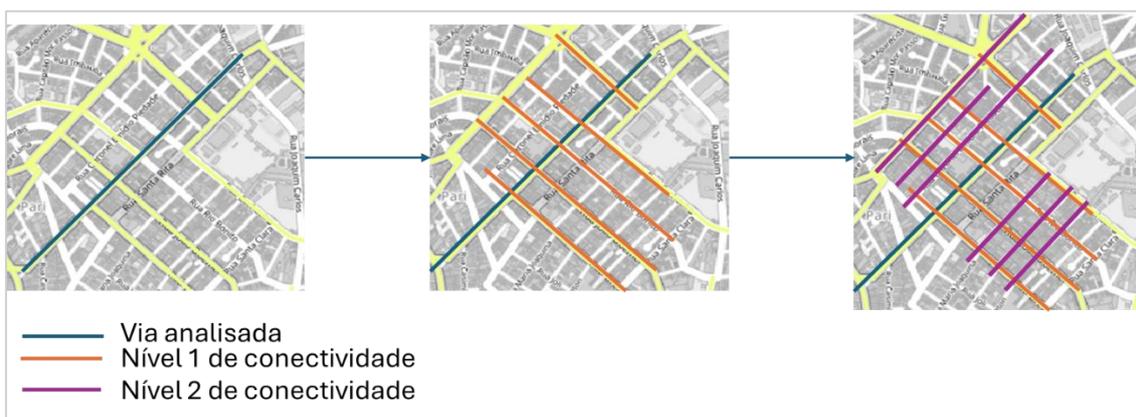
Apesar de consistente o modelo utilizado ele ainda possui espaço para melhorias. Primeiramente, o PIB é apenas uma métrica de desenvolvimento socioeconômico. Vickerman, (2008) propõe que seja feita uma análise dos empregos criados em relação ao desemprego municipal, indicando que a geração de empregos nessas regiões traria um benefício maior. Outra possível melhoria é a criação de um modelo que analisa os impactos de investimentos em transportes no índice de GINI, que mede concentração de renda.

A literatura aponta alguns efeitos diretos de melhorias de transporte na sociedade tal como a redução de custos de transportes e de tempos de viagem. Essas métricas podem se traduzir, indiretamente, no aumento da facilidade da população a acessar serviços básicos, como saúde e educação. Pienaar, (2018) Apesar disso, essas variáveis não foram incluídas neste indicador porque já estão sendo consideradas em outros indicadores do benefício generalizado, de forma que esses efeitos estão sendo considerados na metodologia.

### 5.1.2. Indicador Integração

O indicador de Integração mede quanto um empreendimento contribui para a integração nacional dos municípios, utilizando métricas oriundas de uma análise de sintaxe espacial. Primeiramente, é necessário contextualizar o conceito de sintaxe espacial, conectividade e centralidades.

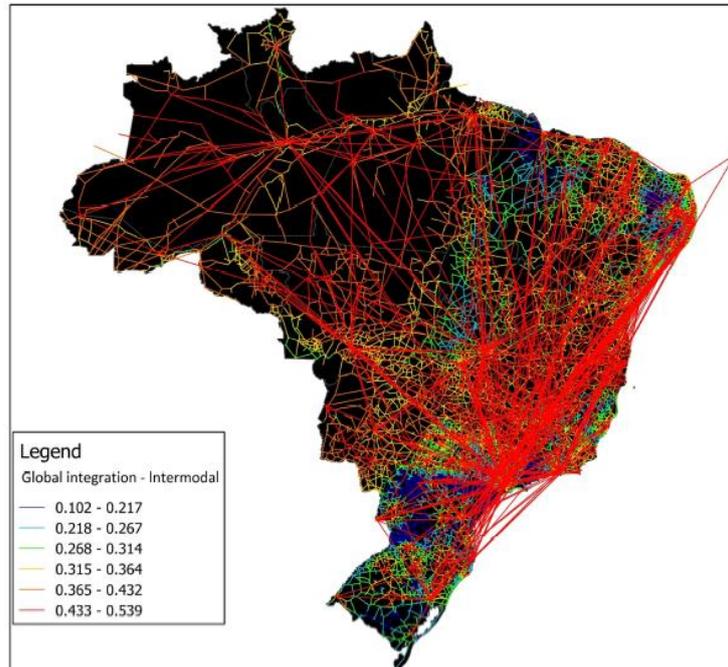
Segundo van Nes e Yamu (2021), o espaço antrópico pode ser caracterizado como grafos, ou seja, através de linhas e nós. Cada via (rodovia, ferrovia, rua ou calçada) é representada por uma linha e os entroncamentos são representados por nós. Numa análise de conectividade sintaxe espacial cada via é analisada quanto a distância em linhas de distância para a via de análise. Maior o nível de movimentos para se chegar na outra via, maior o nível de conectividade dele, como mostrado na Figura 8.



**Figura 8:** Exemplo de avaliação de conectividade

Os cálculos necessários para a integração de cada linha são extensivamente descritos por van Nes e Yamu (2021). Para o entendimento desse indicador é suficiente saber que linhas que possuem menos passos de conectividade para alcançar as linhas “mais isoladas” do sistema são consideradas mais integradas enquanto, “pontas secas”, vias com apenas uma saída, são consideradas menos integradas.

Rodrigues E Silva e de Holanda (2019) adaptou essa métrica para avaliar a integração em escala nacional. Para isso, foi considerado um grafo com rodovias, hidrovias, ferrovias e ligações aéreas. Além disso, como a escala nacional brasileira é muito mais complexa que a escala municipal ou regional, foram feitos ajustes para consideração de tempos de deslocamento. Um dos resultados lógicos desse tipo de análise é que vias aéreas são, por definição, linhas mais integradas no sistema de transportes. Além disso, vias em municípios com aeródromos tem um grau de integração maior do que as vias em municípios sem aeródromos. A Figura 9 apresenta o resultado de integração do sistema desenhado pelos pesquisadores para o ano de 2017.



**Figura 9:** Resultado de análise de integração global da rede intermodal

Para o indicador de integração usado na metodologia proposta são utilizados os resultados obtidos de Rodrigues E Silva e de Holanda (2019) e enriquecidos com resultados obtidos pelo cálculo da integração global dos cenários do PNL. Além disso, o coeficiente de integração das vias é agregado em nível municipal, criando um índice de integração municipal, atual e para cenários futuros. Por fim, é calculado um valor médio de integração acrescido nos municípios entre o ano base e os cenários do PNL por qualquer ação topológica (empreendimento) no local.

Em resumo, calcula-se a média de todas as vias contidas ou que interceptam o município no cenário atual, como mostrado na Equação 146.

**Equação 146:** Cálculo do índice de integração municipal

$$I_{mj} = \frac{\sum_{i=1}^N I_{v_i}}{N}$$

Onde:

- $I_m$  é o índice de Integração municipal;
- $I_v$  é o índice de Integração das vias;
- $N$  é o número de vias contidas no município  $j$ .

Depois, para cada cenário futuro foi calculado um novo valor de integração para cada via, e logo, para cada município, utilizando a mesma Equação 146. Como o indicador precisa avaliar como cada empreendimento afeta a integração em cada municipalidade, calcula-se a variação em cada município (Equação 147), em cada cenário, e depois

divide-se esse valor pelo número de empreendimentos de implantação de novas infraestruturas que afetam o município (Equação 148).

**Equação 147:** Variação do indicador de integração

$$\Delta I_m = I_{m2035c} - I_{m2017}$$

Onde:

- $\Delta I_m$  é a variação do indicador de integração entre 2017 e o horizonte 2035 no cenário c;
- $I_{m2035c}$  é o indicador de integração para o horizonte 2035 no cenário c;
- $I_{m2017}$  é o indicador de integração para o horizonte 2017.

**Equação 148:** Cálculo do indicador de integração para o empreendimento

$$I_{e,c} = \sum_{m=1}^M \frac{\Delta I_m}{\frac{N_m}{m}}$$

Onde:

- $I_{e,c}$  é a variação do indicador de integração entre dois horizontes em um município devido ao empreendimento e no cenário c;
- M é o universo de empreendimentos no município j;
- $\Delta I_m$  é a variação do indicador de integração entre 2017 e o horizonte 2035 no cenário c; e
- $N_m$  é a quantidade de empreendimentos no município m.

Por fim, calcula-se uma média ponderada pelo peso de cada cenário do PNL. O peso de cada cenário é extensivamente debatido no Caderno Metodológico de Planejamento Integrado em Transportes (INFRA S.A., 2024), e para esse indicador é suficiente explicar que seu valor é definido pelo quanto o inverso de seu custo representa no somatório de inversos de custos de todos os cenários (Equação 150: Cálculo do peso do cenário).

**Equação 149:** Cálculo do indicador de integração do município ponderado pelo peso do cenário analisado

$$I_{(2017-2035)} = \frac{\omega_c \times I_{e,c}}{\sum_{c=1}^n \omega_c}$$

Onde:

- $I_{(2017-2035)}$  é o peso do cenário c no PNL;
- n é o universo de cenários considerados; e,
- $I_{e,c}$  é a variação do indicador de integração entre dois horizontes em um município devido ao empreendimento e no cenário c;

- $\omega_c$  é o peso do cenário c no PNL, calculado pela Equação 150: Cálculo do peso do cenário.

**Equação 150:** Cálculo do peso do cenário

$$\omega_c = \frac{\frac{1}{C_c}}{\sum_{c=1}^n \frac{1}{C_c}}$$

Onde:

- $\omega_c$  é o peso do cenário c no PNL;
- n é o universo de cenários considerados; e,
- $C_c$  é o custo total, em reais, do cenário c.

O resultado dessa conta é apresentado na Tabela 5.

**Tabela 5:** Integração acrescida nos municípios entre o ano base e o horizonte de projeto

Integração média acrescida 2017-2035 ( $I_{2017-2035}$ )	0.3834
--	--------

A proposta para a priorização de ações em relação a integração é que ações que afetem municípios com piores índices de integração sejam priorizadas. Para isso, os valores de integração de cada município são normalizados de forma que o município com maior integração receba o valor de zero e o de menor integração receba o valor de 1. A Equação 151 apresenta a formulação descrita.

**Equação 151:** Normalização invertida da integração municipal

$$\text{Integração normalizada}_i = \frac{\text{MAX}(\text{Integração municipal}_i) - \text{Integração municipal}_i}{\text{MAX}(\text{Integração municipal}_i) - \text{MIN}(\text{Integração municipal}_i)}$$

Onde:

- Integração normalizada<sub>i</sub> é o valor da integração normalizado variando de 0 a 1, no qual 0 seria o município de maior integração e 1 o de menor;
- Integração municipal<sub>i</sub> é o valor da integração municipal para o município i.

Depois, é realizada uma verificação topológica de quais municípios são afetados diretamente pela ação. Caso a ação seja de natureza linear a verificação realizada é de interseção, ou seja, quais municípios que possuem qualquer trecho da ação em seu interior. Para ações pontuais, são feitas duas análises topológicas para aferição da influência da ação. A primeira é se o limite municipal contém o ponto da obra, caso não contenha, como em plataformas offshore, é feita uma análise de proximidade, verificando qual o município mais próximo da ação.

Após montada a lista de ações relacionadas aos municípios, a quantidade de ações em cada município é contabilizada e seu valor é multiplicado pelo valor médio apresentado na Equação 152. O valor em representa o percentual do acréscimo de integração total do município ao final do período de análise. Dessa forma, a apresenta o cálculo do valor de integração de cada município após a execução de todas as ações.

**Equação 152:** Cálculo do índice de integração provável do município no período de análise

$$\text{Integração municipal}_{\text{ano de projeto}} = \text{Integração municipal}_i * \left( 1 + \sum_{i=1}^N \text{empreendimentos}_i \times I_{2017-2035} \right)$$

Onde:

- Integração municipal<sub>ano de projeto</sub> é o valor projetado da integração do município i para o ano de análise do projeto;
- n é o universo de empreendimentos no cenário c; e,
- empreendimentos<sub>i</sub> é o número de empreendimentos que afetam o município i.

Para a análise priorizada de empreendimentos, a variação da integração municipal é calculada e multiplicada pelo valor normalizado, conforme mostrado na Equação 153.

**Equação 153:** Variação da integração ponderada

$$\Delta \text{Integração}_{i_{pond}} = \text{Integração municipal}_{\text{ano de projeto}} \times \text{Integração normalizada}$$

Onde:

- $\Delta \text{Integração}_{i_{pond}}$  é a variação da integração do município i ponderada por sua normalização.

Por fim, a priorização dos empreendimentos é realizada pela soma de todas as integrações ponderadas dos municípios afetados por ele, conforme apresentado na Equação 154.

**Equação 154:** Indicador de integração

$$\beta_{2j} = \sum_{i=1}^M \Delta \text{Integração}_{i_{pond}}$$

Onde:

- $\beta_{2j}$  é o valor do indicador de integração para o empreendimento j
- M é o universo de municípios afetados pelo empreendimento j.

A proposta do método se baseia em publicação em congresso, de forma que já possui um nível de aprovação pela comunidade acadêmica, mas não está livre de limitações. O valor do ano base ainda considera a rede de transportes brasileira de 2017, carecendo uma atualização para melhor representar a situação atual do sistema de transportes e dos municípios. Além disso, a priorização não considera completamente as relações topológicas de integração. Em tese, melhorar a conexão de um município de baixa integração para um município de alta integração deveria resultar em uma variação da integração maior que melhorando a conexão para um município e baixa integração.

Além disso, seria possível calcular esse indicador através dos resultados do modelo de simulação. A partir dos dados de rotas que podem ser extraídos do modelo de simulação poderíamos avaliar se a execução de um empreendimento seria capaz de atrair um número maior de rotas para essa infraestrutura aumentando a integração do elemento de infraestrutura a demanda.

### 5.1.3. Indicador Desenvolvimento Tecnológico

O indicador de desenvolvimento tecnológico procura medir uma variação no estado da tecnologia do sistema de transportes. Como a definição do estado de tecnologia é algo complexo e depende de inúmeras variáveis definidas em nível de projeto, foram escolhidas variáveis de aproximação para cada setor estudado.

Em geral, o entendimento técnico dado a essa variável é que empreendimentos que tenham impactos mais estruturais na infraestrutura. Nesse sentido, empreendimentos que possuam um serviço de ampliação ou implantação ganhariam algum valor para o indicador de desenvolvimento tecnológico. Além disso, empreendimentos que possuam alguns tipos de modelo de outorga também ganhariam algum valor. A Tabela 6 apresenta um resumo dos critérios das características necessárias ao empreendimento para pontuar em desenvolvimento tecnológico.

**Tabela 6:** Resumo das características necessárias ao indicador de desenvolvimento tecnológico

Característica	Valor necessário
Serviço das obras do empreendimento	Ampliação
	Implantação
	Concessão
	Permissão
Modelo de outorga	Autorização
	Desestatização
	Arrendamento

### 5.1.3.1. Ferroviário/Rodoviário

Como a definição do estado de tecnologia rodoviária e ferroviária é algo complexo e depende de inúmeras variáveis definidas em nível de projeto esse indicador é de difícil mensuração e não foi calculado para os setores ferroviário e rodoviário neste ciclo.

### 5.1.3.2. Hidroviário

O entendimento do desenvolvimento tecnológico para o setor hidroviário é que empreendimentos que possuam alguma das características descritas na Tabela ganharia algum valor de desenvolvimento tecnológico.

Para maior diferenciação e melhor ponderação entre projetos, foi feita uma ponderação por extensão. A interpretação dessa implementação é de que se uma obra tem maior extensão, a “quantidade” de infraestrutura afetada é maior, e conseqüentemente, levando a uma maior variação do desenvolvimento de transportes. A Equação 155 mostra a formulação matemática do indicador.

**Equação 155:** Indicador de desenvolvimento tecnológico para o setor Hidroviário

$$\beta_{3j} = \theta_j \times L_j$$

Onde:

- $\beta_{3j}$  é o valor do indicador de desenvolvimento tecnológico para o empreendimento j;
- $\theta_j$  é uma variável binária que avalia se o empreendimento j possui algumas das características apresentadas na Tabela ;
- $L_j$  é a extensão do empreendimento j, em km.

### 5.1.3.3. Portuário

Para coerência lógica do processo o setor portuário também leva em consideração que o empreendimento necessita de alguma das características descritas na Tabela 6Tabela ganharia algum valor de desenvolvimento tecnológico.

Entretanto, empreendimentos portuários, por definição, não possuem extensão, então foi necessária a adoção de outra métrica: o investimento em CAPEX do empreendimento. Neste caso, a interpretação que se dá é de que investimentos em CAPEX têm como resultado direto, por definição, a alteração de bens de capitais portuários, como equipamentos e edificações, provavelmente para itens mais modernos. Assim, a Equação 156 mostra a formulação matemática do indicador.

---

**Equação 156:** Indicador de desenvolvimento tecnológico para o setor portuário

$$\beta_{3j} = \theta_j \times \text{CAPEX}_j$$

Onde:

- $\beta_{3j}$  é o valor do indicador de desenvolvimento tecnológico para o empreendimento  $j$ ;
- $\theta_j$  é uma variável binária que avalia se o empreendimento  $j$  possui algumas das características apresentadas na Tabela ;
- $\text{CAPEX}_j$  é a extensão do empreendimento  $j$ , em km.

#### 5.1.4. Indicador Desenvolvimento da Infraestrutura

O desenvolvimento da Infraestrutura viária procura metrificar a variação no nível de oferta de algum elemento da infraestrutura em um determinado espaço de tempo, que no caso é igual ao tempo de horizonte do plano desenvolvido. Essa variável se mostrou de difícil mensuração padronizada, tendo em vista que em um mesmo setor a definição de oferta de infraestrutura tende a variar com a visão do ator envolvido.

Como proposta de padronização e simplificação, o método propõe utilizar o investimento em CAPEX de um determinado empreendimento, independente do setor. A interpretação dessa variável é que empreendimentos que dependem de investimentos maiores terão como retorno uma variação maior da oferta de infraestrutura. A Equação 157 apresenta a formulação matemática desse indicador.

**Equação 157:** Indicador de desenvolvimento da infraestrutura

$$\beta_{4j} = \text{CAPEX}_j$$

Onde:

- $\text{CAPEX}_j$  é o investimento em CAPEX do empreendimento, sendo igual a soma do investimento em CAPEX de todas as obras que o compõem.

#### 5.1.5. Indicador de Capacidade

O indicador de capacidade mede o máximo de produção que um sistema é capaz de ofertar, em situações ideais. Para um sistema de transportes a métrica de capacidade, de forma mais ampla possível, é quanto ele é capaz de transportar, em toneladas uteis (TU), em toneladas por quilometro útil (TKU) ou em veículos equivalentes.

Os estudos de capacidade viária estão comumente ligados a um nível de serviço das infraestruturas. Quanto mais perto da capacidade máxima do elemento analisado opera, pior costuma ser o nível de serviço ofertado pela infraestrutura. Ainda, entende-

se que para infraestruturas que atualmente possuem movimentações muito baixas o crescimento da movimentação representa um acréscimo na capacidade, não necessariamente refletindo um estado de queda da qualidade do serviço. Os itens a seguir apresentam os métodos de cálculo para cada setor estudado.

Cabe mencionar que cada uma das formulações apresentadas possui suas melhorias específicas debatidas individualmente para auxiliar na decisão governamental de investimentos. Entretanto, a análise de capacidade e, por consequência, nível de serviço envolve o entendimento de fenômenos multimodais. O problema de capacidade portuária pode ser resolvido pela remoção de um gargalo logístico na rota para um porto competidor. Assim, o indicador de capacidade deveria avaliar não o nível de serviço de uma infraestrutura específica afetada pelo empreendimento, mas o nível de serviço de todas as infraestruturas utilizadas nas rotas de produtos e pessoas que passam pelo elemento trabalhado.

#### 5.1.5.1. Ferroviário/Hidroviário

O indicador de capacidade para o indicador ferroviário e hidroviário procura avaliar de forma não determinística o aumento de capacidade do sistema. Ambos os setores possuem modelos de capacidade complexos, nos quais as formulações não dependem apenas de características da via ou da composição do tráfego, mas de acordos entre atores e quantidade de frota de veículos por subsistema de análise.

Assim, tentativas de estimação de aumento de capacidade ou de nível de serviço por meio da interpretação de impactos poderiam levar a conclusões incompletas, que não considerariam as complexidades do setor. Como forma de mitigar esse impasse, mas ainda mantendo o indicador com fácil entendimento propôs-se a avaliação da quantidade movimentada na infraestrutura afetadas. A Equação 158 apresenta a formulação matemática dessa proposta.

**Equação 158:** Indicador de capacidade hidroviária/ferroviária

$$\beta_{5_j} = \sum_{i=1}^n TKU_i$$

Onde:

- $\beta_{5_j}$  é o indicador de capacidade hidroviária/ferroviária, em TKU;
- $TKU_i$  é a medida de produção da infraestrutura  $i$ , sendo dada como o produto da tonelada útil movimentada pela extensão da infraestrutura  $i$ ;
- $n$  é a quantidade de infraestruturas afetadas pelo empreendimento  $j$ .

Importante tomar nota que modelos de capacidade hidroviária e ferroviária mais robustos estão em etapa de desenvolvimento. Quando concluídos e validados, será possível uma análise mais assertiva do nível de serviço desses setores.

### 5.1.5.2. Portuário

O indicador de capacidade portuária procura medir quanto a capacidade de um terminal portuário aumentou devido a execução de um empreendimento portuário. Para isso, a análise é dividida em duas partes, estudos de capacidade de Instalações Públicas Portuárias de Pequeno Porte (IP4) e os demais tipos de portos. Pelo fato de serem instalações moduladas e possuírem um propósito de servir a uma população local, os IP4 são priorizados separadamente.

O método primeiramente avalia o estado atual das capacidades de acostagem portuária, descrito em relatório específico, e, em seguida, o estado dos terminais após a ação das obras. É feita então a diferença entre a capacidade futura e a capacidade atual. Como a medida de capacidade é absoluta, entende-se que onde foi instalada uma capacidade maior, em números absolutos, será priorizado. A Equação 159 apresenta a formulação descrita.

**Equação 159:** Variação da capacidade portuária

$$\Delta\text{capacidade}_i = \text{capacidade}_{i_{\text{ano de análise}}} - \text{capacidade}_{i_{\text{ano base}}}$$

Onde:

- $\Delta\text{capacidade}_i$  é a variação da oferta de capacidade do terminal portuário no período de análise;
- $\text{capacidade}_{i_{\text{ano de análise}}}$  é a capacidade do terminal portuário após a ação dos empreendimentos, no ano de análise do projeto;
- $\text{capacidade}_{i_{\text{ano base}}}$  é a capacidade do terminal portuário na data base do projeto.

Os valores então são normalizados para cada uma das duas categorias (IP4 e demais portos) de modo que a priorização posterior compare infraestruturas comparáveis. A Equação 160 apresenta a normalização utilizada para o indicador de capacidade portuária.

**Equação 160:** Indicador de capacidade portuário

$$\beta_{5_{j_k}} = \frac{\text{MAX}(\Delta\text{capacidade}_i)_k - \Delta\text{capacidade}_i}{\text{MAX}(\Delta\text{capacidade}_i)_k - \text{MIN}(\Delta\text{capacidade}_i)_k}$$

Onde:

- $\beta_{5j_k}$  é o indicador de capacidade portuária para o empreendimento  $j$ , normalizado por grupo de análise  $k$ ;
- $\text{MAX}(\Delta\text{capacidade}_i)_k$  é a maior variação de capacidade no grupo de análise  $k$ ;
- $\text{MIN}(\Delta\text{capacidade}_i)_k$  é a menor variação de capacidade no grupo de análise  $k$ .

Cabe mencionar que apesar de atender seu objetivo primário, o indicador ainda possui melhorias a serem feitas. O método ainda carece de avaliação de saturação portuária, para avaliar se a capacidade futura será capaz de suportar a demanda futura. Para isso, foi desenvolvido um método de distribuição de capacidade portuária a partir de uma macro simulação de transportes, descrito em relatório separado. Como proposta ainda está sendo debatido como seria a análise de como um empreendimento portuário contribui para esse quadro.

### 5.1.5.3. Rodoviário

A avaliação da capacidade para o setor rodoviário foi baseada nos manuais técnicos do (DNIT, 2006). Ambos os modelos são aceitos no setor, de forma que foi apenas realizados ajustes para adaptação aos modelos utilizados na simulação dos cenários. A Tabela 7 apresenta as capacidades adotadas para cada tipo de pista, em veículos equivalentes por hora.

**Tabela 7:** Capacidades por tipo de pista

Tipo de pista	Capacidade (veh/h)
Pista baixa capacidade	1000
Pista Simples	1500
Pista com Faixa adicional	2250
Pista Dupla	3000

Para o cálculo do indicador de capacidade rodoviária é avaliada a variação da capacidade acrescida pelo empreendimento ponderada pela sua extensão como mostrado na Equação 161. Dessa forma, o indicador está medindo o quanto de capacidade foi acrescida no sistema, em veículos equivalentes quilometro.

**Equação 161:** Indicador de capacidade hidroviária/ferroviária

$$\beta_{5j} = \sum_{i=1}^n \left( \text{capacidade}_{i_{\text{ano de projeto}}} - \text{capacidade}_{i_{\text{data base}}} \right) \times L_i$$

Onde:

- $\beta_{5j}$  é o indicador de capacidade rodoviário para o empreendimento j, em veh.km;
- capacidade<sub>i ano de projeto</sub> é a capacidade do elemento i rodoviário após os impactos do empreendimento j no ano de projeto;
- capacidade<sub>i data base</sub> é a capacidade do elemento i rodoviário na data base;
- $L_i$  é a extensão do elemento i rodoviário;
- n é o universo de elementos rodoviários afetados pelo empreendimento j.

O indicador avalia então o aumento absoluto da capacidade do sistema de transportes rodoviário, cumprindo seu objetivo primário. Uma análise adicional que poderia ser feita é o cálculo do nível de serviço após o término dos empreendimentos. Como os dados dispostos são anualizados, seria necessário realizar um tratamento dos dados oriundos da simulação para efetivamente utilizar essa métrica.

#### 5.1.6. Indicador de Acessibilidade

O indicador de acessibilidade procura medir a facilidade de acesso entre origens e destinos de viagem através de uma métrica de cobertura. Dessa forma, a interpretação desse indicador pode ser resumida ao aumento, em números absolutos, de infraestrutura viária devido a um empreendimento, em quilômetros, no caso da comparação de intervenções lineares ou em unidades para intervenções pontuais.

Apesar do entendimento padronizado para todos os setores, são respeitadas algumas peculiaridades específicas de cada setor. Nos subitens a seguir esses detalhes de cálculo são explicados.

##### 5.1.6.1. Ferroviário/Hidroviário/Rodoviário

Para os setores rodoviário, hidroviário e ferroviário esse indicador é calculado pela variação do tempo devido aos impactos do empreendimento. A proposta conceitual é avaliar em relação a um cenário sem alterações na rede, como um empreendimento melhora os tempos da rede.

Primeiro avalia-se o tempo para médio para se percorrer 1 quilômetro da infraestrutura impactada pelo empreendimento no “Cenário Contrafactual”. Em seguida, realiza-se a mesma avaliação para o cenário de análise. O cálculo do indicador, então, é dado pela diferença percentual do valor de análise com o valor de referência, como mostra a equação a seguir:

**Equação 162:** Indicador de acessibilidade

$$\beta_{\text{acessibilidade}} = \frac{T_{\text{cenário contrafactual}} - T_{\text{cenário analise}}}{T_{\text{cenário contrafactual}}}$$

Onde:

- $\beta_{\text{acessibilidade}}$  é o valor de acessibilidade do empreendimento
- $T_{\text{cenário contrafactual}}$  é o valor do tempo necessário para se percorrer 1 km no cenário contrafactual, em s/km;
- $T_{\text{cenário analise}}$  é o valor do tempo necessário para se percorrer 1 km no cenário de análise, em s/km.

**5.1.6.2. Portuário**

Para o setor portuário, é feita a análise de quais terminais inativos serão ativos após a execução dos empreendimentos. A definição de ativo ou inativo na situação atual é feita através da avaliação de quanto foi movimentado na data base e a definição da ativação é o ganho de capacidade futura no terminal. Ao final pondera-se a ativação pelo indicador de integração municipal descrito no item 5.1.2 do município que contém o terminal. A Equação 163 apresenta a formulação matemática do método proposto.

**Equação 163:** Indicador de acessibilidade portuário

$$\beta_{6_{jk}} = \text{Situação}_k \times \text{Ativação}_k \times \text{Integração}_i$$

Onde:

- $\beta_{6_{jk}}$  é o indicador de acessibilidade portuária para o empreendimento j, analisando seus efeitos no terminal k;
- $\text{Situação}_k$  é a situação operacional do porto. Se ele está ativo, 0 se inativo 1.;
- $\text{Ativação}_k$  é a análise dos impactos do empreendimento j. Se ele acrescenta capacidade 1, caso contrário 0;
- $\text{Integração}_i$  é o indicador de integração do município i que contém o terminal k.

**5.1.6.3. Rodoviário**

Assim como no setor ferroviário e hidrovial, o setor rodoviário analisa a mudança de segmentos ativados pelo empreendimento. Entretanto, para o setor rodoviário, o processo de ativação de segmentos se dá por uma mudança no tipo de superfície da rodovia. O empreendimento ganhará a pontuação referente a extensão de segmentos que passaram de superfície planejada para algum tipo de implantação (simples, faixa adicional, pista dupla). Ainda, tendo em vista a existência de caminhos em leito natural

na rede, o empreendimento ganhará a pontuação referente a metade de sua extensão de segmentos que passaram de superfície de baixa capacidade, como pistas simples fora de norma ou pistas em leito natural, para algum tipo de implantação citado. Assim, a Equação 164 apresenta a formulação matemática do indicador de acessibilidade.

**Equação 164:** Indicador de acessibilidade Hidroviário/Ferroviário

$$\beta_{6j_k} = \sum_{k=1}^n L_k \times \text{Ativação}_k$$

Onde:

- $\beta_{6j_k}$  é o indicador de acessibilidade rodoviário para o empreendimento j, analisando seus efeitos no segmento de via k;
- n é o universo de segmentos do empreendimento j; e,
- $\text{Ativação}_k$  é a análise dos impactos do empreendimento j.

A Tabela 8 apresenta as condições para determinação dos valores da  $\text{Ativação}_k$ .

**Tabela 8:** valores de ativação k para o setor rodoviário

Superfície data base	Superfície futura	Ativação <sub>k</sub>
Superfície planejada Balsa	Pista simples	1
	Pista com faixa adicional	
	Pista dupla	
Pista de baixa capacidade Pista de baixíssima capacidade	Pista simples	0,5
	Pista com faixa adicional	
	Pista dupla	

### 5.1.7. Indicador Eficiência Operacional

O indicador de eficiência operacional mede o quanto a execução de um empreendimento contribui para o uso eficiente de recursos, como tempo e dinheiro, no sistema de transportes brasileiro. Para a análise desse indicador foi avaliada a redução de custos proporcional a carga de cada cenário em relação ao cenário contrafactual, no qual não são realizadas obras.

Os custos utilizados neste indicador são os mesmos apresentados no capítulo 3.1.8, desenvolvidos por EPL (2017) através de um método *bottom up* de custos de transportes. Ainda, cabe mencionar que esses custos foram adaptados para absorver impactos da qualidade do pavimento em transportes rodoviários.

O indicador então mede quantos reais (R\$) foram poupados em média devido a quanto uma infraestrutura afetada movimentada. Cabe notar que, apesar de trazer uma

estimativa razoável da redução de custos, ele ainda resulta em uma média geral do sistema. Como forma de melhorar esse cálculo, seria adequado analisar os pares Origem-Destino que passam pela infraestrutura afetada antes e depois para avaliar a alteração do custo médio dessas rotas.

#### 5.1.7.1. Rodoviário

Para o setor Rodoviário são examinados os custos de transportes de cargas e pessoas no cenário de análise. A redução de custos nesse setor se dá por dois fatores: a melhora da qualidade da pista e ampliação de capacidade. A primeira etapa do cálculo consiste no filtro dos links rodoviários e a classificação de cada um deles em uma escala de capacidade. Assim, as vias foram agrupadas em escalas de capacidade como apresentado na Tabela 9.

**Tabela 9:** Escalas de capacidade rodoviária

Escala	Descrição
0	Rodovias planejadas
1	Balsas
2	Pista simples Pistas urbanas Acessos Pistas de baixa capacidade
3	Pista com faixa adicional rural
4	Pistas duplas rural

Em paralelo, são retiradas as movimentações para o cenário avaliado em TKU e RPK, além do custo associado a cada *link*. Depois de classificados soma-se as movimentações de cada escala de capacidade, como mostra a Equação 165.

**Equação 165:** Custo médio rodoviário por classe de capacidade

$$CMT_{\text{rodoviario}_{m_e}} = \frac{\sum_{i=1}^{k_e} CT_{i_{me}}}{\sum_{i=1}^{k_e} \text{Movimentação}_{i_{me}}}$$

Onde:

- $m$  é o tipo de matriz analisada, na qual é utilizado o subíndice “p” para passageiros e “c” para cargas;
- $e$  é a escala de capacidade descrita na Tabela 9;
- $k$  é o universo de links rodoviários na escala de capacidade  $e$ ;
- $CMT_{\text{rodoviario}_{m_e}}$  é o custo médio de transporte rodoviário do tipo de matriz  $m$  para o cenário de análise na escala de capacidade;

- $CT_{i_{m_e}}$  é o custo de transporte do link  $i$  do tipo de matriz  $m$  na escala de capacidade  $e$ , em reais; e
- $Movimentação_{i_{m_e}}$  é a movimentação no link  $i$ , em tku para cargas e em rpk (revenue passenger kilometer ou passageiro pagante por quilometro) para pessoas, do tipo de matriz  $m$  na escala de capacidade.

Em seguida, as classes são divididas em dois outros grupos para uma primeira conferência de cálculo, conforme Tabela 10 abaixo:

**Tabela 10:** Grupo de escala de capacidade rodoviária

Escala	Grupo de Escala de Capacidade
1	A
2	A
3	B
4	B

Da mesma forma em que foi feito para as escalas de capacidade, o agrupamento para os dois grupos é feito, somando-se as movimentações e os custos para cada um dos componentes. No entanto, nessa etapa são somados apenas as movimentações dos *links* do tipo de matriz de cargas, como mostra a **Equação 166**.

**Equação 166:** Custo médio rodoviário por grupo de escala de capacidade

$$CMT_{\text{rodoviário}_g} = \frac{\sum_{i=1}^{k_g} CT_{i_g}}{\sum_{i=1}^{k_g} Movimentação_{i_g}}$$

Onde:

- $g$  é o grupo de ajuste descrito na tabela 7;
- $k_g$  é o universo de links rodoviários na escala de capacidade;
- $CMT_{\text{rodoviário}_g}$  é o custo médio de transporte rodoviário de cargas para o cenário de análise no grupo de escala  $g$ ;
- $CT_{i_g}$  é o custo de transporte de cargas no grupo de escala  $g$ , em reais; e
- $Movimentação_{i_g}$  é a movimentação de cargas no link  $i$  no grupo de escala  $g$ , em tku.

Com os valores de  $CMT_{\text{rodoviário}_{m_e}}$  e  $CMT_{\text{rodoviário}_g}$  são calculados dois multiplicadores de ajustes, sendo o  $\text{Multiplicador}_1$  utilizando o custo médio dos grupos de escala e o  $\text{Multiplicador}_2$  utilizando o custo médio das escalas de capacidade. Esses dois multiplicadores também levam em consideração os serviços do empreendimento, de

forma que para cada multiplicador temos um fator de custo poupado que é considerado no cálculo. Os serviços e seus fatores são agrupados conforme a Tabela 11.

**Tabela 11:** Grupo de Serviço

Serviços	Grupo de Serviço	Fator de Custo Poupado
Implantação, Construção, Adequação ou Ampliação	X	1
Manutenção ou Conservação	Y	0,04

Com isso, temos as equações que calculam os multiplicadores. Seguem abaixo:

**Equação 167:** Multiplicador 1 (Grupos de Escala de Capacidade)

$$\text{Multiplicador}_1 = (\text{CMT}_{\text{rodoviario}_a} - \text{CMT}_{\text{rodoviario}_b}) \times \text{Fator}_s$$

Onde:

- Multiplicador<sub>1</sub> é o multiplicador de ajuste baseado nos grupos de escala de capacidade;
- CMT<sub>rodoviario<sub>a</sub></sub> é o custo médio de transporte rodoviário de cargas para o cenário de análise no grupo de escala a;
- CMT<sub>rodoviario<sub>b</sub></sub> é o custo médio de transporte rodoviário de cargas para o cenário de análise no grupo de escala b;
- Fator<sub>s</sub> é o fator de custo poupado para os serviços;

**Equação 168:** Multiplicador 2 (Escala de Capacidade)

$$\text{Multiplicador}_2 = (\text{CMT}_{\text{rodoviario}_3} - \text{CMT}_{\text{rodoviario}_4}) \times \text{Fator}_s$$

Onde:

- Multiplicador<sub>2</sub> é o multiplicador de ajuste baseado nas escalas de capacidade;
- CMT<sub>rodoviario<sub>3</sub></sub> é o custo médio de transporte rodoviário de pessoas para o cenário de análise na escala 3;
- CMT<sub>rodoviario<sub>4</sub></sub> é o custo médio de transporte rodoviário de pessoas para o cenário de análise na escala 4;
- Fator<sub>s</sub> é o fator de custo poupado para os serviços;

Após o cálculo dos multiplicadores necessários, a análise passa a ser feita para cada empreendimento. Cada empreendimento é associado a um ou mais *links* de forma em que é possível obter o carregamento de cada empreendimento em cada cenário. Para a análise de custos, é necessário identificar o TKU e RPK acrescido no cenário em comparação ao cenário contrafactual, nos *links* afetados pelo empreendimento. Além disso, cada empreendimento tem atrelado a ele os seus serviços componentes, de forma

que podemos relacionar os multiplicadores a cada empreendimento. A Equação 169 abaixo detalha o cálculo do TKU ou RPK acrescido de cada empreendimento:

**Equação 169:** Carregamento acrescido pelo empreendimento

$$\text{Carregamento Acrescido}_{i_m} = \sum_{j=1}^k \text{Movimentação}_{j_{m_e}} - \sum_{j=1}^k \text{Movimentação}_{j_{m_c}}$$

Onde:

- Carregamento Acrescido<sub>i<sub>m</sub></sub> é o carregamento acrescido pelo empreendimento i na matriz m, sendo TKU para cargas e RPK para pessoas;
- k é o universo de links que o empreendimento i contém;
- *Movimentação*<sub>j<sub>m<sub>c</sub></sub> é a movimentação do link j que pertence ao empreendimento i na matriz m, sendo TKU para cargas e RPK para pessoas no cenário contrafactual; e</sub>
- *Movimentação*<sub>j<sub>m<sub>e</sub></sub> é a movimentação do link j que pertence ao empreendimento i na matriz m, sendo TKU para cargas e RPK para pessoas no cenário analisado.</sub>

Após a retirada desse valor, relacionamos o serviço do empreendimento com os multiplicadores associados a cada serviço calculados anteriormente. Dessa forma, obtemos o valor final do indicador de eficiência operacional para o rodoviário através da seguinte equação:

**Equação 170:** Equação de custo poupado em reais para a infraestrutura

$$\beta_{7_j} = (\text{Carregamento Acrescido}_{i_{tku}} * \text{Multiplicador}_1) + (\text{Carregamento Acrescido}_{i_{rpk}} * \text{Multiplicador}_2)$$

Onde:

- $\beta_{7_j}$  é o indicador de eficiência operacional para o empreendimento j;
- Carregamento Acrescido<sub>i<sub>tku</sub></sub> é o tku acrescido pelo empreendimento j em relação ao cenário contrafactual;
- Carregamento Acrescido<sub>i<sub>rpk</sub></sub> é o rpk acrescido pelo empreendimento j em relação ao cenário contrafactual;
- Multiplicador<sub>1</sub> é o fator de custo poupado baseado nos grupos de escala de capacidade; e
- Multiplicador<sub>2</sub> é o fator de custo poupado baseado nas escalas de capacidade.

### 5.1.7.2. Ferroviário/Hidroviário

Para os setores Ferroviário e Hidroviário, a metodologia de obtenção do indicador de eficiência operacional é igual. Para ambos é comparado o quanto de custo é poupado na migração de cargas do modo rodoviário para qualquer um dos outros dois. Esse fator é obtido comparando o custo médio de cargas do cenário analisado do modo hidroviário ou ferroviário com o modo rodoviário, conforme a Equação 171 abaixo:

**Equação 171:** Fator de custo poupado pelos modos ferroviário e hidroviário em relação

$$\text{Multiplicador}_m = \left( \left( \frac{\sum_{i=1}^k \text{Custo}_{i_{\text{Rodoviário}}}}{\sum_{i=1}^k \text{TKU}_{i_{\text{rodoviário}}}} \right) - \left( \frac{\sum_{i=1}^k \text{Custo}_{i_m}}{\sum_{i=1}^k \text{TKU}_{i_m}} \right) \right) \div 1000$$

Onde:

- Multiplicador<sub>m</sub> é o multiplicador de custo poupado pelo modo m em relação ao modo rodoviário;
- K é a universo de links do modo m;
- $\text{Custo}_{i_{\text{Rodoviário}}}$  é o custo total associado ao *link i* rodoviário;
- $\text{TKU}_{i_{\text{rodoviário}}}$  é o carregamento em TKU do *link i* rodoviário;
- $\text{Custo}_{i_m}$  é o custo total associado ao *link i* do modo m (seja ele ferroviário ou hidroviário);
- $\text{TKU}_{i_m}$  é o carregamento em TKU do *link i* do modo m (seja ele ferroviário ou hidroviário);

Após a obtenção desse multiplicador, são calculados os carregamentos em TKU acrescidos pelo empreendimento com relação ao cenário contrafactual, conforme a Equação 172.

**Equação 172:** Carregamento acrescido pelo empreendimento

$$\text{Carregamento Acrescido}_i = \sum_{j=1}^k \text{Movimentação}_{j_e} - \sum_{j=1}^k \text{Movimentação}_{j_c}$$

Onde:

- Carregamento Acrescido<sub>i</sub> é o carregamento acrescido pelo empreendimento i, em tku;
- $\text{Movimentação}_{j_e}$  é a movimentação do *link j*, em TKU, que pertence ao empreendimento i no cenário analisado; e
- $\text{Movimentação}_{j_c}$  é a movimentação do *link j*, em TKU, que pertence ao empreendimento i no cenário contrafactual c.

Por último, para obtenção do indicador de eficiência operacional, multiplicamos o carregamento acrescido pelo empreendimento pelo fator multiplicador, conforme a Equação 173:

**Equação 173:** Equação de custo poupado em reais para a infraestrutura

$$\beta_{7_i} = (\text{Carregamento Acrescido}_i * \text{Multiplicador}_m)$$

Onde:

- $\beta_{7_i}$  é o indicador de eficiência operacional para o empreendimento  $i$ ;
- Carregamento Acrescido $_i$  é o tku acrescido pelo empreendimento  $i$  em relação ao cenário contrafactual; e
- Multiplicador $_m$  é o fator de custo poupado pelo modo  $m$  em relação ao modo rodoviário.

### 5.1.7.3. Portuário

Para o setor portuário, a metodologia é levemente diferente devido às características únicas do setor. A primeira etapa para obtenção do indicador de eficiência operacional é a comparação entre os custos por toneladas médios entre o cenário analisado e o contrafactual. Essa comparação é feita agrupando para cada par Porto/Grupo de Carga os valores de custos e de toneladas movimentadas, conforme a Equação 174 abaixo:

**Equação 174:** Diferença de custo médio do cenário analisado em relação ao contrafactual

$$\text{Diferença Custo Médio}_{p_m} = \left( \left( \frac{\sum_{i=1}^k \text{Custo}_{i_{m_e}}}{\sum_{i=1}^k \text{Tonelada}_{i_{m_e}}} \right) - \left( \frac{\sum_{i=1}^k \text{Custo}_{i_{m_c}}}{\sum_{i=1}^k \text{Tonelada}_{i_{m_c}}} \right) \right)$$

Onde:

- Diferença Custo Médio $_{p_m}$  é a diferença do custo por tonelada médio para cada porto  $p$  e grupo de carga  $m$ ;
- $k$  é o universo de links associados ao porto  $p$ ;
- $\text{Custo}_{i_{m_e}}$  é o custo total associado ao *link*  $i$  portuário no grupo de carga  $m$  no cenário analisado  $e$ ;
- $\text{Tonelada}_{i_{m_e}}$  é o carregamento total associado ao *link*  $i$  portuário em toneladas no grupo de carga  $m$  no cenário analisado  $e$ ;
- $\text{Custo}_{i_{m_c}}$  é o custo total associado ao *link*  $i$  portuário no grupo de carga  $m$  no cenário contrafactual  $c$ ; e
- $\text{Tonelada}_{i_{m_c}}$  é o carregamento total associado ao *link*  $i$  portuário em toneladas no grupo de carga  $m$  no cenário contrafactual  $c$ .

Em seguida são calculadas as médias de diferença de custo para cada grupo de carga. Isso é necessário para que em situações em que não é possível comparar o par Porto/Grupo de Carga (por se tratar de uma implantação) ou onde há um custo maior no cenário analisado em relação ao contrafactual, possa ser aplicada a média como um valor referencial. Onde o custo for maior no contrafactual, é utilizada a diferença calculada através da Equação 174 para obtermos um valor de custo poupado para cada par Porto/Grupo de Carga.

Obtendo-se o valor de custo poupado, a etapa seguinte necessária é calcular o valor de tonelada acrescida por cada empreendimento no cenário de análise em relação ao contrafactual. A equação abaixo detalha o cálculo para obtenção desse valor:

**Equação 175:** Carregamento acrescido pelo empreendimento

$$\text{Carregamento Acrescido}_i = \sum_{j=1}^k \text{Movimentação}_{j_e} - \sum_{j=1}^k \text{Movimentação}_{j_c}$$

Onde:

- Carregamento Acrescido<sub>i</sub> é o carregamento acrescido pelo empreendimento i, em tku;
- *Movimentação*<sub>j<sub>e</sub></sub> é a movimentação do *link* j, em toneladas, que pertence ao empreendimento i no cenário analisado e;
- *Movimentação*<sub>j<sub>c</sub></sub> é a movimentação do *link* j, em toneladas, que pertence ao empreendimento i no cenário contrafactual c.

Esse valor de tonelada acrescida é multiplicado pelo fator de custo poupado do par Porto/Grupo de Carga atrelado a cada empreendimento, obtendo-se o indicador de eficiência operacional do empreendimento no cenário de análise. A Equação 176 detalha esse cálculo.

**Equação 176:** Equação de custo poupado em reais para a infraestrutura

$$\beta_{7_i} = \left( \text{Carregamento Acrescido}_i * \left\{ \begin{array}{l} \text{Se Custo Poupado} < 0, \text{ então Média}_m \\ \text{Se Custo Poupado} \geq 0, \text{ então Custo Poupado}_{p_m} \end{array} \right\} \right)$$

Onde:

- $\beta_{7_j}$  é o indicador de eficiência operacional para o empreendimento i;
- Carregamento Acrescido<sub>i</sub> é a tonelada acrescida pelo empreendimento i em relação ao cenário contrafactual;
- Custo Poupado<sub>p<sub>m</sub></sub> é o fator de custo poupado pelo par Porto/Grupo de Carga atrelado ao empreendimento; e
- Média<sub>m</sub> é a média de custo poupado para cada Grupo de Carga no setor portuário.

### 5.1.8. Indicador Segurança

O indicador de segurança procura refletir a redução de acidentes viários do sistema de transportes brasileiro. Dessa forma, ele não avalia a seguridade, a segurança contra danos ao patrimônio. Como as mortes em rodovias estão entre as maiores causas de fatalidade no país, a análise procura em entender se esse tipo de causalidade é reduzido depois dos efeitos dos diversos empreendimentos no sistema.

Assim como em outros indicadores, são feitos cálculos separados para setores diferentes. Em linhas gerais, para o setor rodoviário, utiliza-se o mesmo modelo probabilístico descrito no PNL, que leva em conta o tipo da via e o seu uso do solo. Para o setor ferroviário e hidroviário, a interpretação que é feita é da redução de veículos de carga das rodovias, quanto mais veículos de carga reduzidos, mais o empreendimento pontua. A descrição mais detalhada de cada setor é apresentada nos itens a seguir.

#### 5.1.8.1. Rodoviário

Para o setor rodoviário é utilizado o mesmo modelo probabilístico utilizado no PNL 2035. Em resumo, esse modelo avalia se o tráfego da rodovia é predominantemente de pessoas ou de cargas e de acordo com as características da via (seu uso do solo, tipo de superfície e composição do tráfego) avalia qual a probabilidade de acontecer um acidente fatal. A Equação 177 apresenta a formulação do modelo proposto.

**Equação 177:** Índice de acidentes

$$I_k = \frac{\text{veh}_k}{\text{extensão}_k} \times I_{\text{características da via}_k}$$

Onde:

- $I$  é o índice de acidentes do segmento  $k$ ;
- $\text{veh}_k$  é a quantidade de veículos, de passeio ou de cargas, que utilizam o segmento  $k$ , em veículos equivalentes;
- $\text{extensão}_k$  é a extensão do segmento  $k$ , em km;
- $I_{\text{características da via}_k}$  é o índice de acidentes que depende das características da via, apresentado na Tabela 2.

Enquanto no capítulo 3.1.13 essa comparação era feita de maneira agregada para todo o sistema para o indicador do empreendimento essa análise é feita apenas para o segmento mais carregado afetado pelo empreendimento de interesse. Após avaliado seu índice para o cenário de análise, avalia-se também o índice para o mesmo segmento no cenário contrafactual. O indicador de segurança é dado então pela subtração do índice no cenário contrafactual pelo índice no cenário de análise, como mostra a equação que segue.

**Equação 178:** Indicador de segurança rodoviário

$$\beta_{8j} = I_{\text{contrafactual}j} - I_{\text{cenário análise}j}$$

Onde:

- $\beta_{8j}$  é o indicador de segurança rodoviário para o empreendimento  $j$ , adimensional;
- $I_{\text{contrafactual}j}$  é o índice de segurança do empreendimento  $j$  para o cenário contrafactual;
- $I_{\text{cenário análise}j}$  é o índice de segurança do empreendimento  $j$  para o cenário de análise;

**5.1.8.2. Ferroviário/Hidroviário**

Para os setores ferroviários e hidroviários, o cálculo do indicador de segurança é dado pela variação de veículos equivalentes que utilizam a infraestrutura afetada no cenário de estudo em comparação com o cenário contrafactual. A Equação 179 apresenta a formulação matemática descrita.

**Equação 179:** Indicador de segurança ferroviário e hidroviário

$$\beta_{8j} = M_{\text{cenário análise}} - M_{\text{cenário contrafactual}}$$

- $\beta_{8j}$  é o indicador de segurança ferroviário e hidroviário para o empreendimento  $j$ , em veh;
- $M_{\text{cenário análise}}$  é a movimentação de cargas no cenário de análise que passa pelo empreendimento  $j$ , em veh;
- $M_{\text{cenário contrafactual}}$  é a movimentação de cargas no cenário contrafactual que passa pelo empreendimento  $j$ , em veh.

**5.1.8.3. Portuário**

O indicador de segurança para o setor portuário é uma variável de verdadeiro e falso, e é dada pela implantação de VTMS pelo empreendimento. A Equação 180 apresenta a consideração para o indicador de segurança portuário.

**Equação 180:** Indicador de segurança portuário

$$\beta_{8j} = \begin{cases} \text{se o empreendimento tem VTMS, então } 1 \\ \text{se o empreendimento não tem VTMS, então } 0 \end{cases}$$

Onde:

- $\beta_{8j}$  é o indicador de segurança portuário para o empreendimento  $j$ , adimensional.

### 5.1.9. Indicador Sustentabilidade

O indicador de sustentabilidade procura medir os impactos ambientais dos empreendimentos. Em aderência ao PNL, o indicador mede a quantidade de CO<sub>2</sub> poupado pela implementação de cada empreendimento.

#### 5.1.9.1. Rodoviário

Importante ressaltar que, em geral, empreendimentos rodoviários resultam em um aumento da demanda reprimida por esse modo de transporte. Dessa forma, os empreendimentos rodoviários são ranqueados inversamente pela quantidade de gases estufa emitidos. Empreendimentos com maior potencial poluente ganham menos pontos que os que emitem potencialmente menos.

Dessa forma, o cálculo do indicador utiliza a movimentação em TKU por grupo de carga (apresentados no capítulo 3.1.14) e avalia da emissão no empreendimento o cenário de análise.

**Equação 181:** Indicador de sustentabilidade rodoviário

$$\beta_{\text{sustentabilidade}_i} = \sum_{j=1}^k \left( \sum_{w=1}^6 Fe_{j,w} \times TKU_{j,w} \right) + \left( \sum_{j=1}^k Fe_{j,p} \times Veh_{j,p} \times C_j \right)$$

Onde:

- $\beta_{\text{sustentabilidade}_i}$  é o valor de sustentabilidade do empreendimento  $i$ ;
- $k$  é o universo de links do empreendimento  $j$ ;
- $Fe_{j,w}$  é o fator de emissão do link  $j$  para o grupo de carga  $w$ ;
- $TKU_{j,w}$  é a quantidade de TKU movimentada do link  $j$  para o grupo de carga  $w$ ;
- $Fe_{j,p}$  é o fator de emissão do link  $j$  para a movimentação de pessoas;
- $\times Veh_{j,p}$  é o volume de veículos no link  $j$  para a movimentação de pessoas; e
- $C_j$  é  $p$  comprimento do link  $j$ , em km.

#### 5.1.9.2. Ferroviário/Hidroviário/Portuário

Para os demais setores, é avaliado o aumento de movimentação em relação ao cenário contrafactual. Como os modos ferroviário e hidroviário são menos poluentes que os rodoviários a troca de modo é considerado algo positivo para o meio ambiente. O setor portuário, não envolve transportes ao longo de vias, porém a diminuição dos custos e aumentos de capacidades facilitam o transbordo entre as rodovias e a cabotagem. Dessa forma, para o impacto ambiental portuário é avaliado a mudança de movimentação para o modo de cabotagem.

Para os setores ferroviário, hidroviário e portuário, o cálculo do indicador de sustentabilidade é dado pela variação da movimentação de cada grupo de variação média de emissão no cenário. A Equação 182 apresenta a formulação matemática para o setor ferroviário e hidroviário.

**Equação 182:** Indicador de segurança ferroviário e hidroviário

$$\beta_{9_i} = \left( \sum_{j=1}^k M_{cenario\ analise\ j} \right) \times F_{m\u00e9dio\ cenario\ analise} - \left( \sum_{j=1}^k M_{cenario\ contrafactual\ j} \right) \times F_{m\u00e9dio\ cenario\ contrafactual}$$

Onde:

- $\beta_{9_i}$  é o indicador de sustentabilidade ferroviário e hidroviário para o empreendimento  $i$ , em tonCO<sub>2</sub> poupado;
- $k$  é universo de links contidos pelo empreendimento  $i$ ;
- $M_{cenario\ analise\ j}$  é a movimentação de cargas no link  $j$  no cenário de análise em ton;
- $F_{m\u00e9dio\ cenario\ analise}$  é o fator médio de redução de emissão do setor rodoviário para o setor de análise no cenário de análise;
- $F_{m\u00e9dio\ cenario\ contrafactual}$  é o fator médio de redução de emissão do setor rodoviário para o setor de análise no cenário de contrafactual;
- $M_{cenario\ contrafactual\ j}$  é a movimentação de cargas no link  $j$  no cenário contrafactual que passa pelo empreendimento  $j$ , em ton.

#### 5.1.10. Indicador Atualidade

O indicador de atualidade procura medir o estado da tecnologia do sistema de transportes em uma data específica. Sua principal diferença em relação ao indicador de desenvolvimento tecnológico é que, enquanto o indicador medido pelo  $\beta_3$  avalia o nível de alteração do estado da tecnologia entre dois períodos, o indicador de atualidade avalia o quão atual o sistema está. Assim como o indicador de desenvolvimento tecnológico, o indicador de atualidade é de difícil mensuração e não será utilizado neste ciclo para os setores rodoviário e ferroviário.

Para os setores hidroviário e portuário sua determinação se deu de forma declaratória para todos os setores como mostra a Tabela 12.

**Tabela 12:** Indicador de atualidade

Setor	Indicador de atualidade
Hidroviário	Se o empreendimento for de modernização, então $\beta_{10}=1$ , caso contrário $\beta_{10}=0$
Portuário	Se o empreendimento for de desestatização, então $\beta_{10}=1$ , caso contrário $\beta_{10}=0$

## Referências Bibliográficas

Brasil. (1973) Lei 6.001, de 19 de dezembro de 1973.

Brasil. (2015) PORTARIA INTERMINISTERIAL No - 60, DE 24 DE MARÇO DE 2015. *Portaia*.

Carvalho, C. H. R. de. (2011) Emissões Relativas De Poluentes Do Transporte Motorizado De Passageiros Nos Grandes Centros Urbanos Brasileiros. *Ipea*, 42.

CNT. (2024) *Pesquisa CNT de Rodovias 2023*. Brasília, Brasil.

Conama. (2004) Resolução Conama nº 347/2004.

CONAMA. (2010) Resolução CONAMA 428/2010.

CPRM. (2003) Mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais.

DNIT. (2006) Manual de estudos de tráfego. *Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR*, 384.

DNIT. (2018a) Descrição Cálculo ICS. Obtido 6 de agosto de 2021, de <https://web.archive.org/web/20240807130848/https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/planejamento/evolucao-da-malha-rodoviaria/ndicedaCondiodaSuperfcie.pdf>

DNIT. (2018b) VGEO- Malha ICS. Obtido 6 de agosto de 2021, de <https://servicos.dnit.gov.br/vgeo/>

EPL. (2017) *Metodologia de Custos de Transportes*. (1º ed). Brasília, Brasil. Obtido de <https://ontl.infrasa.gov.br/wp-content/uploads/2024/04/Metodologia-para-Emissoes-de-GEE-e-Poluentes-Locais-pela-entao-EPL-IEMA.pdf>

EPL. (2021) PNL 2035 - Plano Nacional de Logística 2035. Obtido de <https://ontl.epl.gov.br/planejamento/relatorios/>

EPL. (2022) Análise socioambiental dos cenários de desenvolvimento da infraestrutura.

EPL, e IEMA. (2019) *METODOLOGIA EPL-IEMA PARA EMISSÕES DE GEE E POLUENTES LOCAIS*. (1º ed). Brasília. Obtido de <https://ontl.infrasa.gov.br/wp-content/uploads/2024/04/Metodologia-de-Custos-de-Transporte.pdf>

EPL-IEMA. (2019) Metodologia Epl-Iema Para Emissões De Gee E Poluentes Locais.

INFRA S.A. (2024) *Caderno Metodológico PIT*. (1º ed, Vol. 1). Brasília, Brasil. Obtido de <https://www.infrasa.gov.br/wp-content/uploads/2024/05/00.-Caderno-Metodologico-PIT-Relatorio-principal-1.pdf>

JANSEN, D. C. (2011) Mapa de Potencialidade de Ocorrência de Cavernas. *Encontro Nacional da Associação de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia*, 70.

Pienaar, W. J. (2018) Principles of social cost-benefit analysis of public road projects followed in South Africa. *South African Journal of Industrial Engineering*, 29(4), 129–140. doi:10.7166/29-4-1926

Rodrigues E Silva, L., e de Holanda, F. (2019) Space syntax in a national scale: A case-study on inter-urban network transportation in Brazil. *12th International Space Syntax Symposium, SSS 2019*.

van Nes, A., e Yamu, C. (2021) *Introduction to Space Syntax in Urban Studies*. Springer. doi:10.1007/978-3-030-59140-3

Vickerman, R. (2008) Transit investment and economic development. *Research in Transportation Economics*, 23(1), 107–115. doi:10.1016/j.retrec.2008.10.007

**APÊNDICE I: REDE SEMÂNTICA DO SISTEMA DE TRANSPORTES**

**APÊNDICE II: PLANILHA RESUMO DOS INDICADORES**

**APÊNDICE III: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS UTILIZADAS**